CRUSA

Estudio de brechas en el sector de la industria de semiconductores de la demanda de talento humano y oferta de formación técnica y profesional de Costa Rica

Elaborado por **GABRIELA CASTRO MORA**, *consultora*
Editado y diagramado por la Fundación CRUSA
Julio de 2024

Tabla de contenidos

1. AGRADECIMIENTOS **04**
2. INTRODUCCIÓN **06**
3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO **08**
CAPITULO I **14**
1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA DEMANDA ACTUAL DE TALENTO HUMANO EN EL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES **14**
1.1.1 ASPECTOS TRANSVERSALES 15
1.1.2 MAPEO DE HABILIDADES TÉCNICAS 16
1.1.2.1 ENSAMBLE Y EMPAQUE 16
1.1.2.2 PRUEBA 20
1.1.2.3 DISEÑO / VLSI 25

CAPITULO II **29**
2.1 MAPEO DE LA OFERTA DE FORMACIÓN DE TALENTO HUMANO EN EL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES **29**
2.1.1 ASPECTOS TRANSVERSALES 29
2.1.2 MAPEO DE LA OFERTA DE FORMACIÓN DISPONIBLE EN EL PAÍS 30
2.1.2.1 ENSAMBLE Y EMPAQUE 31
2.1.2.2 PRUEBA 35
2.1.2.3 DISEÑO / VLSI 40

CAPITULO III **46**
3.1 ANÁLISIS DE BRECHAS DE TALENTO HUMANO EN EL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES **46**
3.1.1 PRIMERA ETAPA DE ANÁLISIS: EXISTENCIA O INEXISTENCIA DE OFERTA 46
3.1.1.1 ENSAMBLE Y EMPAQUE 46
3.1.1.2 PRUEBA 48
3.1.1.3 DISEÑO / VLSI 48
3.1.2 PERTINENCIA DE LOS CONTENIDOS DISPONIBLES EN OFERTA 52
3.1.2.1 ENSAMBLE Y EMPAQUE 52
3.1.2.2 PRUEBA 55
3.1.2.3 DISEÑO / VLSI 57
3.1.3 BRECHAS ESTRUCTURALES 59
3.1.4 FORTALECIMIENTO DEL CAPITAL HUMANO EN SEMICONDUCTORES: INICIATIVAS PRIORITARIAS 60
3.2 ANÁLISIS COMPLEMENTARIO 64
3.2.1 FORTALECIMIENTO DEL TALENTO HUMANO PROVENIENTE DE CARRERAS TÉCNICAS-PROFESIONALES 66
3.2.2 BUENAS PRÁCTICAS EN LA FORMACIÓN DE TALENTO HUMANO PARA LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES 69

CAPITULO IV **71**
4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS LINEAS DE ACCIÓN CLAVES RECOMENDADAS COMO PRIORIDADES ESTRATÉGICAS: **71**
4.2 LÍNEAS DE ACCIÓN RECOMENDADAS Y ANÁLISIS FODA 72
ALIANZAS INDUSTRIA-ACADEMIA (A NIVEL NACIONAL) 72
ALIANZAS CON ACADEMIA INTERNACIONAL 74
ESPECIALIZACIONES Y CERTIFICACIONES 77
LABORATORIO COMPARTIDO DE ALTA TECNOLOGÍA 80
TALENTO TÉCNICO-PROFESIONAL 84
ATENCIÓN DE TEMAS SISTÉMICOS O ESTRUCTURALES 86
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **88**

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **89**

Tabla de contenidos

Tabla 1: Requerimientos de Habilidades Blandas y Lingüísticas....15
Tabla 2: Requerimientos de habilidades en el área de diseño / VLSI....27
Tabla 3: Mapeo inicial de la disponibilidad de oferta nacional en las áreas de ensamble y empaque....31
Tabla 4: Mapeo inicial de la disponibilidad de oferta nacional en el área de prueba....36
Tabla 5: Mapeo inicial de la disponibilidad de oferta nacional en el área de diseño / VLSI....40
Tabla 6: Requerimientos de habilidades en el área de diseño / VLSI y oferta académica relacionada identificada por las universidades....43
Tabla 7: Mapeo inicial de brechas en las áreas de ensamble y empaque....47
Tabla 8: Mapeo inicial de brechas en el área de prueba....48
Tabla 9: Mapeo inicial de brechas en el área de diseño / VLSI....49
Tabla 10: Acciones prioritarias para fortalecer el desarrollo de capital humano en la industria de semiconductores....61
Tabla 11: Temas abordados en cursos especializados impartidos en colegios comunitarios seleccionados....68

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Estructura del estudio de brechas en el sector de la industria de semiconductores....7
Ilustración 2 Conformación de los subgrupos técnicos de trabajo de la Mesa de Talento Humano....8
Ilustración 3 Perfiles y registro de participantes que brindan la representatividad y legitimación perseguidas....10
Ilustración 4: Categorías de carreras profesionales acreditadas donde se mapea disponibilidad de oferta académica....12
Ilustración 5: Habilidades técnicas requeridas en el área de ensamble y empaque....16
Ilustración 6: Procesos para la conexión de chips....17
Ilustración 7: Procesos para la colocación de componentes....17
Ilustración 8: Habilidades técnicas requeridas en el área de prueba....20
Ilustración 9: Elementos de interés en la visualización de datos....23
Ilustración 10: Subprocesos de diseño evaluados en el mapeo....25
Ilustración 11: Aspectos transversales evaluados en el mapeo de oferta académica....29
Ilustración 12: Retos que provocan brechas entre la oferta y demanda de talento....52
Ilustración 13: Competencias técnicas críticas en el área de prueba....56
Ilustración 14: Retos especiales en el área de Diseño / VLSI....57
lustración 15: Casos exitosos de estrategias para acelerar la formación de talento humano especializado en semiconductores....69

1. AGRADECIMIENTOS

El presente estudio resume el esfuerzo de más de 55 actores de la academia, industria y organizaciones privadas, quienes articulados por la Fundación CRUSA, trabajaron para identificar retos y oportunidades de Costa Rica en la industria de semiconductores.

Agradezco a las empresas líderes del sector por su disposición de compartir su conocimiento y experiencias, así como a la academia que unidos forjaron este riguroso análisis.

Sin duda, sus voces nos permitieron establecer recomendaciones y líneas de acción que los diferentes actores del ecosistema pueden tomar como referencia para el desarrollo de iniciativas que potencien el talento humano en las áreas requeridas por la industria de semiconductores.

Este estudio suma a la hoja de ruta que viene trazando el país para convertirse en un centro de atracción de inversiones en este sector.

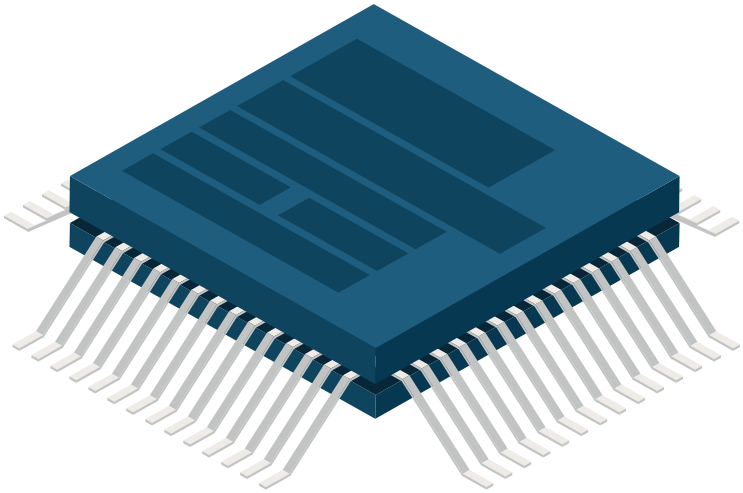
Desde la Fundación CRUSA estamos comprometidos con el desarrollo de una Costa Rica más próspera, sostenible e inclusiva. Estamos convencidos que este modelo de trabajo colaborativo --academia, industria y sociedad civil-- facilitará acciones concretas en beneficio del país y de tantos jóvenes talentosos que hoy están en búsqueda de nuevas oportunidades laborales en las industrias del futuro.

Flora Montealegre Guillén
Directora Ejecutiva
Fundación CRUSA

Agradecimientos a los miembros de la Mesa de Talento Humano:

- Universidad de Costa Rica
- Instituto Tecnológico de Costa Rica
- Universidad Nacional
- Universidad CENFOTEC
- Universidad Latina
- ULACIT
- Texas Tech University
- Universidad Hispanoamericana
- Coalición Costarricense de Iniciativas de Desarrollo (CINDE)
- Advantest/Altanova
- Bourns
- HPE
- Intel
- Qorvo
- Teradyne
- Samtec
- Rydev

2. INTRODUCCIÓN



La industria de semiconductores demuestra ser una fuerza impulsora en la economía global, transformando la forma en que vivimos, trabajamos y nos comunicamos. Desde los dispositivos que llevamos en nuestros bolsillos hasta los avances en medicina y energía, los semiconductores son el corazón tecnológico que alimenta el mundo moderno.

La pandemia marcó un hito en la cadena de suministro de esta industria, generando una crisis de abastecimiento de semiconductores como resultado de una mayor demanda de productos digitales (computadoras, teléfonos móviles). Sin embargo, esta situación abrió oportunidades para nuevos actores.

En los años posteriores a la pandemia, las empresas líderes del sector respondieron con ambiciosos programas de inversión para expandir la capacidad de producción. Según datos de la Asociación de la Industria de Semiconductores (SIA), en los próximos diez años, la industria necesitará invertir unos 3 billones de dólares en investigación y desarrollo (I+D) y gastos de capital en toda la cadena de valor para satisfacer la creciente demanda de semiconductores.

Estos programas de inversión privada vienen acompañados de fuertes paquetes de estímulos gubernamentales, como China, Estados Unidos, la Unión Europea, India, Corea del Sur y Japón, entre otros países. Estas iniciativas muestran el interés de estos países desarrollados por alcanzar el autoabastecimiento de semiconductores.

El estudio está estructurado en cuatro capítulos:

- **El primer capítulo**, aborda la identificación de la demanda actual de talento humano en la industria, complementando estudios previos para capturar las habilidades y conocimientos necesarios para un desempeño efectivo en roles específicos.
- **El segundo capítulo**, consiste en un mapeo de la oferta formativa disponible, utilizando un instrumento estandarizado y sesiones grupales con instituciones académicas para capturar características claves de esta oferta.
- **El tercer capítulo,** se centra en el análisis de las brechas entre la oferta y la demanda identificada.
- **Finalmente,** se concluye con contribuciones concretas como "rutas de acción sugeridas", desarrolladas junto a la industria y la academia en el estudio.

Por ello, es fundamental que los diversos actores de la industria y los gobiernos colaboren para seguir facilitando el acceso mundial a los mercados, las tecnologías, el capital y el talento, y hacer que la cadena de suministro sea más resiliente.

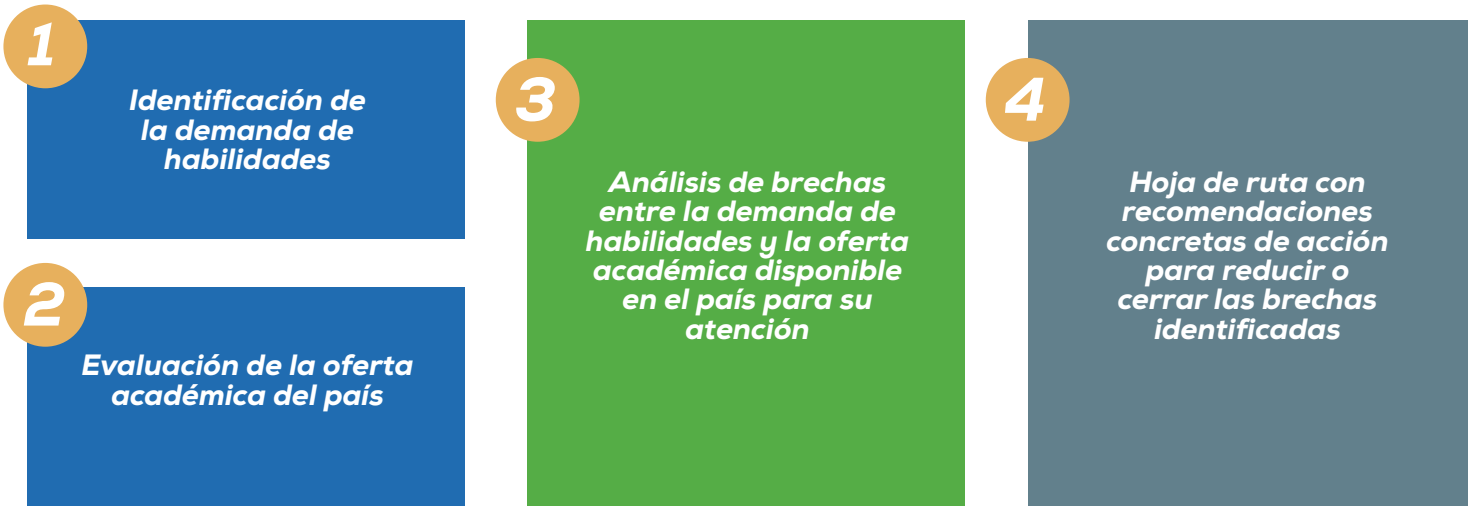
Considerando estas condiciones, la necesidad de equilibrar las concentraciones geográficas, y teniendo en cuenta la transversalidad de los semiconductores en la mayoría de las industrias clave de alta tecnología, el Gobierno de los Estados Unidos promulgó varios proyectos de ley que crean incentivos y financiación para esta industria en la región. En particular, el 9 de agosto de 2022, el presidente Joe Biden promulgó la ley "CHIPS and Science Act".

Esto nos lleva a dos preguntas centrales: ¿cuáles son las oportunidades y desafíos que se plantean para Costa Rica en este contexto de relocalización de esta industria?, ¿Cuenta el país con las capacidades suficientes para aumentar su participación en la cadena global de semiconductores?

Desde la Fundación CRUSA, estamos comprometidos en facilitar e identificar los cambios necesarios para que Costa Rica mejore su posición en la cadena global de valor de la industria de semiconductores y aumente su participación como socio estratégico de los Estados Unidos y las empresas del sector, conduciendo a un país más próspero, sostenible e inclusivo.

Presentamos este estudio, como un insumo de alto nivel para la toma de decisiones basadas en datos, para que los distintos actores del ecosistema de la industria de semiconductores puedan tener acceso a información relevante, desarrollada con una rigurosa metodología, que captura y sistematiza los aportes y análisis de la industria y la academia.

Ilustración 1
Estructura del estudio de brechas en el sector de la industria de semiconductores



Fuente: Elaboración propia con base en datos del estudio realizado.

3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Para el desarrollo del presente estudio, en coordinación con el sector privado y la academia se conformó una "Mesa de Talento Humano" divida en tres subgrupos técnicos de trabajo en las áreas de (i) ensamble y empaque, (ii) prueba, y (iii) diseño/VLSI .

Ilustración 2: Conformación de los subgrupos técnicos de trabajo de la Mesa de Talento Humano

SUBGRUPO TÉCNICO DE ENSAMBLE Y EMPAQUE

Integrado por 23 participantes: 11 expertos de la academia y 12 expertos de la industria
Con representación de 7 organizaciones académicas y 6 empresas multinacionales

SUBGRUPO TÉCNICO DE PRUEBA

Integrado por 23 participantes: 14 expertos de la academia y 9 expertos de la industria
Con representación de 8 organizaciones académicas y 5 empresas multinacionales

SUBGRUPO TÉCNICO DE DISEÑO / VLSI

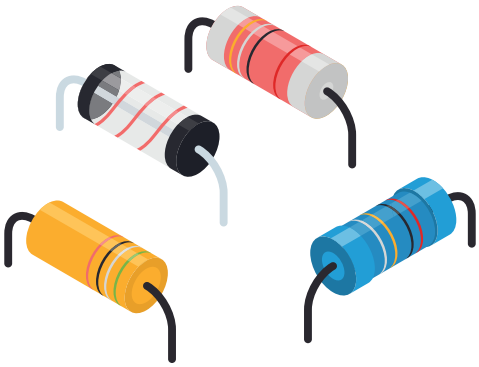
Integrado por 24 participantes: 16 expertos de la academia y 8 expertos de la industria
Con representación de 7 organizaciones académicas y 4 empresas multinacionales

Nota: En total, los subgrupos registran 55 expertos provenientes de 9 universidades y 8 empresas de la industria.
Fuente: Elaboración propia, con base en datos las listas de participación levantadas en las sesiones de los grupos de trabajo

La dinámica para cada subgrupo técnico se centró en la recolección, análisis, retroalimentación y depuración de información, utilizando seis componentes metodológicos:

1. Planificación ordenada de las reuniones requeridas

Para organizar la planificación estratégica y alinear el trabajo, que implicó el involucramiento directo y la interacción dinámica con las partes interesadas del proceso, se estableció un plan y cronograma de trabajo para la realización de sesiones con los integrantes de la Mesa de Talento Humano y sus grupos técnicos. Desde el lanzamiento formal del estudio en marzo, hasta la primera semana de junio, se celebraron más de 20 reuniones de trabajo, de las que emanó la data necesaria para confeccionar



los análisis de brechas que este documento expone. Estas se llevaron a cabo semanalmente y se alternaron, según fue requerido, para maximizar la eficiencia en el alcance de los objetivos formulados, entre sesiones solo con academia, sesiones solo con industria y sesiones conjuntas. Esto permitió una retroalimentación fluida y ordenada en torno a los insumos generados por cada grupo, asegurando la cobertura de los elementos planteados y garantizando que los productos resultantes provinieran de las partes interesadas en el proceso. Este planteamiento también facilitó el manejo adecuado de la información sensible.

Las reuniones persiguieron tres objetivos:

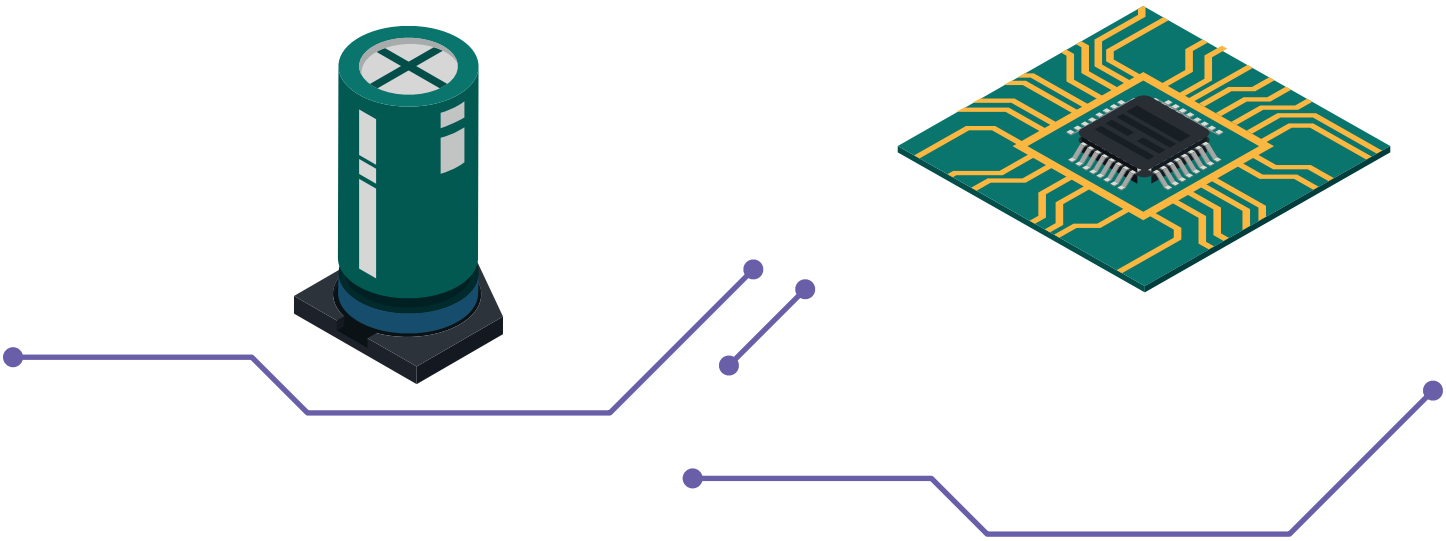
1. Recolectar información de fuente primaria.

2. Discutir y depurar la información recolectada, enriqueciéndola con las perspectivas y aportes de los actores involucrados (las industrias del sector de semiconductores, del lado de la demanda de talento, y las entidades académicas, del lado de la oferta).

3. Presentar los hallazgos del análisis de la información recolectada, y obtener retroalimentación de las partes interesadas sobre ellos.

2. Aseguramiento de la representatividad y legitimación de los hallazgos

Considerando el interés del estudio en alimentarse, para su construcción, con información de fuente primaria, se revisó la conformación de los grupos técnicos para verificar la representatividad en la participación. La representatividad se comprobó tanto desde la perspectiva organizacional como en la experticia de las personas designadas para integrar estas instancias. Por parte de la industria, participaron líderes de equipos de producción, investigación y recursos humanos; mientras que, por parte de la academia, se incluyó a vicerrectores académicos y directores de carreras. Estos participantes, provenientes de distintas áreas vinculadas a los procesos evaluados, aportaron amplios y diversos conocimientos y experiencias, enriqueciendo las discusiones y análisis de los subgrupos, dotando al proceso de importantes niveles de detalle y profundidad, y otorgando un valor especial a la información sistematizada y hallazgos identificados.



[2]Se optó por un enfoque en el diseño de circuitos integrados con integración a muy gran escala (Very Large Scale Integration-VLSI), que son los utilizados actualmente en el desarrollo de las tecnologías más avanzadas en el mundo.

Ilustración 3
Perfiles y registro de participantes que brindan la representatividad y legitimación perseguidas

55 expertos	8 empresas multinacionales	9 universidades*
• 30 representantes de las universidades • 25 representantes de la industria • Designados por sus organizaciones • Experticias de alto nivel, variadas: líderes de equipos de producción e investigación y recursos humanos, del lado de la industria; vicerrectores académicos y directores de carreras, del lado de la academia • Récord de participación mayoritaria: en promedio, 77% de los integrantes	• Dedicadas a manufactura de alta tecnología de componentes intermedios y productos terminados, o servicios de diseño relacionados con esta cadena productiva • Aplicaciones en energía, tecnologías de radiofrecuencia, telecomunicaciones, computadoras personales, sistemas de centros de datos, dispositivos de Internet de las Cosas, inteligencia artificial, vehículos, vehículos autónomos, industria médica, y otras • Arraigo (promedian 26 años en el país) • Emplean 6.500 personas	• Combinadas, ofrecen 19 carreras acreditadas en áreas relacionadas con los requerimientos de demanda, en grados de bachillerato y/o licenciatura • También tienen disponibles siete posgrados con diferentes especializaciones asociados a estas carreras • Además de tres carreras no acreditadas, en grado de bachillerato, que proporcionan contenidos alineados a los requerimientos de demanda

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de los productos 2 y 3 de este estudio, y los registros de participación almacenados en el expediente del proyecto. * La UCR aportó oferta académica en las carreras de ingeniería eléctrica (E), ingeniería mecánica (M) y computación e informática (C); los cuadros subsiguientes de este documento usan las siglas entre paréntesis para referirse a ellas.

Una característica relevante sobre el perfil de las empresas participantes reside en que de las 50 compañías multinacionales que operan procesos de manufactura avanzada en Costa Rica, 8 pertenecen a la industria de semiconductores. Tres de estas están dentro de las 40 más grandes del mundo en términos de utilidades y empleo, y figuran en la lista de las 50 principales empresas por capitalización de mercado. Todas participaron en este estudio.

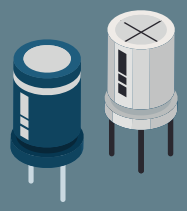
Estas empresas llevan a cabo diversas actividades productivas en Costa Rica, abarcando manufactura y servicios. Sus productos varían desde componentes intermedios hasta productos terminados, con aplicaciones en industrias que emplean tecnologías de la información, energía, tecnologías de radiofrecuencia, computadoras personales, centros de datos, Internet de las cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA), vehículos autónomos, telecomunicaciones e industria médica.

Según las cifras de CINDE, en 2022, estas empresas emplearon a más de 6,500 personas en el país y tienen una trayectoria promedio de 26 años, produciendo en el territorio nacional.

En cuanto a las entidades de la academia que participan en el proyecto, las carreras ofertadas por las universidades públicas cuentan con la acreditación emitida por la Agencia de Acreditación de Programas de Ingeniería y de Arquitectura (APPIA), mientras que del lado de las universidades privadas cuentan con la acreditación emitida por el Sistema Nacional de Acreditación de la Educación Superior (SINAES, 2022). Ambas ofertas incorporan áreas relacionadas con los requerimientos de demanda de talento humano identificados por la industria de semiconductores en el país, que incluye carreras con grados de bachillerato y licenciatura con distintos énfasis y posgrados.

Listas de carreras universitarias según grado y título universitario

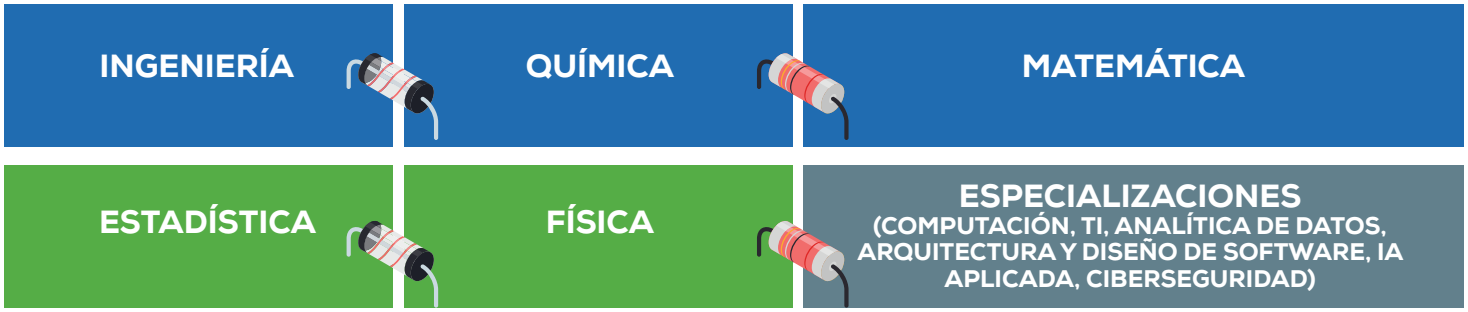
- Ingeniería Electrónica (Bachillerato y Licenciatura)
- Ingeniería Electrónica en Automatización (Licenciatura)
- Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones (Licenciatura)
- Ingeniería Electromecánica (Bachillerato y Licenciatura)
- Ingeniería Mecánica y Administración (Bachillerato y Licenciatura)
- Ingeniería Informática (Bachillerato)
- Ingeniería Informática (Licenciatura con énfasis en Desarrollo del Software, Gestión de Recursos Tecnológicos y Redes y Sistemas Telemáticos)
- Ingeniería en Sistemas Informáticos o Sistemas Computacionales (Bachillerato)
- Ingeniería en Sistema de Información (Bachillerato y salida lateral de Diplomado en Programación de Aplicaciones Informáticas)
- Ingeniería en Computación (Bachillerato)
- Ingeniería del Software (Bachillerato)
- Ingeniería en Tecnologías de Software, Hardware y Redes (Bachillerato)
- Ingeniería Telemática (Bachillerato)
- Ingeniería en Mantenimiento Industrial (Licenciatura)
- Matemática (Bachillerato y Licenciatura)
- Estadística (Bachillerato)
- Química (Bachillerato y Licenciatura)
- Química Industrial (Licenciatura con salida lateral de Bachillerato)
- Física (Bachillerato)
- Computación (Maestría con énfasis en Ciencias de la Computación)
- Tecnologías de la Información (Maestría)
- Gerencia en Tecnologías de la Información (Maestría)
- Base de Datos con Analítica (Maestría)
- Arquitectura y Diseño de Software (Maestría)
- Inteligencia Artificial Aplicada (Maestría)
- Ciberseguridad (Maestría)



La oferta académica se estructura en cinco carreras profesionales con diferentes niveles de grado y una serie de especializaciones a nivel de maestría.

El listado también incluye contenidos ofrecidos por 5 instituciones académicas (universidades u otros centros de educación superior) que no participan de este trabajo, en las siguientes disciplinas:
- Ingeniería en Sistemas de Computación (Bachillerato y Licenciatura)
- Ingeniería en Sistemas de Información (Bachillerato y Licenciatura)
- Ingeniería en Informática (Bachillerato)
- Ingeniería Informática (Licenciatura con énfasis en Gerencia)
- Ingeniería de Software (Bachillerato y Licenciatura)
- Ingeniería en Tecnologías de Información (Bachillerato)
- Tecnologías Informáticas (Diplomado)
- Electrónica (Diplomado)
- Química (Licenciatura)

Ilustración 4
Categorías de carreras profesionales acreditadas donde se mapea disponibilidad de oferta académica



Bachillerato
Bachillerato y Licenciatura
Maestría

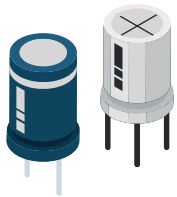
Fuente: Elaboración propia, con base en datos de SINAES actualizados a 2022.

De manera complementaria, expertos de la academia también ofrecen contenidos fuera de esta lista (sin la acreditación mencionada), en las áreas de Ingeniería Electrónica (Bachillerato), Ciencias de la Computación (Bachillerato) y Ciencias Matemáticas (Bachillerato).

En cuanto a producción de profesionales, las cifras de HIPATIA registran 72,366 estudiantes egresados de carreras de ingeniería y tecnología en el período de 2000 a 2022. Desglosando estos datos, en la última década (2013-2022), el promedio anual de egresados fue de 4,426, casi el doble del promedio anual en la década anterior (2003-2012), que fue de 2,431. Los datos no distinguen el centro de formación superior de donde provienen estos profesionales, ni especifican la distribución entre profesiones y grados académicos.

La información necesaria para construir el mapa de la demanda de habilidades técnicas, lingüísticas y blandas requeridas para ejercer las funciones correspondientes a cada uno de los eslabones del proceso productivo, emanó directamente de las empresas participantes. El trabajo de los subgrupos partió de un documento base presentado por estas al resto de miembros de la Mesa. Conforme avanzaron las discusiones, este insumo fue evolucionando y profundizando hasta lograr una (i) identificación de la demanda de talento del sector ampliamente depurada, validada, y detallada, para permitir, (ii) un mapeo riguroso de la oferta de formación ofrecida por la academia y centros de formación alineada a los requerimientos técnicos definidos por la industria, (iii) un análisis de brechas en función de la pertinencia, accesibilidad, y escala entre la oferta y la demanda, y (vi) finalmente el diseño de rutas de acción propuestas para abordar las brechas identificadas.

La información para construir el mapa de la oferta académica disponible en el país, enfocada en las habilidades técnicas necesarias para los procesos involucrados en la manufactura de semiconductores, se obtuvo de las organizaciones académicas oferentes. Se utilizó una matriz base en Excel para recolectar los datos de manera estandarizada, que sirvió como un instrumento consolidado para facilitar tanto la recolección como el análisis de la información capturada.



3. Profundización progresiva de los análisis

Un rasgo particular del proceso de evaluación de brechas fue la forma progresiva en que se fue profundizando en los análisis, hasta alcanzar la lectura más precisa posible y apegada a la realidad del panorama que caracteriza los desafíos de talento humano que afronta este sector. Sobre cada ítem de necesidad de talento, se evaluó la oferta presentada para su atención desde diferentes perspectivas que se detallan más adelante, determinándose la amplitud y pertinencia de la cobertura en el entorno nacional actual, así como las oportunidades de mejora, donde una acogida redundaría en el fortalecimiento efectivo del ecosistema.

4. Encuesta al sector académico

Entre el 7 y 20 de junio de 2024, se aplicó una encuesta a los representantes del sector académico designados en la Mesa. Con el instrumento se exploró, por medio de 13 preguntas, las percepciones de quienes proporcionaron respuestas sobre:

- La pertinencia de la oferta académica propuesta.

- Causas que provocan posibles desalineamientos detectados.

- Barreras que dificultan las posibilidades de mejorar el balance teoría-práctica, hacer más accesible la oferta o aumentar la profundización de la enseñanza.

- Barreras que dificultan las posibilidades de ofrecer certificaciones necesarias con agilidad.

- Frecuencia con que se actualizan las mallas curriculares y los contenidos destinados a la formación continua.

- Frecuencia y forma en que se acredita la actualización profesional de los docentes.

- Barreras que dificultan las posibilidades de contar con docentes especializados.

- Intereses de trabajar colaborativamente para involucrarse y comprometerse en el impulso de estrategias de corto plazo, fortalecer la práctica, y accionar rápidamente iniciativas para cerrar las brechas en inglés.

Los resultados confirmaron los hallazgos preliminares de brechas y oportunidades de mejora, como se describe en líneas posteriores.

5. Valoración sobre perfiles técnicos

El proceso incluyó una valoración con los actores de la industria, sobre el rol que desempeñan los perfiles técnicos en los procesos de manufactura que tienen lugar en Costa Rica. Por la estructura de la Mesa que, del lado de la academia, contempló a centros de enseñanza superior que (i) trabajan en formar estudiantes en el país, en áreas de relevancia para este sector; y (ii) se interesaron en participar de este trabajo, este análisis se enfocó en evaluar los insumos proporcionados durante los intercambios con las empresas, para complementar las conclusiones y recomendaciones sobre posibles cursos de acción a seguir adicionando elementos puntuales sobre este tema.

6. Buenas prácticas como referentes

Por último, el estudio complementó el análisis de posibles rutas de acción para cerrar los vacíos identificados con elementos provenientes de labores de investigación y análisis de buenas prácticas internacionales. Ello, con el propósito de aportar algunos referentes para la evaluación.

CAPITULO I

1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA DEMANDA ACTUAL DE TALENTO HUMANO EN EL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES

Los requerimientos de demanda identificados por la industria se dividen en dos: (i) los aspectos presentes de manera transversal en las tres áreas de oportunidad para el país, los cuales se relacionan con las necesidades existentes en materia de habilidades blandas, lingüísticas, y conocimientos básicos de lógica matemática involucrados en este sector; y (ii) las competencias técnicas requeridas de manera específica para poder ejecutar funciones en cada una de las áreas.

Una vez listadas las competencias necesarias, los participantes de los grupos técnicos identificaron cuáles requerían explicaciones para alinear el entendimiento y las expectativas de las partes. Esto fue considerado esencial, pues se reconoció que un desalineamiento en la conceptualización de los requerimientos y sus alcances podía conducir a brechas entre la demanda y la oferta. Así, en los ítems que los propios participantes determinaron, se proporcionaron valoraciones detalladas sobre la competencia en sí, la relevancia de su manejo para la ejecución de los procesos y subprocesos asociados y, en algunos casos, lo que, desde el punto de vista de lo que la industria, se necesita que el candidato comprenda o sepa hacer para poder llevar a cabo la función relacionada.

En este ejercicio hubo experiencias variadas entre los tres grupos técnicos. En algunos casos, solo se requirió profundizar algunas explicaciones. En otros, las aclaraciones tuvieron una cobertura amplia de los temas de necesitad listados. Y, en otras ocasiones, fue necesario ir más allá de esto, reestructurando contenidos inicialmente previstos, completando las listas con habilidades que no fueron originalmente identificadas, o detallando elementos como la necesidad de un dominio teórico y práctico del conocimiento. Estos y otros aspectos particulares a cada tema se detallan en la sección del mapeo de la demanda de competencias técnicas correspondiente al área de ensamble y empaque, prueba, y diseño / VLSI, presentados después de la descripción de los siguientes aspectos transversales.

1.1.1 ASPECTOS TRANSVERSALES

La transversalidad de las competencias asociadas a las habilidades lingüísticas, blandas y conocimientos básicos de lógica matemática radica en la relevancia que la industria les asigna, como elementos esenciales para que el recurso humano sea considerado competente en todas las áreas del proceso productivo abarcadas por este estudio. Los requerimientos específicos respecto a cada una se listan en la tabla a continuación.

Tabla 1: Requerimientos de Habilidades Blandas y Lingüísticas

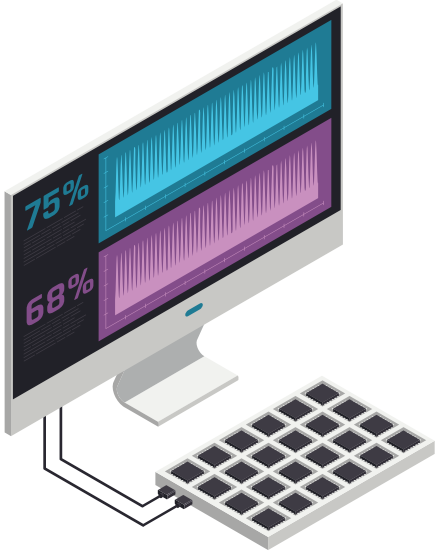
Área	Habilidades Blandas	Habilidades Lingüísticas (Inglés)	
Ensamble y Empaque	• Manejo del tiempo y prioridades • Tolerancia al cambio y la ambigüedad • Comunicación efectiva • Resolución estructurada de problemas • Pensamiento analítico • Proactividad • Trabajo en equipo • Comprensión de lectura, interpretación y redacción de documentos técnicos • Atención al detalle • Liderazgo	• Nivel mínimo B2 en perfiles de entrada (iniciales) • Nivel C1+ en perfiles intermedios	• Comprensión sólida de las bases de la lógica matemática, que incluye la habilidad para aplicar estos principios en diversas áreas del conocimiento y resolver problemas de manera rigurosa y estructurada.
Prueba			
Diseño/ VLSI			

Fuente: Contenidos extraídos de las diapositivas expuestas por expertos de la industria los integrantes de la Mesa de Talento Humano.

Es importante destacar que, desde los puestos de entrada iniciales, estas competencias no técnicas demandadas en la industria de semiconductores son altamente exigentes. Este nivel de requerimiento no se observa de igual manera en otras actividades productivas o industrias. La complejidad inherente a la industria, que justifica esta alta exigencia, impulsa un sentido de urgencia y una tendencia global a implementar estrategias ágiles y efectivas para desarrollar talento humano calificado, capaz de cubrir las notorias deficiencias en este recurso . Es una realidad que hace imperativo diseñar y ofrecer programas formativos que desarrollen las habilidades técnicas específicas del sector, y que también integren las competencias lingüísticas, habilidades blandas, y conocimientos básicos de lógica matemática anotados.

[3]La Asociación de la Industria de Semiconductores de Estados Unidos (SIA, por sus siglas en inglés) estima que, para 2030, habrá un faltante de 67.000 trabajadores capacitados en los diferentes niveles y segmentos requeridos por este sector, solo en el mercado estadounidense (SIA, 2023). Haciendo referencia a ingenieros, McKinsey señala que en el período de 2018 a 2022, la demanda se incrementó un 75% y, de continuar la tendencia que, se anticipa, más bien aceleraría a la luz del entorno cambiante, la brecha de talento alcanzaría más de 100.000 en Estados Unidos y Europa y más de 200.000 en Asia y el Pacífico (excluida China) (MCKINSEY, 2024). A nivel general en el sector de manufactura, que compite por muchos de los mismos puestos base, estudios calculan el faltante de recursos humanos calificados en 8 millones de puestos (EBBERS, 2024).

Los análisis de la Mesa concluyeron que crear una oferta educativa integral es el camino para preparar al talento humano de manera más completa, facilitando su adaptación a los altos estándares de la industria. Además, potencia la capacidad de las empresas para innovar y mantenerse



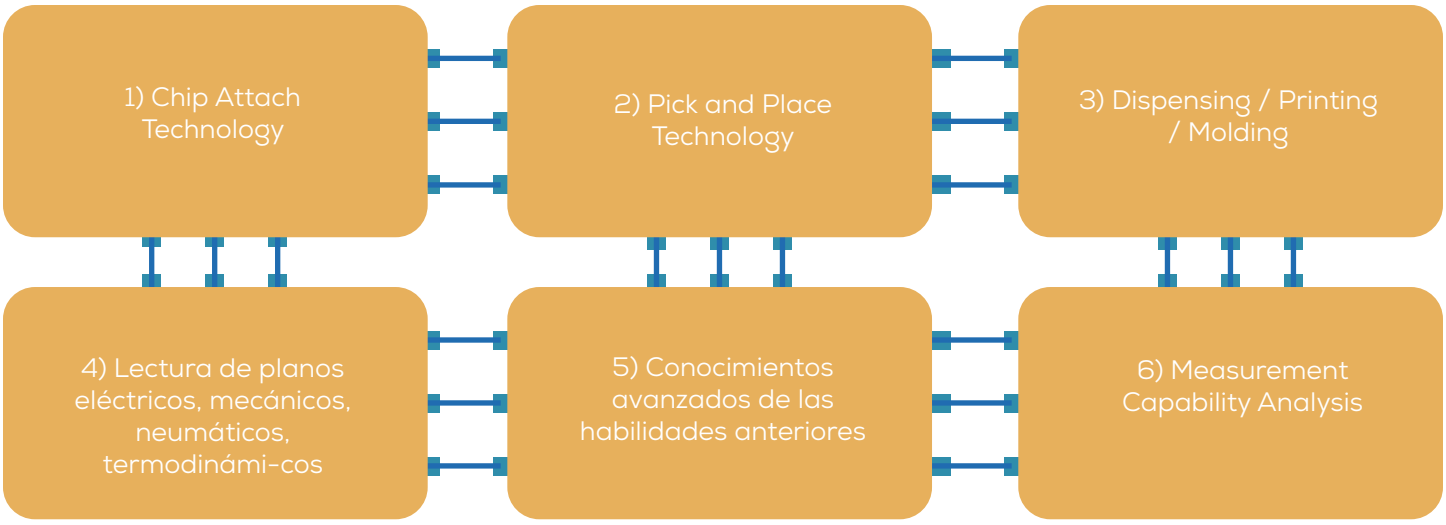
competitivas en un entorno global cada vez más exigente. Por lo tanto, la colaboración entre instituciones educativas, gobierno e industria es esencial para diseñar currículos que respondan efectivamente a estas necesidades y fortalezcan el ecosistema de semiconductores en Costa Rica

1.1.2 MAPEO DE HABILIDADES TÉCNICAS

1.1.2.1 ENSAMBLE Y EMPAQUE

Las habilidades técnicas requeridas para esta área se enumeran en una lista de seis ítems. Aunque existen algunas variaciones según el tema, todos son considerados esenciales para el desempeño adecuado en los procesos de ensamble y empaque.

Ilustración 5:
Habilidades técnicas requeridas en el área de ensamble y empaque



Fuente: Elaboración propia, con base en información recolectada en las sesiones del grupo técnico de ensamble y empaque, marzo-abril 2024.

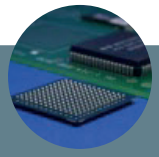
Cabe señalar que, en adición a estos seis ítems, la industria listó como un requerimiento importante para esta área, el manejo de conocimientos avanzados sobre todas estas competencias. Adicionalmente, señaló un área de oportunidad futura para la que se necesitarían formar conocimientos especializados: ***"die preparation"***. A continuación, se describen los elementos que este grupo técnico determinó pertinentes para el mapeo y análisis de brechas pretendido por este estudio, respecto a estas competencias técnicas.

1. CHIP ATTACH TECHNOLOGY

Esta tecnología se utiliza en los procesos de ensamble para conectar los chips.

En el trabajo del grupo técnico, la discusión se concentró en detallar los dos elementos que integran la lista de requerimientos técnicos de la industria para que la realización de estas funciones sea posible, ilustrados en el diagrama siguiente.

Ilustración 6
Procesos para la conexión de chips



Se le conoce como "conexión directa de chip".

Es el proceso por medio del cual la matriz semiconductora (semiconductor die) se conecta con la almohadilla de unión (bond pad), de forma invertida sobre el sustrato de soporte.

La conexión eléctrica se realiza mediante una protuberancia conductora en la almohadilla de unión del troquel.

Flip chip

En este proceso, se utilizan alambres delgados de metal para soldar firmemente los cables metálicos (metal leads) a las almohadillas del sustrato (substrate pads).

El fin es realizar la interconexión eléctrica entre los chips y los sustratos y posibilitar el intercambio de información entre chips.

La soldadura usa calor, presión y energía ultrasónica.

Wire bonding

Fuente:
Elaboración propia, con base en datos de ALTER Technology & IBE Electronics, 2024.

El principal hallazgo relacionado a este requerimiento que destacó la industria es la relevancia del aspecto práctico en el conocimiento de estas áreas.

2. PICK & PLACE TECHNOLOGY

La tecnología pick and place tiene numerosas aplicaciones en el proceso de manufactura avanzada. En la industria electrónica, se usa para el montaje superficial (Surface Mount Technology-SMT), utilizando equipos automatizados para recoger componentes como condensadores, resistencias y circuitos integrados, y colocarlos sobre placas de circuito impreso (printed circuit boards-PCBs). Los componentes son muy delicados y la colocación ocurre a alta velocidad y con gran precisión.

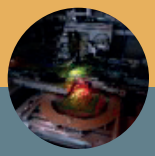
Los elementos que integran la lista de requerimientos técnicos identificados por la industria para que la realización de las funciones vinculadas a las tecnologías de pick and place se visualiza en la siguiente ilustración.

Ilustración 7:
Procesos para la colocación de componentes

Máquinas de alta precisión para posicionar componentes.

Utilizan sistemas de visión con cámaras, software de procesamiento de imágenes, lentes, e iluminación especializados.

Se usan en el proceso de ensamble para mejorar la velocidad y la precisión con poco ruido y sin problemas de interferencias.



Chip shooters

Los brazos robóticos se usan para manipular componentes electrónicos durante el montaje de las placas de circuito.

Garantizan la precisión en la colocación y soldadura de componentes diminutos, lo que permite mejorar la calidad del producto y reducir los errores humanos.

Al aumentar la capacidad de producción, su importancia para el crecimiento futuro de la industria se está incrementando.

Robot arms

Fuente:
Elaboración propia, con base en información brindada por los expertos en las discusiones de este grupo técnico, así como datos de VIASION & ROBOTIC AUTOMATION SYSTEMS, 2024. Fotos: Jim Wilson NYT & Fanuc (respectivamente).

Durante el proceso, los expertos de la industria exploraron los conceptos clave relacionados con este tema, para alinear las expectativas sobre las competencias necesarias para los estudiantes en el desarrollo de funciones vinculadas a estos procesos. Destacaron los siguientes requisitos:

- **Seguridad:** Dominar e implementar de manera efectiva las medidas de seguridad necesarias al interactuar con máquinas equipadas con brazos robóticos.

- **Secuencia:** Definir la secuencia completa de acciones que debe ejecutar un robot en un proceso, optimizando el tiempo del ciclo y minimizando los movimientos para alcanzar el resultado final requerido. Esto implica, comprender los criterios de variabilidad en la precisión y las ecuaciones de grados de libertad para ajustar la velocidad del brazo según la precisión necesaria, dado el creciente requisito de precisión en componentes cada vez más pequeños.

- **Cálculos y ajustes:** Capacidad para identificar, seleccionar y ajustar materiales o piezas, asegurando su colocación precisa en la ubicación requerida.

- **Función de picado:** Comprender la operación de picado, incluyendo la selección adecuada de boquillas para distintos procesos, considerando la delicadeza y tamaño reducido de algunos componentes.

- **Vibraciones, iluminación y sistemas de visión:** Entender cómo las vibraciones, la iluminación y los sistemas de visión interactúan a alta velocidad durante el proceso.

3. DISPENSING, PRINTING, & MOLDING

Este requerimiento técnico identificado por la industria hace referencia a las técnicas de dispensado, impresión y moldeo de materiales. Se destaca la manera en que los materiales acuosos o semilíquidos, como pastas de soldadura, fluxes, adhesivos y polímeros avanzados, se integran en los procesos de ensamble y empaque a través de esténciles, inyección y otros métodos con sprays.

En cuanto a las competencias técnicas requeridas en esta área, se identificaron los siguientes aspectos:

- **Procesos:** Es fundamental poseer un sólido conocimiento y habilidad para gestionar los procesos implicados, facilitando la aplicación efectiva de los materiales utilizados en ensamble y empaque.

- **Materiales:** Además, es crucial tener un profundo entendimiento de los materiales y sus propiedades. Esto incluye:
    - o Garantizar un manejo seguro, dado el alto nivel de toxicidad de algunos materiales.
    - o Comprender cómo estos materiales se transforman bajo diferentes condiciones energéticas presentes durante el ensamble y empaque, y su compatibilidad con otros materiales.

4. LECTURA DE PLANOS ELÉCTRICOS, MECÁNICOS, NEUMÁTICOS, TERMODINÁMICOS

Con respecto a este requerimiento técnico, los expertos de la industria no profundizaron en la especificidad de habilidades para interpretar planos eléctricos, mecánicos, neumáticos y termodinámicos. Sin embargo, la industria enfatiza en la importancia de esta competencia, que es escasa en el mercado laboral actual.

Dado que el diseño de semiconductores es un proceso integral, los planos desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de todos los elementos involucrados. Estos documentos, además de extensos, son altamente complejos y requieren una base de conocimientos sólida y robusta para su comprensión adecuada.

5. MEASUREMENT CAPABILITY ANALYSIS

Con el análisis de la capacidad de medición (MCA), se centra en los cálculos empleados para determinar si un sistema es estadísticamente capaz de cumplir con ciertas especificaciones o requisitos numéricos. Estos cálculos, se basan en los datos generados por los equipos utilizados en los procesos de fabricación de semiconductores. Es importante destacar que la habilidad para realizar MCA no se limita únicamente a los sectores de ensamble y empaque, también es crucial en áreas como la prueba.

A diferencia de otras industrias donde también se aplica, la industria de semiconductores destaca el vasto volumen de datos que se generan y que requieren ser analizados; cada evento o proceso puede generar millones de datos. Los expertos de la industria concuerdan en la necesidad de que los candidatos a posiciones sean capaces de convertir estos datos en información útil para la toma de decisiones. A continuación, ejemplos concretos que ilustran la magnitud de esta necesidad:

- Al introducir una nueva máquina para aumentar la capacidad de producción o reemplazar un equipo antiguo, el análisis de datos debe determinar si esta nueva máquina cumple con los requisitos establecidos y demostrar que es igual o superior al equipo anterior, justificando así su implementación en producción.

- Durante las operaciones diarias de la fábrica, el MCA se utiliza para asegurar que los equipos funcionen de manera óptima y para identificar áreas de mejora en los procesos.

- También se emplea para investigar problemas de calidad o situaciones reportadas por clientes cuando algo no funciona según lo esperado.

6. DESIGN OF EXPERIMENTS

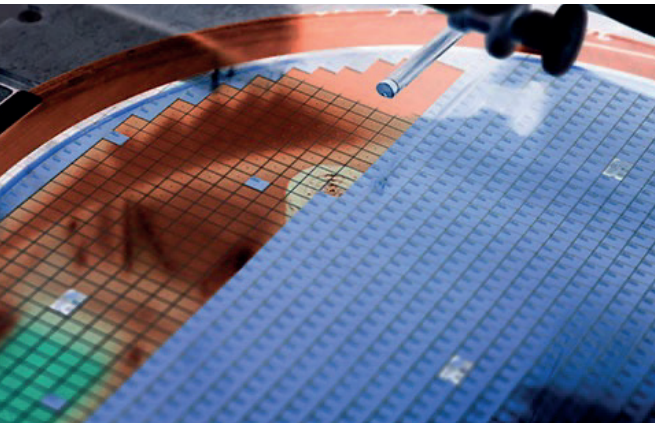
El diseño de experimentos está estrechamente vinculado al análisis de datos que tienen como objetivo, estructurar cuáles datos son relevantes, cómo recolectarlos y procesarlos de manera efectiva para controlar y optimizar un proceso.

Los aspectos críticos identificados como indispensables para cumplir con los requisitos de demanda en este ámbito están relacionados con la aplicación práctica de conocimientos estadísticos en el análisis de datos específicos de la industria de semiconductores. Esto incluye la habilidad para manejar las herramientas de software utilizadas en este sector.

7. CONOCIMIENTOS AVANZADOS

Para la industria contar con conocimientos avanzados sobre todas las habilidades listadas en el área de ensamble y empaque está vinculado con la evolución propia que tengan las empresas de semiconductores en el país. Así es la experiencia acumulada a través de los años por esta industria, que ha ido formando especialistas conforme se desarrolla.

8. DIE PREPARATION



El proceso Die Preparation o Die Prep ocurre inmediatamente antes del ensamble y empaque. Implica múltiples pasos, desde el adelgazamiento de las obleas (pulido hacia atrás), hasta su singularización, selección y colocación. Cada paso va acompañado de su propia metrología, para garantizar la calidad y el rendimiento. Por la naturaleza compleja de las obleas y dispositivos, los subprocesos son cruciales e implican materiales y equipos sofisticados que deben manejarse correctamente para que el procesamiento sea exitoso. En esta área también hay presencia de motores de alta velocidad, robotización, y sistemas de visión.

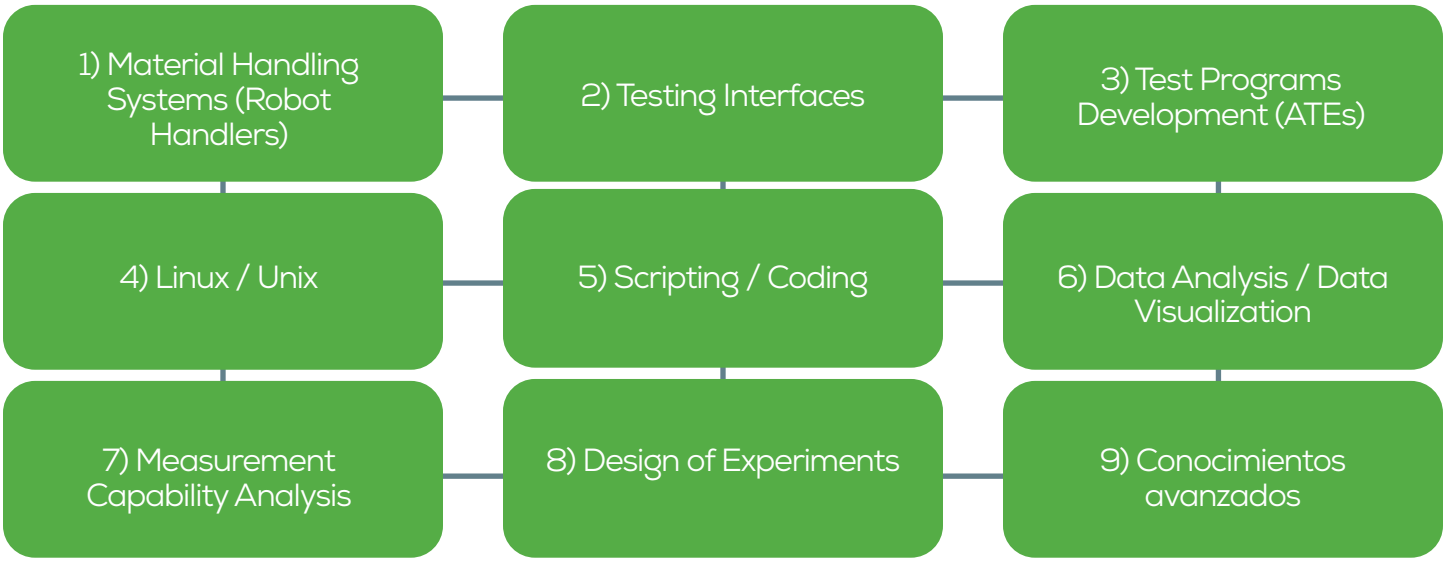
La preparación de troqueles no se incluyó inicialmente en el mapeo base de requerimientos técnicos desarrollado por expertos de la industria, sino que emergió durante la validación y depuración de la información. Se reconoció la presencia de empresas locales que ya realizan Die Prep, lo cual motivó la evaluación de posibles vías para desarrollar las competencias necesarias en este campo. La preparación adecuada de troqueles es crucial para garantizar la calidad del producto final, reducir costos y evitar contratiempos en el ensamble, lo que lo convierte en un factor determinante de competitividad y una oportunidad significativa para el país.

Además, los expertos destacaron que este proceso podría potencialmente fomentar la creación de nuevas empresas emergentes (start-ups), un componente actualmente ausente que fortalecería de manera sustancial el ecosistema de semiconductores en Costa Rica.

1.1.2.2 PRUEBA

Las habilidades técnicas requeridas en esta área se conforman de nueve ítems, ilustrados en el siguiente diagrama.

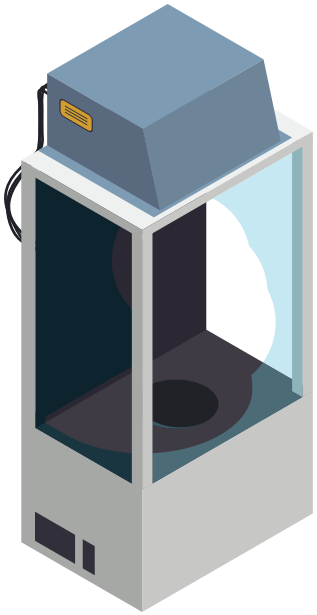
Ilustración 8: Habilidades técnicas requeridas en el área de prueba



Fuente: Elaboración propia, con base en información recolectada en las sesiones del grupo técnico de prueba, marzo-abril 2024.

Todos estos elementos fueron identificados y enumerados como esenciales para la realización de funciones en el área de prueba. A continuación, se detallan los hallazgos derivados del proceso participativo con los expertos de la industria y la academia, sobre los requisitos que ameritaron una explicación específica.

1. MATERIAL HANDLING SYSTEMS (ROBOT HANDLERS)



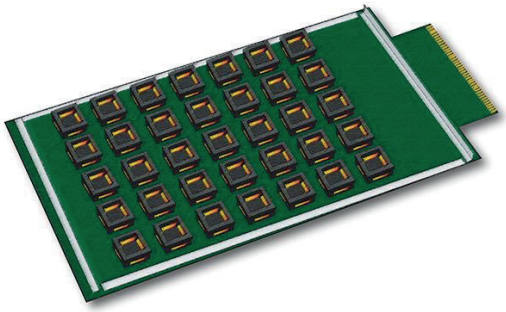
En el área de prueba de semiconductores, los sistemas de manipulación de materiales (MHS) son utilizados para posicionar chips o componentes en las áreas designadas para su prueba. Las tecnologías asociadas a estos sistemas están constantemente evolucionando en complejidad.

Se emplean máquinas avanzadas con brazos robóticos sofisticados que ofrecen niveles excepcionales de precisión en la colocación. Estos sistemas manejan pines o bolas de soldadura extremadamente sensibles que pueden doblarse o romperse fácilmente, así como áreas de cobre desnudo que requieren un manejo delicado. El socket que conecta con el dispositivo bajo prueba es un sistema automatizado conocido como Device Under Test (DUT). Además, estos equipos tienen sistemas de visión que usan cámaras integradas para capturar y procesar imágenes en tiempo real, facilitando la identificación y seguimiento preciso de las unidades y sus datos durante el proceso.

Las competencias necesarias para manejar estos sistemas, discutidas en las reuniones técnicas, incluyen:

- Manejar eficientemente el transporte y posicionamiento de partes, maximizando la eficiencia temporal.
- Aplicar correctamente principios de neumática y fuerza para asegurar el contacto eléctrico y mecánico entre las partes y los pines de prueba, con medidas precisas y controladas mediante sistemas robóticos.
- Comprender los algoritmos necesarios para controlar y obtener respuestas del dispositivo bajo prueba.
- Gestionar eficazmente los sistemas de visión y enfriamiento para detectar defectos emergentes y garantizar la trazabilidad durante todo el proceso.
- Mantenerse actualizado en los avances tecnológicos, especialmente en la evolución de la robótica aplicada a las pruebas y en el software complejo que controla y caracteriza los parámetros críticos del proceso de prueba.
- Dominar los protocolos de comunicación, como el General Purpose Interface Bus (GPIB), utilizados en la programación y operación de los equipos de prueba.
- Desarrollar drivers específicos para modelos de robots, manipuladores (handlers) o sondas (probers) utilizados en los equipos de prueba.

Estas habilidades son cruciales para asegurar el funcionamiento eficiente y preciso de los sistemas de prueba en la industria de semiconductores.



2. TESTING INTERFACES

Las pruebas de interfaz son pruebas de software aplicadas a circuitos integrados que fueron ensamblados y empaquetados. Estas pruebas verifican diversas situaciones según el tipo de prueba específica que se aplique.

Se utilizan tarjetas que se colocan sobre un socket para establecer conexión con todos los pines relevantes, dependiendo de la fase del flujo de pruebas en curso.

A continuación, ejemplos concretos que ilustran la magnitud de esta necesidad:

• Los tableros de burn-in, utilizados para detectar fallas antes del uso regular de semiconductores con el fin de asegurar su confiabilidad, someten las unidades a estrés mediante sobrevoltajes o altas temperaturas durante horas continuas para acelerar el fenómeno de mortalidad infantil.

• Las pruebas de plataforma, que replican el entorno del cliente mediante un model board como interfaz de prueba.

• Las pruebas estructurales y funcionales, que emplean una Testing Interface Unit (TIU), similar en apariencia a las tarjetas madre de computadoras, pero con funcionalidades más complejas.

El principal requisito en esta área, según los expertos de la industria, es la capacidad de solucionar problemas, crucialmente vinculada a la experiencia en laboratorio y considerada crítica. Esto implica la habilidad para determinar si los resultados insatisfactorios se deben a un interfaz marginal que permita descartar definitivamente la unidad o a un problema que afecte la funcionalidad y requiera revisión. Para tomar esta decisión, se requieren conocimientos profundos sobre el flujo de voltajes y corrientes a través de estas tarjetas especializadas y costosas, que deben ser manejadas con cuidado extremo.

3. TEST PROGRAMS DEVELOPMENT (AUTOMATED TEST EQUIPMENT-ATE'S)

La funcionalidad y el rendimiento de los semiconductores se validan a través del desarrollo de programas de prueba, utilizando diversas metodologías para asegurar las características y funciones del chip, así como para identificar y abordar defectos, variaciones de fabricación y otros problemas que puedan afectar su desempeño.

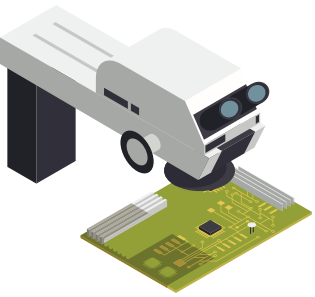
Sin embargo, en la industria de semiconductores se enfrentan varios desafíos significativos:

- La diversidad de requisitos de prueba, ya que cada producto semiconductor tiene necesidades únicas según su aplicación, desde la electrónica de consumo hasta sistemas automotrices o espaciales. Adaptar los programas de prueba a estas especificaciones aumenta la complejidad y el tiempo de desarrollo.
- La alta cobertura de fallas como requisito básico para garantizar la confiabilidad, implica desarrollar escenarios y patrones de prueba exhaustivos con tiempos prolongados.
- La constante evolución de estándares y tecnologías de semiconductores, que exige la actualización frecuente y revisión de los programas de prueba.
- La eficiente utilización de equipos de prueba costosos, equilibrando la exhaustividad de las pruebas con los recursos disponibles. Más cobertura implica más costo y tiempo, pero es crucial para mitigar defectos que podrían tener consecuencias significativas.
- El avance en metodologías de prueba, incluyendo la integración de inteligencia artificial y aprendizaje automático, clave para mejorar la eficiencia y efectividad de este proceso crucial.
- Los ingenieros de pruebas deben ser capaces de seleccionar y mantener equipos especializados como los Equipos Automatizados de Prueba (ATE), que realizan y evalúan pruebas de funcionalidad, rendimiento, calidad y estrés en semiconductores con mínima intervención humana.

En resumen, las competencias necesarias en esta área incluyen el desarrollo de programas de prueba, verificación de continuidad, detección de fugas, medición del consumo de energía y uso de vectores digitales. Además, deben seleccionar adecuadamente el tipo de prueba según los parámetros específicos del Dispositivo Bajo Prueba (DUT), y poder probar memorias eficazmente.

4. SCRIPTING / CODING

En la industria de semiconductores, la programación es un proceso vital en el desarrollo, personalización y mantenimiento de dispositivos electrónicos. Su importancia es múltiple:



- Permite a los fabricantes personalizar la funcionalidad de los dispositivos para satisfacer necesidades específicas de los clientes.
- Facilita la reprogramación en caso de fallas, restaurando la funcionalidad original o actualizando con nuevas características y capacidades.
- Viabiliza innovaciones en funcionalidad, posibilitando la creación de productos que realizan desde tareas simples, como controlar una bombilla, hasta tareas complejas, como conducir un vehículo autónomo (Bronstad, 2023).

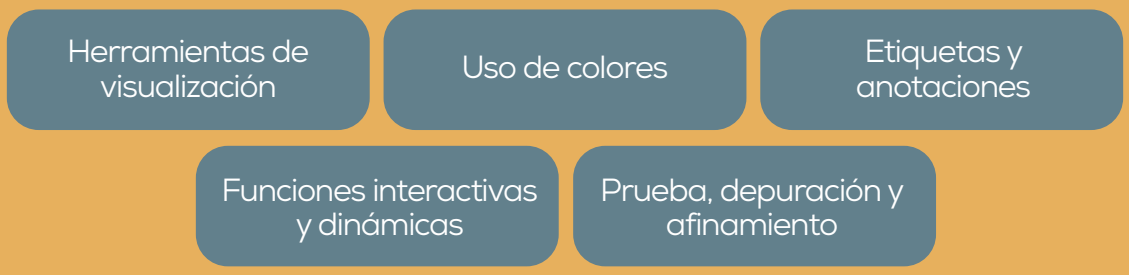
Aunque existen diversos lenguajes de programación que evolucionan junto con la industria, es común que las empresas seleccionen uno o varios para trabajar. En el área de pruebas, estos lenguajes se utilizan tanto para realizar las pruebas como para la automatización. En las discusiones con los expertos del área se identificaron Python, Perl y TCL como los lenguajes en los que se requiere que la fuerza laboral esté bien capacitada.

5. DATA ANALYSIS / DATA VISUALIZATION

Otro elemento crítico en el área de prueba es el análisis de datos. Encontrar e interpretar información útil entre los enormes volúmenes de datos recopilados por los probadores de semiconductores es esencial para identificar y resolver problemas potenciales desde el principio. Esto puede evitar que la solución se convierta en un problema costoso en términos económicos, de tiempo, pérdida de clientes y afectación de la reputación de la empresa. Por lo tanto, es indispensable tener un buen manejo de estas competencias.

Es esencial, comunicar efectivamente los resultados de los análisis mediante una buena visualización de los datos. Estas capacidades se ilustran en el siguiente diagrama y se explican puntualmente con ejemplos específicos de aplicaciones prácticas en la prueba de semiconductores.

Ilustración 9: Elementos de interés en la visualización de datos



Fuente: Elaboración propia, con base en información de artículo colaborativo de LinkedIn, 2024.

La visualización y el análisis de datos desempeñan un papel fundamental en la industria de semiconductores, siendo esenciales para la identificación y resolución temprana de problemas potenciales. La capacidad de seleccionar adecuadamente las herramientas de visualización, utilizar colores de manera efectiva, incorporar etiquetas y anotaciones precisas, emplear funciones interactivas y dinámicas, es crucial para transmitir información compleja de manera clara y comprensible.

Asimismo, el proceso de prueba, depuración y afinamiento asegura que las visualizaciones cumplan con sus objetivos y expectativas, maximizando su efectividad. El desarrollo de estas habilidades es indispensable para mantener la competitividad y la capacidad de innovación en la manufactura de alta tecnología. Por lo tanto, es imperativo que los profesionales en este campo estén bien capacitados en técnicas de visualización y análisis de datos, para asegurar la eficiencia y eficacia de los procesos de fabricación de semiconductores.

6. MEASUREMENT CAPABILITY ANALYSIS

En las plantas de semiconductores, se llevan a cabo numerosas pruebas sobre diversas unidades, generando grandes volúmenes de datos. En este contexto, el Análisis de Capacidad de Medición (MCA) se utiliza para diversos fines, como investigar problemas de calidad reportados por clientes, aumentar la velocidad de producción o reducir la cantidad de contaminantes en los procesos de fabricación.

El monitoreo de datos se aplica a todas las unidades procesadas, incluyendo máquinas, lotes, parámetros de las instalaciones, materias primas y perfiles técnicos, entre otras variables. Los datos recolectados se almacenan en bases de datos establecidas para realizar mediciones de capacidad y evaluar los niveles de competencia de los procesos, incluyendo sus sistemas de control. Estos requerimientos, que no fueron identificados inicialmente por la industria, surgieron durante las sesiones técnicas de los grupos y necesitan ser gestionados adecuadamente.

Finalmente, como en el área de ensamble y empaque, las competencias necesarias en el área de prueba para realizar MCA se relacionan con el análisis de datos generados por los equipos de manufactura de semiconductores y con el diseño de experimentos. La habilidad para manejar estos datos y extraer información relevante es esencial para la eficiencia y calidad en la fabricación de semiconductores.

7. DESIGN OF EXPERIMENTS

Los expertos, consideran que las personas que trabajan en el área de semiconductores, además de manejar los conceptos fundamentales, deben poseer competencias avanzadas para extraer, recolectar y analizar datos. Estas habilidades son importantes para determinar cuándo se está ante un resultado estadísticamente equivalente, mejor o peor, y para apoyar la toma de decisiones. Por ejemplo, se necesita saber cuándo seguir adelante si las pruebas arrojan resultados dentro de los parámetros esperados o cuándo advertir y realizar mejoras si se detectan fallas. Esto implica estar capacitado para determinar la precisión de un sistema y la repetibilidad y reproducibilidad de un proceso.

Este tema es desafiante, ya que el diseño de experimentos en semiconductores es "factorial", involucrando múltiples variables y niveles. Se determinó que los profesionales deben:

- Ser capaces de realizar análisis en variables binomiales y continuas.
- Saber cuál método utilizar para comparar poblaciones (por ejemplo, de lotes a lotes) o los parámetros de cada unidad.
- Poder inferir análisis de fallas (failure analysis) y determinar el factor que está causando cambios o evoluciones en una población o grupo de datos a lo largo del tiempo.
- Ser muy competentes en el uso de herramientas de manejo de datos como Minitab, JMP y otras, aplicándolas eficazmente en los procesos industriales diarios.

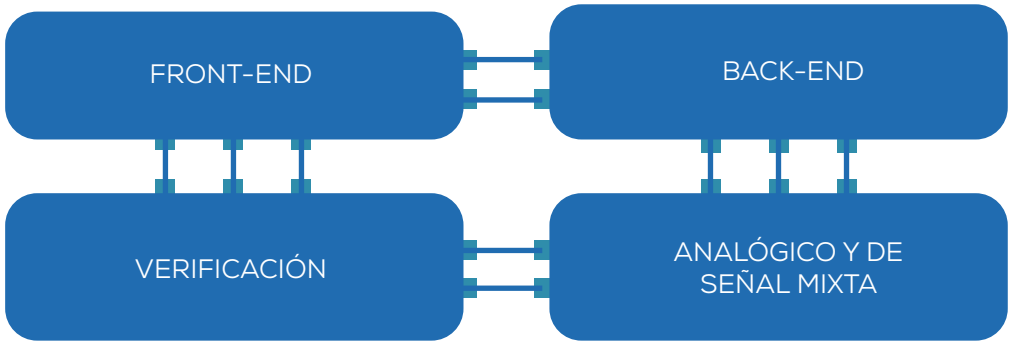
Estas competencias son esenciales para mantener la precisión, eficiencia y calidad en la manufactura de semiconductores, y su dominio es crucial para la mejora continua y la innovación en esta industria.

8. LINUX/ UNIX

Estos sistemas operativos son utilizados ampliamente en la industria de semiconductores, lo que hace necesario que las personas que trabajan en el sector tengan conocimientos que les permitan usar sus comandos típicos como usuarios generales.

1.1.2.3 DISEÑO / VLSI

Ilustración 10: Subprocesos de diseño evaluados en el mapeo



Fuente: Elaboración propia, con base en información recolectada en las sesiones del grupo técnico de diseño / VLSI, marzo-abril 2024.

En el trabajo de este grupo, se registraron diferencias significativas en la dinámica y, consecuentemente, en los niveles de detalle a los que se llegó en las discusiones para mapear la demanda de talento, la oferta académica para atenderla, y las brechas existentes. Por ejemplo, los participantes determinaron que era necesario profundizar en el intercambio y análisis de los requerimientos mapeados, como una excepción en lugar de una regla general, lo que provocó que únicamente en 3 de los 34 ítems se tuvieran discusiones específicas sobre los alcances de los requerimientos establecidos.

En lugar de aclaraciones individualizadas para cada competencia técnica mapeada como necesaria, los hallazgos en esta sección se enfocaron en identificar y especificar: (i) cuáles son indispensables para los graduados que buscan ingresar con éxito al sector de semiconductores; (ii) en qué áreas del proceso son aplicables y necesarios estos conocimientos; (iii) dónde se requiere, además del dominio teórico, la práctica de estos conocimientos; y (iv) las herramientas que la industria utiliza en el desarrollo de estas funciones.

1. MEDICIÓN DE COBERTURA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LA VALIDACIÓN

Las habilidades técnicas relativas a la medición de cobertura para determinar la calidad de la validación son cruciales en las áreas de diseño front-end y verificación. Los expertos de la industria explicaron que al definir la hoja de especificaciones de un dispositivo y diseñar el plan de control para validar un producto, no siempre es posible cubrir todas las especificaciones físicamente. Esto obliga al ingeniero responsable a decidir cuáles especificaciones se considerarán por diseño, cuáles se verificarán en cada paso de la fabricación, y cuáles serán obligatorias en cada dispositivo.

Para cumplir con estos requerimientos, se identificaron las siguientes competencias para los candidatos:

- Definir el porcentaje de cobertura: determinar qué porcentaje de las especificaciones se logrará cubrir y la capacidad de pruebas que se tendrá en los productos.
- Proporcionar retroalimentación técnica: comunicar en inglés técnico a los equipos de diseño sobre los hallazgos, para que se tomen las medidas correspondientes.
- Determinar la arquitectura adecuada: evaluar los niveles de cobertura medidos y, cuando no hay cobertura, considerar el nivel de riesgo y ajustar el diseño si el riesgo es alto.
- Medición y especificaciones de cobertura: entender y diferenciar las formas de medir la cobertura, escribir especificaciones formales del comportamiento esperado del diseño y crear el plan de cobertura necesario.
- Mejorar los porcentajes de cobertura: ser capaz de generar mejoras en los porcentajes de cobertura alcanzados.

Estas competencias aseguran que los ingenieros puedan tomar decisiones informadas y mejorar continuamente la calidad y fiabilidad de los dispositivos semiconductores.

2. CAPACIDAD DE CREACIÓN DEL PLAN DE PRUEBA Y DEL PLAN DE COBERTURA

Crear un plan de prueba y un plan de cobertura es esencial en el área de verificación, ya que asegura que las especificaciones de un dispositivo semiconductor se cumplan en diversos niveles: funcionalidad básica, funciones especiales (nivel intermedio) y funcionalidad con otros dispositivos externos (nivel avanzado). Los intercambios técnicos destacaron que elaborar un plan de pruebas requiere:

• **Habilidades y comprensión amplia:** conocimiento del dispositivo a probar, del ambiente de pruebas, de la forma de medir la cobertura y de la arquitectura del diseño.

• **Visión clara del propósito:** entender por qué se hace el plan, qué fin se persigue y qué metodología se debe utilizar.

• **Flexibilidad del plan:** reconocer que el plan no puede ser rígido; debe ser adaptable a las circunstancias reales de cada caso. Un plan maximalista diseñado para garantizar todas las especificaciones puede resultar en un exceso de pruebas, agregando complejidad, tiempo y costos al proyecto, afectando su viabilidad. El ingeniero debe tener la capacidad de adaptarse, caracterizar variables, identificar aquellas de bajo riesgo que pueden ser opcionales y reclasificarlas con una cobertura menor pero razonable para cumplir con los requisitos.

Estas competencias aseguran que los ingenieros puedan diseñar y ajustar planes de prueba efectivos y eficientes, optimizando recursos y garantizando la calidad y fiabilidad de los dispositivos semiconductores.

3. CONOCIMIENTO AVANZADO DE ESTRUCTURAS ANALÓGICAS EN PROCESOS DE FABRICACIÓN ESPECÍFICOS

Esta competencia pertenece al área de diseño analógico y de señal mixta. Solo fue discutida sucintamente, para indicar que la expectativa en torno a ella es que las personas puedan manejar determinadas reglas de diseño vinculadas al tema, y consideraciones de elementos parásitos, potencia, confiabilidad y durabilidad del circuito, que tener en cuenta en el diseño de este tipo de estructuras. Los participantes también subrayaron la relevancia de complementar el conocimiento teórico con la parte práctica de cómo se fabrica el circuito, en la vida real, un elemento considerado absolutamente determinante en estos procesos.

Además del examen puntual de las tres competencias anteriormente indicadas, el otro análisis realizado por el grupo de diseño / VLSI se detalla en el siguiente cuadro. Este enumera todas las habilidades técnicas requeridas, especificando en qué subáreas se aplican, cuándo son competencias mínimas esperadas al egreso del sistema educativo, y en qué casos se necesita experiencia práctica además del dominio teórico de los conocimientos.

Tabla 2: Requerimientos de habilidades en el área de diseño / VLSI

Habilidad demandada	Áreas donde ser requiere	Requerimiento mínimo necesario*		Conocimiento teórico y práctico	
		SI	NO	SI	NO
Diseño de sistemas digitales	FE-BE-VE-AM	X		X	
Arquitectura de sistemas digitales	FE-BE-VE-AM	X		X	
Escritura de RTL utilizando lenguajes de modelado de hardware: System Verilog	FE-BE-VE-AM	X		X	
Conceptos básicos de verificación de modelos RTL	FE-VE	X		X	
Programación SW (Python, C++, TCL)	FE-BE-VE-AM	X		X	
Análisis de tiempo estático (STA)	FE-BE	X		X	
Diseño de baja potencia	FE-BE-AM	X			X
Diseño con compuertas de reloj (clock gating)	FE-BE		X		X
Malas técnicas de diseño (identificar y corregir)	FE-BE-VE-AM		X		X
Manejo de cruces de reloj	FE-BE-VE	X			X
Conceptos de DFT (Scan, ATPG,etc.)	FE-BE-VE		X		X
Entendimiento básico de conceptos lógicos y físicos, arquitectura CMOS, y lógica digital	FE-BE-VE-AM	X		X	
Entendimiento de DRCs					
Conceptos de ruido	BE-AM		X		X
Conceptos de Skew y Jitter	FE-BE-AM	X			X
Conceptos básicos de floor-planning	BE-AM	X			X
Técnicas de convergencia y optimización de área y potencia	BE BE-AM		X X	 X	X
Conocimiento avanzado en todos los puntos anteriores	FE-BE-VE-AM		X		X
CTS, convergencia de área, congestión, potencia y frecuencia	BE	X			X
Modificaciones de RLT basado en análisis de datos	BE		X		X
Conocimiento avanzado en una o más áreas de validación	FE-VE		X		X
Verificación de hardware utilizando lenguajes como SystemVerilog o SystemC o C++ o Python o similares	FE-VE	X		X	
Uso de UVM para validar modelos de RTL	VE	X		X	
Medición de cobertura para determinar la calidad de la validación	FE-VE	X		X	
Conocimientos claros del ambiente de verificación: BFM, monitor, sequence, sequencer, driver, test, environment, scoreboard, checker, agents, etc.	VE	X			
Conceptos avanzados de diseño digital	FE-BE-VE-AM		X		X
Capacidad de creación del plan de prueba y del plan de cobertura	VE	X		X	
Conceptos de procesamiento digital de señales	AM	X		X	

Habilidad demandada	Áreas donde ser requiere	Requerimiento mínimo necesario*		Conocimiento teórico y práctico	
		SI	NO	SI	NO
Capacidad de creación del plan de prueba y del plan de cobertura	VE	X		X	
Conceptos de procesamiento digital de señales	AM	X		X	
Conocimiento introductorio de estructuras básicas como opamps, mixers, amplificadores, fuentes de bandgap, espejos de corriente, ADC, DAC, filtros, etc.	AM	X		X	
Conceptos básicos de layout	BE-AM	X		X	
Conceptos de CMOS	BE-AM	X		X	
Conceptos de ruido e intermodulación	BE-AM	X		X	
Conocimiento avanzado de estructuras analógicas en procesos de fabricación específicos	AM		X		X
Conocimientos avanzados de los conceptos anteriores	AM		X		X

Leyenda: FE= FRONT-END | BE= BACK-END | VE= VERIFICACIÓN | AM= ANALÓGICO Y DE SEÑAL MIXTA
Fuente: Elaboración propia, con base en información recolectada en las sesiones solo con industria del grupo técnico de diseño / VLSI, abril 2024.
Nota: Las casillas marcadas con "X" indican que se necesita que una persona recién graduada egrese manejando la habilidad demandada.

Dado el énfasis significativo en el conocimiento práctico dentro del ámbito del diseño, se identificaron las principales herramientas que la industria emplea diariamente en estas áreas. El objetivo es integrarlas en los programas formativos destinados a aquellos que buscan ingresar a la industria de semiconductores. Específicamente, se estableció que, para verificación, diseño de front-end y back-end, se utilizan herramientas como Synopsys, Cadence y Siemens, entre otras. En el diseño analógico y de señal mixta, se emplean herramientas como SPICE o equivalentes.

2.1 MAPEO DE LA OFERTA DE FORMACIÓN DE TALENTO HUMANO EN EL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES

Este apartado tiene como propósito presentar los resultados de la segunda etapa del proceso, consistente en identificar y evaluar la oferta académica disponible en Costa Rica para atender la demanda de habilidades en el sector de la industria de semiconductores que opera en el país.

2.1.1 ASPECTOS TRANSVERSALES

Los aspectos transversales considerados relevantes para poder mapear con precisión la disponibilidad de oferta académica que se tiene en el país se ilustran en el siguiente diagrama. Seguidamente, se describen los elementos que los grupos técnicos discutieron sobre ellos.

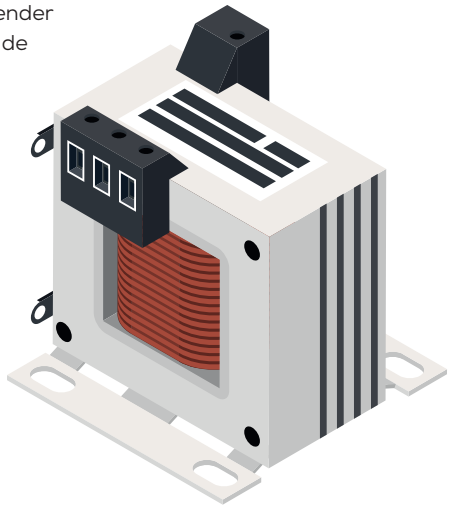
Ilustración 11: Aspectos transversales evaluados en el mapeo de oferta académica

Fuente: Elaboración propia, con base en información recolectada en las sesiones de los grupos técnicos de ensamble y empaque, prueba, y diseño / VLSI, marzo-abril 2024.

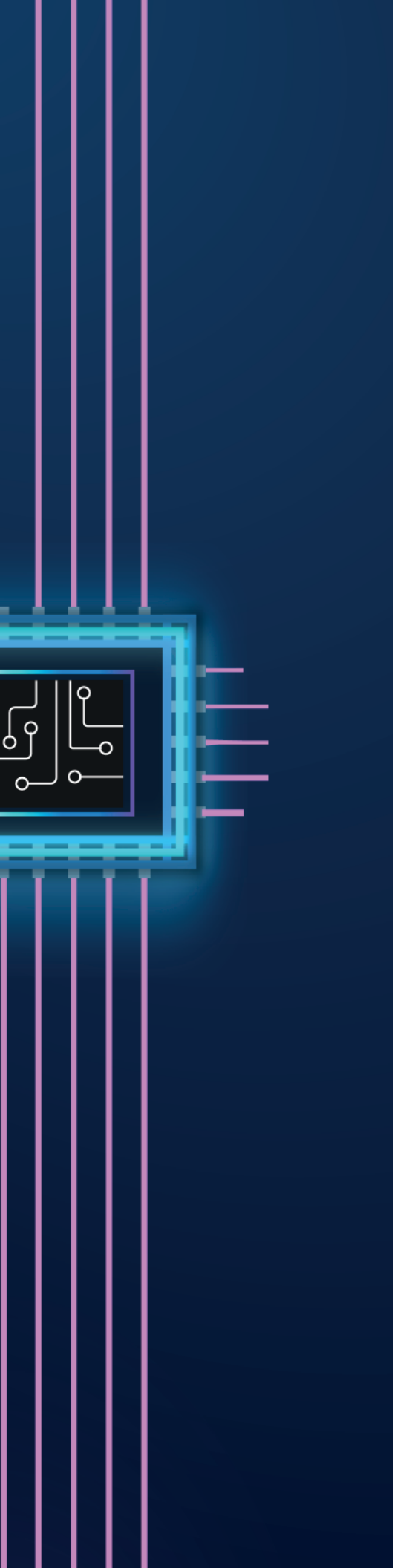
•Reto estructural:
Las organizaciones académicas participantes expresaron una preocupación generalizada por las fuertes carencias en la base de conocimiento de los estudiantes que ingresan a sus centros de estudios, especialmente en áreas como física, química, matemáticas e inglés. Este es un reto estructural que dificulta la producción efectiva y oportuna de profesionales en las carreras de interés para industrias tecnológicas como la que enfoca este estudio. Tanto la academia como la industria reconocen la importancia de abordar este desafío prioritariamente, ya que se necesita que los estudiantes tengan conocimientos sólidos en estos temas, sin dejar de lado otros aspectos descritos a continuación. Es crucial asegurar un enfoque balanceado que, por una parte, forme bases sólidas de conocimiento necesarias para todas las industrias y, por otra, provea capas de especialización técnica que permitan operar en condiciones de competitividad creciente.

•Reto de escala:
Relacionado con el punto anterior, se manifestó la preferencia por priorizar esfuerzos para asegurar que los estudiantes que logran pasar los filtros de entrada y permanencia en carreras STEM se gradúen con éxito. Esto es preferible a multiplicar la cantidad de graduados, dado los problemas estructurales señalados. Además, se consideró la necesidad de valorar mecanismos para atraer talento especializado de otras geografías, con facilidades competitivas en el contexto global actual, para atender la demanda creciente de profesionales.

• Balance del conocimiento teórico y práctico:
Hubo extensas discusiones sobre la necesidad de complementar la formación teórica con conocimientos prácticos necesarios para los procesos de la industria de semiconductores. Existen retos importantes en infraestructura y equipamiento, pero también oportunidades de colaboración entre sectores para mejorar las condiciones actuales. Estos aspectos se desarrollan en el siguiente capítulo sobre el análisis de las brechas entre la demanda y la oferta.



• Necesidad de formación continua:
Los participantes consideraron estratégico promover y fortalecer la formación continua como complemento a la formación técnica - profesional. Esto incluye habilitar a la población laboral herramientas para actualizarse y especializarse, manteniéndose a la vanguardia del conocimiento técnico en el entorno tecnológico dinámico. Se subrayó la relevancia de explorar opciones de cursos especializados, así como certificaciones que adicionen capas de conocimiento a la fuerza laboral de la industria de semiconductores. Sin embargo, como factor clave de éxito para que la formación continua sea efectiva, el sector académico identificó que los profesionales contratados por la industria tienen una limitación de tiempo para cumplir con sus tareas en sus puestos de trabajo y comprometerse en procesos de formación.



2.1.2 MAPEO DE LA OFERTA DE FORMACIÓN DISPONIBLE EN EL PAÍS

Para mapear la oferta académica disponible en relación con los requerimientos de talento de la industria de semiconductores en el país, se utilizó una matriz con varios componentes analíticos, aplicada uniformemente a todas las organizaciones participantes. Conforme a las mejores prácticas para el desarrollo de estudios de brechas, se incluyen la valoración de la pertinencia y actualización de los programas existentes y el tiempo de formación requerido, así como las respuestas que se pudieron identificar en torno a las siguientes interrogantes:

- **Carrera técnica o profesional:** ¿Los contenidos de formación pertenecen a una carrera profesional o técnica?

- **Disponibilidad:** ¿Los contenidos forman parte de la oferta actual o de los planes futuros del oferente? ¿Para cuándo están planeados?

- **Cobertura y duración:** ¿La oferta representa un curso completo o es un tema dentro de un curso más amplio? ¿Cuál es la duración prevista para impartir el contenido?

- **Frecuencia:** ¿Los contenidos se ofrecen mensualmente, semestralmente, cuatrimestralmente u otra? ¿Con qué frecuencia están disponibles?

- **Perfil del estudiante:** ¿Qué tipo de estudiantes pueden optar por estos contenidos? ¿Cuáles son las condiciones de accesibilidad?

- **Costos:** ¿Cuáles son los costos asociados?

- **Cupos:** ¿Existen limitantes de cupo mínimo y máximo?

- **Otros:** ¿Existen certificaciones asociadas? ¿Hay becas disponibles para estudiantes interesados? ¿Se mide el nivel de inglés de los egresados?

A partir de lo anterior, el estudio obtuvo un mapeo amplio y detallado de la oferta académica, circunscrito a la información aportada tanto por las empresas de la industria como por los centros de formación participantes en este. Seis de los centros de formación participantes aportaron datos en diferentes niveles de detalle. Considerando que siete de las nueve universidades involucradas en los grupos técnicos cuentan con contenidos de formación en las disciplinas listadas, la contribución equivale a un nivel de respuesta del 86%.

2.1.2.1 ENSAMBLE Y EMPAQUE

Como punto de partida de las siete categorías de habilidades técnicas requeridas para el área de ensamble y empaque, definidas por expertos de la industria, las seis universidades participantes en este ejercicio registraron uno o varios contenidos en su oferta académica. La totalidad de los contenidos identificados se ilustra en la siguiente tabla y los datos recolectados sobre cada ítem se describen a continuación.

Tabla 3: Mapeo inicial de la disponibilidad de oferta nacional en las áreas de ensamble y empaque

HABILIDAD TÉCNICA	TEC	CENFOTEC	ULATINA	UH	UCR			ULACIT
					E	M	C	
1 Chip Attach Technology	▲				●			■
• Flip Chip	▲				●			■
• Wire Bonding	▲				●			■
2 Pick & Place Technology	▲			▲	▲			▲
• Chip Shooters	▲				●			
• Robot Arms		■	▲	▲	●	▲	▲	▲
3 Dispensing/ Printing/ molding	▲		▲		●	▲		■
• Solder Paste, Flux, Epoxy, Adhesives, Polymers, etc.	▲		▲		●	▲		■
4 Destreza en lectura de planos eléctricos, mecánicos, neumáticos, termodinámicos	▲		▲		▲	▲		
5 Conocimientos avanzados de las habilidades anteriores			▲		●	▲		
6 Measurement Capability Analysis	▲		▲	▲	●	▲	▲	▲
7 Desingn of Experiments	▲		▲	▲	●	▲	▲	▲

▲Profesional ■Técnica ●Sin definir ■Oferta existente ■Oferta planeada/ en proceso

Fuente: Contenido tomado de la diapositiva elaborada y expuesta por la consultora a los representantes de la industria que integran el GTT de Ensamble y Empaque, en reunión virtual celebrada el 24 de abril de 2024.

1. CHIP ATTACH TECHNOLOGY

En esta tecnología utilizada para conectar chips, se identificaron dos procesos de interés: (i) flip chip y (ii) wire bonding. Al analizar la oferta académica disponible, dos universidades registraron contenidos relacionados con estos temas e indicaron que los ofrecen como parte de su currícula actual. La naturaleza de estos contenidos es distinta:

• **Tecnológico de Costa Rica (TEC):** La oferta para ambos ítems se cubre bajo el tema "integración de sistemas," una materia impartida en 3 horas, presente en los cuatro énfasis de la Maestría en Electrónica: procesamiento digital de señales, sistemas empotrados, microelectrónica y microsistemas.

• **Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología (ULACIT):** Flip chip se aborda en la materia "fabricación de semiconductores," impartida en el primer cuatrimestre de la Especialización en Semiconductores y Verificación, con una duración de 2 a 4 horas. Wire bonding se cubre en el tema "nanotecnología y semiconductores avanzados," impartido en el cuarto cuatrimestre de la misma especialización con la misma duración, previa aprobación de la materia "fabricación de semiconductores."

Además, la Universidad de Costa Rica (UCR) afirma tener la intención de desarrollar contenidos sobre estos temas en el futuro, específicamente en la carrera de Ingeniería Eléctrica.

2.PICK & PLACE TECHNOLOGY

En la tecnología pick & place, utilizada para el montaje superficial de componentes mediante equipos automatizados que recogen y colocan componentes en placas de circuito impreso (PCBs), se identificaron dos necesidades de formación: (i) chip shooters y (ii) robot arms. Las seis universidades que participaron en el mapeo aportaron diversa oferta académica relacionada.

Respecto a CHIP SHOOTERS, dos universidades ofrecen los siguientes contenidos:

• **Tecnológico de Costa Rica (TEC):** Se registra el mismo contenido identificado para los ítems de chip attach technology descritos anteriormente.

• **Universidad de Costa Rica (UCR):** La carrera de Ingeniería Eléctrica vincula la tecnología pick & place en general con el tema "automatización industrial", un curso optativo impartido en 6 horas, con 3 horas de teoría y 3 de laboratorio. Además, confirman la intención de desarrollar contenidos futuros específicos para chip shooters.

En cuanto a ROBOT ARMS, cinco universidades listaron contenidos actuales o planificados:

• **Universidad de Costa Rica (UCR):** Lista contenidos en tres carreras:

o Ingeniería Mecánica: Plan de estudios que incluye dos electivas ofrecidas una vez al año (mecatrónica y robótica) y un tema de dinámica, visto en 2-3 horas dentro del curso formal de Mecánica II, impartido semestralmente en el tercer año.

o Computación: Ofrece robótica como parte de los bloques optativos en tres énfasis del bachillerato en computación: ciencias de la computación, ingeniería de software e ingeniería de TI, con una duración de 5 horas.

o Ingeniería Eléctrica: Intención de ofrecer contenidos sobre este tema en el futuro.

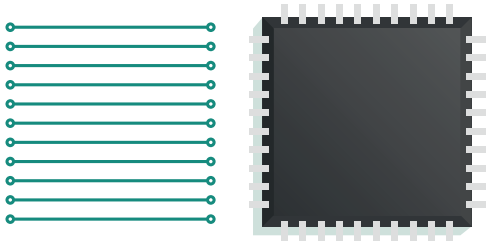
• **Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología (ULACIT):** En el bachillerato de Ingeniería en Circuitos y Sistemas Electrónicos, el curso de Circuitos de Control Automático, parte del VII cuatrimestre, asigna a este tema una duración de 3 a 6 horas.

• **Universidad Latina de Costa Rica (ULATINA):** Ofrece un curso completo (16 semanas) de robótica industrial a lo largo de un cuatrimestre para estudiantes de Ingeniería Electrónica.

• **Universidad Hispanoamericana (UH):** Los temas identificados se imparten en los cursos "Diseño de Sistemas III" y "Taller III" en la carrera de Ingeniería Electrónica, en el octavo cuatrimestre del bachillerato.

• **Universidad CENFOTEC (CENFOTEC):** Plantea ofrecer formación en robótica en un futuro cercano, en un plazo mínimo de cuatro meses.

Esta información consolida la oferta académica relacionada con las habilidades técnicas necesarias para la tecnología pick & place, destacando tanto los contenidos actuales como las intenciones de desarrollo futuro en las universidades participantes.



3. DISPENSING, PRINTING, & MOLDING

En los procesos de dispensado, impresión y moldeo, fundamentales para la aplicación de materiales en el ensamble y empaque, las universidades participantes identificaron una oferta académica diversa:

• **TEC:** Ofrece un curso completo de diseño de moldes y troqueles dentro de la carrera de Ingeniería en Materiales a nivel de licenciatura, con una duración de 4 horas. Además, incluye la materia "integración de sistemas" como respuesta a los requerimientos en tecnologías como chip attach y pick & place.
• **ULATINA:** Integra estos temas específicos en varios cursos ofrecidos en las carreras de Ingeniería Electrónica, Electromecánica y Mecánica y Administración, destacando la presencia de laboratorios especializados.
• **UCR:** En la carrera de Ingeniería Mecánica (M), estos temas se abordan en varias materias con duraciones que van de 1 a 5 lecciones de 2 a 3 horas cada una, a lo largo de un semestre, enfatizando la aplicación práctica. En Ingeniería Electrónica (E), hay planes futuros para desarrollar contenidos en este campo.
• **ULACIT**: Aborda estos temas bajo la materia "Nanotecnología y Semiconductores Avanzados" en el cuarto cuatrimestre de la Especialización en Semiconductores y Verificación, con una duración de 2 a 4 horas.

Estos programas reflejan la respuesta de las universidades hacia las necesidades específicas de formación en tecnologías de dispensado, impresión y moldeo en el sector de semiconductores.

4. LECTURA DE PLANOS ELÉCTRICOS, MECÁNICOS, NEUMÁTICOS, TERMODINÁMICOS

Respecto a la interpretación de los distintos tipos de planos utilizados en la industria de semiconductores, que detallan todos los elementos involucrados en la fabricación de estos dispositivos, se ha recopilado información de oferta académica de 4 universidades:

• **TEC:** Ofrece dos cursos de física (Física General II y Física General III) integrados en los planes de estudio de varias carreras, incluyendo Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería en Computadores e Ingeniería en Materiales, a nivel de licenciatura. Estos cursos tienen una duración de un cuatrimestre.

• **ULATINA:** Los cursos como Diseño Eléctrico Industrial y Termodinámica I y II, impartidos en las carreras de Ingeniería Electromecánica y de Ingeniería Mecánica y Administración, abordan varios temas alineados con los requisitos de la industria, como planos eléctricos, termodinámica y neumática.

• **UCR:** Ofrece una materia optativa de Instrumentación Industrial dentro de la carrera de Ingeniería Eléctrica. Este curso se imparte a lo largo de 1-2 semanas en 16 semanas de la materia.

• **UH:** En el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Electrónica a nivel de bachillerato, se incluyen varias materias que cubren los contenidos necesarios para este tema, como Diseño de Sistemas I, II y III; Máquinas Eléctricas; y Talleres II y III. Cada una de estas materias se imparte a lo largo de un cuatrimestre.

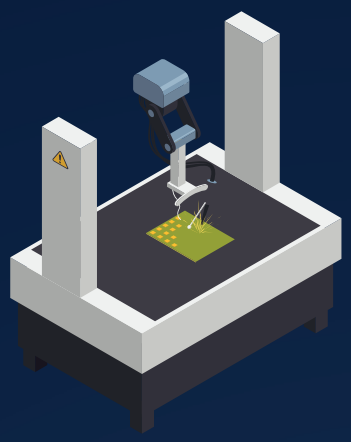
Estos programas académicos reflejan la respuesta de las universidades ante la demanda de habilidades específicas en la interpretación de planos en el sector de semiconductores.

5. MEASUREMENT CAPABILITY ANALYSISANALYSIS

En las competencias técnicas asociadas al análisis de capacidad de medición (MCA), que comprenden el conjunto de cálculos utilizados para determinar si un sistema es estadísticamente capaz de cumplir con especificaciones o requisitos, 5 universidades ofrecen contenidos relevantes:

• **TEC:** La carrera de Ingeniería Electrónica a nivel de licenciatura ofrece un laboratorio de mediciones eléctricas, con una duración de 16 semanas, dirigido a satisfacer este requerimiento.

• **UCR:** La carrera de Ingeniería Eléctrica proporciona un curso teórico-práctico completo de metrología e instrumentación, enfocado en la medición de parámetros como dimensión, presión, temperatura y masa. Este curso se imparte durante un semestre, con clases de 4 horas semanales (1 hora de teoría y 3 horas de práctica). Además, la carrera de Computación ofrece dos cursos específicos: diseño de experimentos y desempeño y experimentación, ambos con una duración de 2 semanas. También existe una intención de desarrollar contenidos futuros en este ámbito por parte de Ingeniería Eléctrica.



• **ULACIT:** Ofrece cursos completos como gestión de calidad y control estadístico y herramientas avanzadas para el análisis de calidad, dentro de la carrera de Ingeniería Industrial a nivel de bachillerato y licenciatura, respectivamente. Estos cursos tienen una duración de 45 horas. Cabe destacar que para completar el programa se requiere aprobar un examen de inglés de nivel B2.

• **ULATINA:** La carrera de Ingeniería Industrial ofrece un curso completo de metrología y normalización, impartido a lo largo de un cuatrimestre.

• **UH:** Dentro de la carrera de Ingeniería Industrial, se enseña el diseño de métodos como parte de un curso específico. Además, la universidad está dispuesta a ampliar y adaptar estos contenidos para alinearlos con las necesidades actuales de la industria, ofreciéndolos tanto a nivel técnico como para profesionales de otras áreas.

Estos programas académicos reflejan la respuesta de las universidades a la demanda de habilidades específicas en el análisis de capacidad de medición dentro del sector de semiconductores.

6. DESIGN OF EXPERIMENTS

Las siguientes 5 universidades identificaron contenidos relevantes en diseño de experimentos, una metodología empleada para estructurar cómo recolectar datos, procesarlos y optimizar procesos:

•**TEC:** Ofrece un curso completo de diseño de experimentos, disponible en diferentes programas como la Maestría en Computación con énfasis en Ciencias de la Computación y la Ingeniería Física a nivel de licenciatura. Este curso tiene una duración de 16 semanas.

•**UCR:** Similar a la oferta de MCA mencionada anteriormente, la UCR proporciona un curso de diseño de experimentos. En la carrera de Ingeniería Mecánica, este curso se imparte en 2 a 3 lecciones de 2-3 horas cada una.

•**ULATINA:** Ofrece un curso completo de diseño de experimentos en la carrera de Ingeniería Industrial, con un cuatrimestre.

•**ULACIT:** Planea lanzar un curso completo de diseño de experimentos en enero de 2025, con una duración de 45 horas, como parte de la Ingeniería en Calidad a nivel de licenciatura. Este curso está sujeto al requisito de aprobar un examen de inglés certificando nivel mínimo B2.

•**UH:** También pretende lanzar un curso completo de diseño de experimentos como parte de la Ingeniería Industrial. Aunque no se especifica el cronograma, la universidad está dispuesta a adaptar este curso para alinear con las necesidades específicas de la industria de semiconductores y ofrecerlo en diferentes programas académicos.

Estos programas académicos reflejan el compromiso de las universidades en desarrollar habilidades en diseño de experimentos para satisfacer las demandas del sector de semiconductores.

2.1.2.2 PRUEBA

Las habilidades técnicas indispensables en este ámbito se agrupan en una lista de 9 líneas. Los contenidos identificados y recolectados sobre cada una de ellas se ilustran en la siguiente tabla y se describen a continuación.

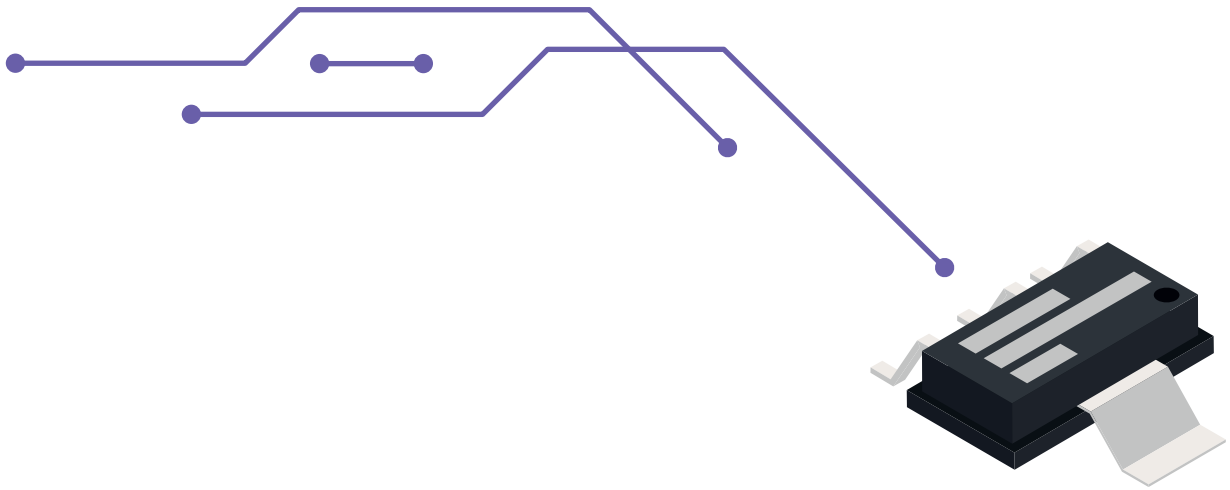


Tabla 4: Mapeo inicial de la disponibilidad de oferta nacional en el área de prueba

HABILIDAD TÉCNICA	TEC	CENFOTEC	ULATINA	UH	UCR			ULACIT
					E	M	C	
1 Material Handling Systems(Robot Handlers)			▲		●		▲	▲
2 Testing Interfaces	▲		▲		●			
• Burn-In Boards	▲				●			
• TIUs,etc.	▲				●			
3 Test Programs Development (ATEs)	▲		▲		●		▲	▲
4 Linux/Unix: Uso de comandos típicos de usuario general	▲	■	▲■		▲		▲	▲
5 Scripting/ Coding: algún lenguaje como Python, Perl, TCL	▲	■	■	▲	▲		▲	
6 Data Analysis/Data Visualization	▲	■	▲		▲	▲	▲	▲
7 Conocimientos avanzados de las habilidades anteriores	▲				●		▲	
8 Measurement Capability Analysis	▲		▲		●	▲	▲	▲
9 Design of Experiments	▲	▲■	▲		●		▲	▲

▲Profesional ■Técnica ●Sin definir ■Oferta existente ■Oferta planeada/ en proceso

Fuente: Elaboración propia, con base en información recolectada en el marco del estudio, producto de los intercambios en el GTT de Prueba.

1.MATERIAL HANDLING SYSTEMS (ROBOT HANDLERS)

En los sistemas de manipulación de materiales (Material Handling Systems - MHS), utilizados para posicionar chips u otros elementos a probar en sus ubicaciones correspondientes, tres universidades identificaron contenidos de oferta académica:

• **En la ULATINA**, se ofrece un curso completo de procesos de manufactura, impartido durante 15 semanas, y un abordaje del tema de automatización en otro curso más amplio, con una dedicación de nueve horas.

• En la carrera de Computación de la **UCR**, se imparte un curso completo de robótica, con una duración de 16 semanas, enfocado en aspectos computacionales e informáticos, no en robótica industrial.

• **En la ULACIT,** el tema de la robótica en control automático se cubre dentro de materias del programa de Ingeniería en Circuitos a nivel de bachillerato con una duración de entre 3 a 6 horas.

2.TESTING INTERFACES

En las pruebas de interfaz aplicadas a los circuitos integrados ya ensamblados y empaquetados, que verifican diferentes aspectos según el tipo de prueba, como el uso de burn-in-boards, model boards, testing interface units (TIU) u otros métodos, tres universidades identificaron contenidos de oferta:

• **ULATINA**, imparten temas de burn-in-boards, TIUs y microprocesadores en un total de 6 horas de clases. Además, ofrecen un curso completo de testing interfaces con una duración de 15 semanas, enfocado en instrumentación virtual y redes industriales. Estos contenidos están disponibles para estudiantes de ingeniería electrónica, y los estudiantes de electromedicina también pueden acceder a lecciones sobre burn-in-boards y TIUs.

• **TEC,** dentro de la carrera de ingeniería electrónica a nivel de licenciatura, se dispone de un laboratorio de mediciones electrónicas donde se aborda la ingeniería de pruebas para circuitos integrados, con una duración de 16 semanas.

• La Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCR tiene la intención de desarrollar contenidos sobre este tema en el futuro.

3. TEST PROGRAMS DEVELOPMENT (AUTOMATED TEST EQUIPMENT-ATE'S)

Para el desarrollo de programas de prueba destinados a demostrar la funcionalidad y rendimiento de los semiconductores, cuatro universidades identificaron contenidos en sus planes de estudio que cumplen con este requerimiento:

• **ULATINA**, imparte clases sobre microprocesadores por 6 horas, integradas en los cursos de ingeniería electrónica y electromedicina.

• **ULACIT,** menciona que el aseguramiento de la calidad del software (QA) se aborda en cursos de 3 a 6 horas dentro de la ingeniería en circuitos y sistemas electrónicos a nivel de bachillerato. Este programa está sujeto a la aprobación de un examen de inglés con nivel mínimo B2 para graduarse.

• En la carrera de computación de la **UCR**, se ofrece un curso completo de pruebas de software de 16 semanas. Además, la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCR tiene planes futuros de ofrecer contenidos relacionados con este requerimiento.

• **TEC,** reitera que los mismos contenidos detallados anteriormente sobre testing interfaces están disponibles para abordar esta competencia requerida.

Es relevante destacar que durante el proceso de análisis junto los expertos de la academia, se mencionó que el TEC dispone de equipo especializado donado por empresas del sector de semiconductores, lo cual facilita la realización de prácticas para desarrollar y fortalecer las competencias en la operación de equipos de prueba automatizados (ATE's).

4. LINUX / UNIX

En relación con los sistemas operativos Linux y UNIX, ampliamente utilizados en la industria de semiconductores, varias universidades señalaron los siguientes contenidos en sus programas académicos:

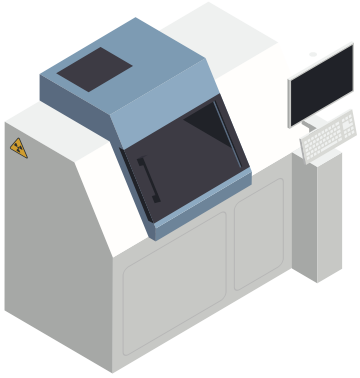
• **UCR** incluye programación bajo plataformas abiertas durante 1-2 semanas en la carrera de ingeniería eléctrica, y ofrece conocimientos sobre sistemas operativos en la carrera de computación, cubriendo los requisitos demandados por la industria en un curso de 3 semanas.

• **ULACIT** proporciona enseñanza sobre sistemas operativos en 3-6 horas dentro de la ingeniería en circuitos y sistemas electrónicos a nivel de bachillerato.

• **ULATINA** ofrece un curso completo de sistemas operativos durante 15 semanas, en su carrera profesional y en formación técnica, dedicando unas 12 horas a Linux y Unix.

• **CENFOTEC,** se imparten cursos completos de sistemas operativos, incluyendo GNU Linux y Windows, con certificaciones disponibles varias veces al año.

• **TEC** aborda estos temas en una semana del curso "Introducción al Diseño de Circuitos Integrados Digitales".



5. SCRIPTING / CODING

En los procesos asociados al área de prueba, donde se identificaron Python, Perl y TCL como los lenguajes de programación preferidos por la industria, se mapeó la siguiente disponibilidad de oferta académica:

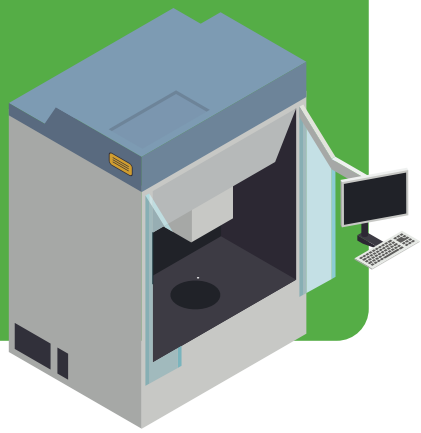
• **La ULATINA** ofrece un curso completo de Python, con una duración de 2 meses y disponible de forma bianual como curso de acceso libre.

• **En la UCR**, dentro de la escuela de ingeniería eléctrica, se imparten conocimientos en programación bajo plataformas abiertas, según se describió anteriormente en relación con los sistemas operativos Linux y Unix. Además, en la carrera de computación, se ofrece formación en computabilidad y complejidad durante 4 semanas.

• **En la UH**, el curso completo de computación, que se extiende a lo largo de un cuatrimestre, incluye la cobertura del lenguaje Python.

• **CENFOTEC** proporciona cursos completos en bash scripting y desarrollo de scripting usando Python como parte de sus carreras técnicas. Además, en su sitio web se observa disponibilidad de cursos independientes de formación continua en estos temas.

• Finalmente, en el TEC se abordan estos temas en el curso de introducción al diseño de circuitos integrados digitales, mencionado anteriormente en el contexto de Linux/Unix, con una duración de 3 semanas según la información proporcionada.



6. DATA ANALYSIS / DATA VISUALIZATION

Las habilidades de análisis y visualización de datos, consideradas críticas y prioritarias por la industria, se encuentran disponibles en varias universidades del país:

• **ULATINA,** se ofrecen varios cursos completos de 15 semanas que abordan temas como business intelligence (BI), análisis de datos, control estadístico de la calidad, gestión de calidad I, y sistemas de información. Se incluye el aprendizaje de herramientas como Minitab en algunos de estos cursos.

• **CENFOTEC,** la oferta incluye cursos completos en visualización de datos, análisis estadístico, análisis estadístico avanzado y Power BI para Análisis de Datos. Estos cursos están disponibles de forma virtual en ciertos meses del año y duran 16 horas, facilitando el acceso a un público interesado.

• **TEC,** el diseño de experimentos también se registra como parte de la respuesta a las necesidades en ensamble y empaque, con una duración de 16 semanas.

• La carrera de computación de la **UCR** responde a esta demanda con cursos completos como análisis de grandes volúmenes de datos, que se imparten a lo largo de un semestre. Además, se ofrecen temas en bases de datos avanzadas (8 semanas), desempeño y experimentación (4 semanas), y aprendizaje automático (6 semanas). En la carrera de ingeniería eléctrica, se enseña ciencia de datos para la estimación y pronóstico de eventos durante 1-2 semanas del semestre.

• **ULACIT**, el modelado y análisis de datos, así como el data storytelling, forman parte de los planes de estudio del bachillerato en inteligencia de negocios y gestión de la información, y de la especialización en análisis de datos. Estos temas se abordan en lecciones que duran entre 3 y 6 horas.

7. MEASUREMENT CAPABILITY ANALYSIS

En el área de pruebas, donde el MCA se utiliza para diversos propósitos como investigar problemas de calidad reportados por clientes, mejorar velocidades o reducir contaminantes en los procesos de fabricación, se recopila la siguiente información sobre la oferta académica disponible en el país:

• **ULATINA,** ofrece cursos completos de 15 semanas diseñados para cubrir este tipo de necesidades, tales como planificación de plantas industriales, diseño de sistemas productivos, metrología y normalización.

• **ULACIT,** destacan dos cursos completos de 45 horas cada uno, ambos son parte de la carrera de ingeniería industrial: gestión de la calidad y control estadístico a nivel de bachillerato, y herramientas avanzadas para el análisis de la calidad a nivel de licenciatura.

• **UCR,** las escuelas de computación e ingeniería mecánica ofrecen cursos completos como diseño de experimentos y desempeño y experimentación respectivamente. Estos cursos tienen una duración de 4 semanas en el caso de computación, y de 4 horas semanales (1 hora de teoría y 3 horas de práctica) en el caso de ingeniería mecánica. La escuela de ingeniería eléctrica también tiene planes futuros para desarrollar oferta en estos temas.

• **TEC,** se dispone de un laboratorio de mediciones eléctricas de 16 semanas como parte integral de la carrera de ingeniería electrónica a nivel de licenciatura, que también se aplica en el área de ensamble y empaque.

OTROS ELEMENTOS DE OFERTA

Para concluir esta sección, ULACIT ofrece un curso integrado en los planes de estudio tanto del bachillerato en ingeniería industrial como de la licenciatura en ingeniería industrial con especialización en ingeniería de la calidad. Este curso, denominado "Ingeniería de la Confiabilidad", abarca 45 horas de estudio centradas en modelos estadísticos para predecir tiempos medios de falla y realizar análisis de efecto y falla de diseño.

La universidad mencionó la posibilidad de ofrecer estos contenidos como curso opcional para otras carreras, permitiendo que profesionales con una base en métodos estadísticos puedan adquirir conocimientos avanzados en este campo.

8. DESIGN OF EXPERIMENTS

Las habilidades necesarias en esta área no solo implican dominar los conceptos fundamentales, sino también poseer la capacidad efectiva de extraer, recolectar y analizar datos para determinar si se alcanza un nivel estadísticamente equivalente. A continuación, se detallan las universidades que han listado contenidos de oferta en este ámbito:

• **UCR,** el departamento de computación ofrece cursos completos de diseño de experimentos y desempeño y experimentación, ambos con una duración de 16 semanas, tal como se ha descrito en otras secciones de este documento. Por su parte, la ingeniería eléctrica ha expresado su intención de desarrollar contenidos en este campo en el futuro.

• **El TEC** ha reiterado su oferta de diseño de experimentos como respuesta a otros requerimientos específicos.

• **ULATINA**, se han identificado dos cursos de 15 semanas cada uno: diseño de experimentos y simulación.

Además, dos universidades señalaron su intención de ofrecer estos contenidos en un futuro cercano. CENFOTEC tiene previsto implementarlo en el segundo semestre de 2024, mientras que en la ULACIT se iniciaría en enero de 2025 con una duración de 45 horas.

2.1.2.3 DISEÑO / VLSI

El proceso en el subgrupo de diseño requirió un nivel de profundidad mayor, dado que la lista de requerimientos identificados por los expertos de la industria consiste en un listado de 34 líneas. El mapeo de la oferta de formación disponible que responde a estos requerimientos se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 5: Mapeo inicial de la disponibilidad de oferta nacional en el área de diseño / VLSI

	HABILIDAD TÉCNICA	DÓNDE SE REQUIERE	TEC	CENFOTEC	ULATINA	UH	UCR			ULACIT	
							E	M	C		
1	Diseño de sistemas digitales	FE	▲		▲	▲	▲		▲	▲	■
		BE									
		VE	▲		▲ ■	▲	▲		▲	▲	■
		AM									
2	Arquitectura de sistemas digitales	FE	▲		▲	▲	▲		▲	▲	■
		BE									
		VE	▲		▲ ■	▲	▲		▲	▲	■
		AM									
3	Escritura de RTL utilizando lenguajes de modelado de hardware: *System Verilog*	FE	▲		■		▲			■	
		BE									
		VE									
		AM									
4	Conceptos básicos de verificación de modelos RTL	FE	▲		■		▲			■	
		VE									
5	Programación SW (Python, C++, TCL)	FE	▲	▲ ■	▲	▲	▲		▲	▲	■
		BE									
		VE									
		AM									
6	Análisis de tiempo estático (STA)	FE	▲	▲ ■	■		▲			■	
		BE	▲ ◆	▲ ■	■		▲			■	
7	Diseño de baja potencia	FE	▲		■	▲	▲			▲	■
		BE									
		AM									
8	Diseño con compuertas de reloj (*clock gating*)	FE	▲		■	▲	▲			■	
		BE									
9	Malas técnicas de diseño (poder identificar y corregir)	FE	▲		■		▲			■	
		BE									
		VE									
		AM									
10	Manejo de cruces de reloj	FE	▲		■		●			■	
		BE									
		VE									
11	Conceptos de DFT (*Scan, ATPG*,etc.)	FE	▲				▲				
		BE									
		VE									

	HABILIDAD TÉCNICA	DÓNDE SE REQUIERE	TEC	CENFOTEC	ULATINA	UH	UCR			ULACIT	
							E	M	C		
12	Entendimiento básico de conceptos lógicos y físicos, arquitectura CMOS, y lógica digital	FE									
		BE	▲		■	▲	▲		▲	▲	■
		VE									
		AM									
13	Entendimiento de *DRCs*	BE	▲		▲		▲			■	
		AM									
14	Conceptos de ruido	FE									
		BE	▲		▲ ■	▲	▲			▲	■
		AM									
15	Conceptos de *Skew y Jitter*	BE	▲				▲			▲	■
		AM									
16	Conceptos básicos de *floor-planning*	BE	▲ ◆				▲				
17	Técnicas de convergencia y optimización de área y potencia	BE	▲		■		▲				
		AM									
18	Conocimiento avanzado en todos los puntos anteriores	FE									
		BE	▲				●				
		VE									
		AM									
19	CTS, convergencia de área, congestión, potencia y frecuencia	BE	▲		■		▲			■	
20	Modificaciones de RLT basado en análisis de datos	BE	▲		■		▲				
21	Conocimiento avanzado en una o más áreas de validación	FE									
		VE	▲		■		▲			▲	
22	Verificación de hardware utilizando lenguajes como SystemVerilog o SystemC o C++ o Python o similares	FE									
		VE	▲	▲ ■	■		▲			■	
23	Uso de UVM para validar modelos de RTL	VE	▲		■		▲			■	
24	Medición de cobertura para determinar la calidad de la validación	FE									
		VE	▲	▲ ■	■		▲				
25	Conocimientos claros del ambiente de verificación: *BFM, monitor, sequence, sequencer, driver, test, environment, scoreboard, checker, agents*, etc.	VE	▲		■		▲			■	
26	Conceptos avanzados de diseño digital	FE									
		BE									
		VE	▲		■		▲			■	
		AM									
27	Capacidad de creación del plan de prueba y del plan de cobertura	VE	▲				▲				
28	Conceptos de procesamiento digital de señales	AM	▲		▲ ■	▲	▲			▲	■

	HABILIDAD TÉCNICA	DÓNDE SE REQUIERE	TEC	CENFOTEC	ULATINA	UH	UCR			ULACIT
							E	M	C	
29	Conocimiento introductorio de estructuras básicas como *opamps, mixers*, amplificadores, fuentes de *bandgap*, espejos de corriente, ADC, DAC, filtros, etc.	AM	▲		▲ ■	▲	▲ ●			■
30	Conceptos básicos de *layout*	BE								
		AM	▲ ◆			▲	■			■
31	Conceptos de CMOS	BE								
		AM	▲ ◆		▲ ■	▲	▲			▲ ■
32	Conceptos de ruido e intermodulación	BE								
		AM	▲		■	▲	▲			▲ ■
33	Conocimiento avanzado de estructuras analógicas en procesos de fabricación específicos	AM	▲		■		●			
34	Conocimientos avanzados de los conceptos anteriores	AM	▲				●			

▲Profesional ■Técnica ●Sin definir ■Oferta existente ■Oferta planeada/ en proceso

Fuente: Contenido tomado de la diapositiva elaborada y expuesta por la consultora a los representantes de la industria que integran el GTT de Prueba, en reunión virtual celebrada el 26 de abril de 2024. | ***Leyenda:*** FE= FRONT-END | BE= BACK-END | VE= VERIFICACIÓN | AM= ANALÓGICO Y DE SEÑAL MIXTA.

Para mejorar la organización y claridad en el mapeo de la oferta académica disponible en el país, inicialmente se realizó una enumeración preliminar de los requerimientos de habilidades. Posteriormente, el proceso se afinó para identificar y especificar:

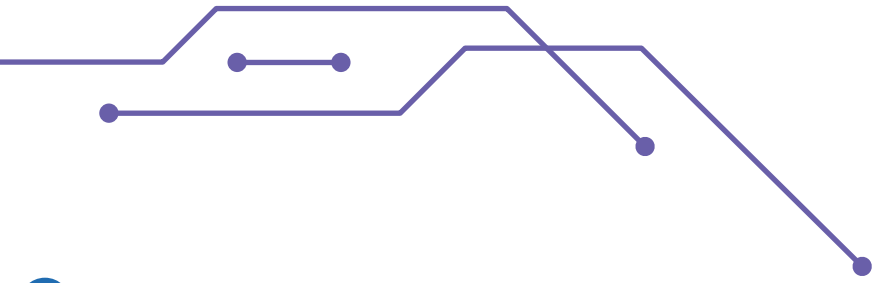
• Los requisitos mínimos que deben cumplir los graduados que busquen acceder a puestos en el sector de semiconductores.

• Las áreas específicas del subproceso de diseño donde estos conocimientos son aplicables y esenciales.

• Los contextos donde se requiere tanto dominio teórico como experiencia práctica.

• Las herramientas industriales utilizadas para estas funciones.

El cuadro resultante del trabajo de depuración se utiliza presenta a continuación.



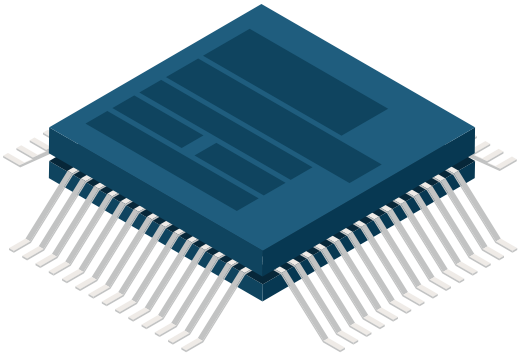


Tabla 6:

Requerimientos de habilidades en el área de diseño / VLSI y oferta académica relacionada identificada por las universidades

	Habilidad demandada	Áreas donde se requiere	Requerimiento mínimo necesario*		Conocomiento teórico y práctico		Oferentes	Especificaciones
			SI	NO	SI	NO		
1	Diseño de sistemas digitales	FE-BE-VE-AM	X		X		UCR/IE	FE-Curso completo de circuitos digitales II, en ing. eléctrica; 16 semanas VE-Cursos completos de computadoras I y II y laboratorio de circuitos digitales; 16 semanas
							UCR/CI	FE-VE-En computación e informática, 1-16 semanas de lecciones sobre fundamentos de arquitectura
							ULACIT	FE-Curso completo de diseño digital de 45 horas, en ing. de circuitos (bachi.), o 30 horas en especialización de semiconductores y verificación (ene 2025) VE-Tema se ve en diseño digital, en la ing. en circuitos (bachi) y en la especialización en semiconductores y verificación; 4-6 horas
							UH	FE-VE-Curso completo de diseño de sistemas digitales I, II y III impartido en 3 cuatrimestres
							ULATINA	FE-VE-Curso completo de sistemas digitales I con duración de 1 cuatrimestre VE-Certificado de semiconductores impartido en 16 meses, para diplomados en electrónica o+
							TEC	FE-Curso completo de diseño de sistemas digitales, de 16 semanas VE-Tema se ve en taller de diseño digital I y diseño de sistemas digitales; es para estudiantes de licenciatura
2	Arquitectura de sistemas digitales	FE-BE-VE-AM	X		X		UCR/IE	FE-Curso completo en ing. Eléctrica, de estructura de computadoras I y II; 16 semanas VE-Mismo contenido ofrecido para ítem 1
							UCR/CI	FE-Mismo contenido ofrecido para ítem 1 VE-Mismo contenido ofrecido para ítem 1
							ULATINA	FE-Curso completo de arquitectura de computadoras; duración 1 cuatrimestre
							UH	FE-VE-Mismo contenido ofrecido para ítem 1
							ULACIT	FE-Lecciones de diseño digital de 4-6 horas en ing. de circuitos (bachi) y en especialización en semiconductores y verificación
							TEC	FE-Curso completo de arquitectura de computadores, 16 semanas VE-Mismo contenido ofrecido para ítem 1
3	Escritura de RTL utilizando lenguajes de modelado de hardware: *System Verilog*	FE-BE-VE-AM	X		X		UCR/IE	FE-Lecciones de circuitos digitales II, duración 1-2 semanas, en ing. eléctrica
							ULACIT	FE-Curso completo de 30 horas en lenguajes de descripción de hardware (*System Verilog*), bajo especialización en semiconductores y verificación
							ULATINA	FE-Certificado de semiconductores impartido en 16 meses, para diplomados en electrónica o+
							TEC	FE-3 semanas de lecciones en diseño lógico y taller de diseño digital de 8 semanas, para estudiantes de licenciatura
4	Conceptos básicos de verificación de modelos RTL	FE-VE	X		X		UCR/IE	FE-Curso completo de verificación funcional del diseño de circuitos digitales para estudiantes de ingeniería eléctrica; duración 16 semanas
							ULACIT	FE-Curso completo de verificación de circuitos integrados con UVM para estudiantes de especialización en semiconductores y verificación; 30 horas
							ULATINA	FE-Mismo contenido ofrecido para ítem 3
							TEC	FE-Taller de diseño digital de 8 semanas, también ofrecido para ítem 3
5	Programación SW (Python, C++, TCL)	FE-BE-VE-AM	X		X		ULATINA	FE-Curso completo de programación I impartido a lo largo de 1 cuatrimestre, para estudiantes de ingeniería electrónica
							UCR/IE	FE-Lecciones impartidas en 1-2 semanas de programación bajo plataformas abiertas, para estudiantes de ing. Eléctrica
							UCR/CI	FE-Mismo contenido ofrecido para ítem 1
							ULACIT	FE-Curso completo de programación con C++ y Scripting; duración 45 horas, bajo ingeniería en circuitos grado bachillerato, y 30 horas bajo especialización semiconductores y verificación
							CENFOTEC	FE-Curso completo de fundamentos de Python y Python avanzado (ofrecido también en prueba)
							UH	FE-Curso completo de computación incluye lecciones en Python; duración 1 cuatrimestre
							TEC	FE-Se enseña como parte de elementos de computación; duración 8 semanas
6	Análisis de tiempo estático (STA)	FE-BE	X		X		CENFOTEC	FE-BE-Dentro de 4 meses se ofrecerán contenidos que se pondrán a disposición en ciertos meses
							UCR/IE	FE-BE-En cursos de la carrera, temas se ven en 1-2 semanas de lecciones sobre semiconductores y microelectrónica
							ULACIT	FE-BE-Tema se ve en 4 horas de lecciones de diseño digital en especialización semi. y verifica.
							ULATINA	FE-BE-Mismo contenido ofrecido para ítems 3, 4
							TEC	FE-Contenido tratado en introducción al diseño de circuito integrados; 16 semanas de duración BE-Se adiciona oferta en inglés, de *introduction to digital design, functional verification, & physical design in VLSI*, de 1 semana
7	Diseño de baja potencia	FE-BE-AM	X			X	UCR/IE	FE-Mismo contenido ofrecido para ítem 6
							ULACIT	FE- Curso completo de electrónica de potencia con semiconductores: duración 45 horas, bajo ingeniería en circuitos grado bachillerato, y duración 30 horas bajo especialización semiconductores y verificación
							UH	FE-Cursos completos de (i) dispositivos electrónicos y (ii) dispositivos amplificadores, impartidos a lo largo de 1 cuatrimestre
							ULATINA	FE-Mismo contenido ofrecido para ítems 3, 4 y 6
							TEC	FE-Curso completo de diseño en baja potencia, a nivel de maestría; duración 12 semanas
8	Diseño con compuertas de reloj (*clock gating*)	FE-BE		X		X	UCR/IE	FE-Mismo contenido ofrecido para ítems 6 y 7
							ULACIT	FE-Mismo contenido ofrecido para ítem 6
							UH	FE-Curso completo de diseño de sistemas I, impartido a lo largo de 1 cuatrimestre
							ULATINA	FE-Mismo contenido ofrecido para ítems 3, 4, 6, y 7
							TEC	FE-Mismo contenido ofrecido para el ítem 6
				X		X	UCR/IE	FE-Mismo contenido ofrecido para ítem 3

	Habilidad demandada	Áreas donde se requiere	Requerimiento mínimo necesario*		Conocomiento teórico y práctico		Oferentes	Especificaciones
			SI	NO	SI	NO		
9	Malas técnicas de diseño (poder identificar y corregir)	FE-BE-VE-AM					ULACIT	FE-4 horas en lecciones de lenguajes de descripción de hardware impartidas bajo la especialización en semiconductores y verificación
							ULATINA	FE-Mismo contenido ofrecido para ítems 3, 4, 6, 7 y 8
							TEC	FE-Mismo contenido ofrecido para ítems 6 y 8
10	Manejo de cruces de reloj	FE-BE-VE	X			X	UCR/IE	FE-Intención de generar contenidos en este tema en el futuro
							ULACIT	FE-Mismo contenido ofrecido para ítems 6 y 8
							ULATINA	FE-Mismo contenido ofrecido para ítems 3, 4, 6, 7, 8 y 9
							TEC	FE-Mismo contenido ofrecido para ítems 6, 8 y 9
11	Conceptos de DFT (*Scan, ATPG*,etc.)	FE-BE-VE		X		X	UCR/IE	FE-Mismo contenido ofrecido para ítem 6
							TEC	FE-En uno de los cursos de ingeniería electrónica (licenciatura) se imparten lecciones de ingeniería de pruebas para circuitos integrados
12	Entendimiento básico de conceptos lógicos y físicos, arquitectura CMOS, y lógica digital	FE-BE-VE-AM	X		X		UCR/IE	BE-En cursos de la carrera de ingeniería eléctrica se reciben 1-2 semanas de lecciones en dispositivos semiconductores; en carrera de computación, se ofrecen los mismos contenidos ofrecidos para el ítem 1
							ULACIT	BE-Cursos completos de teoría de circuitos / dispositivos semiconductores; con duración de 45 horas en ingeniería en circuitos (bachi) y 30 horas en especialización semiconductores y verificación
							UH	BE-Cursos completos de dispositivos electrónicos, dispositivos amplificadores y diseño de sistemas I, II y II, con duración de 1 cuatrimestre
							ULATINA	BE- Mismo contenido ofrecido para ítems 3, 4, 6, 7, 8, 9 y 10
							TEC	BE-En ingeniería electrónica (licenciatura), curso completo de introducción al diseño de circuito integrados y contenido tratado en diseño lógico
13	Entendimiento de *DRCs*	BE-AM		X		X	UCR/IE	BE-En cursos de la carrera de ingeniería eléctrica se reciben 1-2 semanas de lecciones en dispositivos semiconductores
							ULACIT	BE-Lecciones de fabricación de semiconductores con duración de 4 horas en especialización semiconductores y verificación
							ULATINA	BE-En la carrera de ingeniería electrónica, se ofrece laboratorio integral de electrónica con duración de 16 meses
							TEC	BE-Mismo contenido ofrecido para ítem 6
14	Conceptos de ruido	FE-BE-AM	X			X	ULATINA	BE-En ingeniería electrónica, ofrece cursos completos de sistemas de comunicación y medios de transmisión impartidos a lo largo de 1 cuatrimestre
							ULACIT	BE-Tema se ve 4-6 horas de lecciones de análisis de señales y sistemas de comunicaciones, en ingeniería de circuitos (bachi) y especialización en semiconductores y verificación
							UH	BE-Cursos completos de análisis de circuitos y análisis de sistemas, impartidos a lo largo de 1 cuatrimestre
							UCR/IE	BE-Tema se ve en lecciones impartidas en 1-2 semanas de circuitos digitales I, semiconductores, modelos probabilísticos de señales y sistemas, electrónica II, ingeniería de comunicaciones; para estudiantes de ingeniería eléctrica
							TEC	BE-Mismo contenido ofrecido para ítem 13
15	Conceptos de *Skew y Jitter*	BE-AM	X			X	TEC	BE-Mismo contenido ofrecido para ítems 13 y 14
							UCR/IE	BE-Mismo contenido ofrecido para ítems 6, 7 y 8
							ULACIT	BE-Mismo contenido ofrecido para ítem 14
16	Conceptos básicos de *floor-planning*	BE		X		X	UCR/IE	BE-Mismo contenido ofrecido para ítems 6 y 11
							TEC	BE-Mismo contenido ofrecido para ítems 6 y 13; tema también se trata en curso en inglés de 1 semana llamado *introduction to digital design, functional verification, & physical design in VLSI*
17	Técnicas de convergencia y optimización de área y potencia	BE-AM		X	X		ULATINA	BE-Mismo contenido ofrecido para ítems 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 y 12
							UCR/IE	BE-En cursos de la carrera, temas se ven en 1-2 semanas de lecciones sobre microelectrónica
							TEC	BE-Contenido tratado en introducción al diseño de circuito integrados; 16 semanas de duración
18	Conocimiento avanzado en todos los puntos anteriores	FE-BE-VE-AM		X		X	TEC	BE-Se ven temas en lecciones sobre diseño de circuidos integrados digitales; 12 semanas
							UCR/IE	BE-Se señala intención de desarrollar contenidos avanzados en el futuro
19	CTS, convergencia de área, congestión, potencia y frecuencia	BE	X			X	UCR/IE	BE-Mismo contenido ofrecido para ítem 17
							ULACIT	BE-Temas se ven en 4 horas de lecciones sobre electrónica en potencia con semiconductores, bajo la especialización en semiconductores y verificación
							ULATINA	BE-Mismo contenido ofrecido para ítems 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12 y 18
							TEC	BE-Mismo contenido ofrecido para ítem 18
20	Modificaciones de RLT basado en análisis de datos	BE		X		X	ULATINA	BE-Mismo contenido ofrecido para ítems 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 18 y 19
							UCR/IE	BE-Tema se cubre en lecciones de 1-2 semanas sobre digitales II y verificación
							TEC	BE-Mismo contenido ofrecido para ítems 18 y 19
21	Conocimiento avanzado en una o más áreas de validación	FE-VE		X		X	UCR/IE	BE-VE-En cursos de la carrera de ingeniería eléctrica se reciben 1-2 semanas de lecciones en verificación funcional del diseño de circuitos digitales que ven conocimientos avanzados de validación
							ULACIT	BE-Especialización en semiconductores y verificación contiene estos temas
							ULATINA	BE-Mismo contenido ofrecido para ítems 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 19 y 20

	Habilidad demandada	Áreas donde se requiere	Requerimiento mínimo necesario*		Conocomiento teórico y práctico		Oferentes	Especificaciones
			SI	NO	SI	NO		
28	Conceptos de procesamiento digital de señales	AM	X		X		ULATINA	AM-Curso completo de procesamiento de señales, impartido en 1 cuatrimestre, para licenciatura en ingeniería electrónica; y certificado de semiconductores impartido en 16 meses, para diplomados en electrónica o+
							ULACIT	AM-Tema se ve en diseño analógico y digital, en la ingeniería en circuitos (Bachi) y en la especialización en semiconductores y verificación; duración de 4-6 horas
							UH	AM-Cursos completos de sistemas I, comunicación I, amplificadores operacionales y circuitos integrados, duración 1 cuatrimestre
							UCR/IE	AM-Curso completo de 16 semanas en procesamiento digital de señales; también se ve como tema en circuitos digitales I y señales y sistemas I
							TEC	AM-Curso completo de 16 semanas en procesamiento digital de señales; también se ve como tema en y señales y sistemas
29	Conocimiento introductorio de estructuras básicas como *opamps*, *mixers*, amplificadores, fuentes de *bandgap*, espejos de corriente, ADC, DAC, filtros, etc.	AM	X		X		ULATINA	AM- Cursos completos de electrónica I y II, impartidos en 1 cuatrimestre, para estudiantes de ingeniería electrónica; y certificado de semiconductores impartido en 16 meses, para diplomados en electrónica o+
							ULACIT	AM-Tema se ve en curso de diseño analógico, bajo especialización en semiconductores y verificación; duración aproximada 4 horas
							UH	AM-Cursos completos de dispositivos amplificadores I, amplificadores operacionales y circuitos integrados; duración 1 cuatrimestre
							UCR/IE	AM-Tema se cubre en lecciones de 1-2 semanas de electrónica II
							TEC	AM-Curso completo de 16 semanas en circuitos discretos
30	Conceptos básicos de *layout*	BE-AM	X		X		ULACIT	AM-Temas se ven en diseño analógico; duración 4 horas
							UH	AM-Aborda estos temas en taller I, curso completo impartido en 1 cuatrimestre
							TEC	AM-Ve temas en elementos activos de la ingeniería en electrónica, con duración de 5 semanas; y, a partir de julio 2024, en 1 semana en el curso en inglés de *introduction to digital design, functional verification, and physical design in VLSI*
							UCR/IE	AM-Indica intención de generar contenidos futuros en estos temas
31	Conceptos de CMOS	BE-AM	X		X		UH	AM-Curso completo de dispositivos electrónicos impartido en 1 cuatrimestre
							TEC	AM-Tema se ve en elementos activos (5 semanas), diseño lógico (3 semanas) e introducción al diseño de circuitos integrados (1 semestre); a partir de julio 2024, se verá en curso en inglés de 1 semana de *introduction to digital design, functional verification, and physical design in VLSI*
							ULATINA	AM-Curso completo de sistemas digitales I con duración de 1 cuatrimestre; y certificado de semiconductores impartido en 16 meses, para diplomados en electrónica o+
							ULACIT	AM-Tema se ve en dispositivos semiconductores, en la ingeniería en circuitos (Bachi) y en la especialización semiconductores y verificación; duración de 4-6 horas
							UCR/IE	AM-Tema se ve en semiconductores, duración 1-2 semanas; para estudiantes de ing. Eléctrica
32	Conceptos de ruido e intermodulación	BE-AM	X		X		UCR/IE	AM- Tema se ve en modelos probabilísticos de señales y sistemas, duración 1-2 semanas; para estudiantes de ing. Eléctrica
							ULACIT	AM-Tema se ve en diseño analógico, en la ing. en circuitos (Bachi) y en la especialización en semiconductores y verificación; duración 4-6 horas
							UH	AM-Cursos completos de sistemas I, amplificadores operacionales y circuitos integrados, y comunicación II; con duración de 1 cuatrimestre
							ULATINA	AM-Certificado de semiconductores impartido en 16 meses, para diplomados en electrónica o+
							TEC	AM-Tema se ve en diseño de circuitos integrados analógicos; duración 12 semanas
33	Conocimiento avanzado de estructuras analógicas en procesos de fabricación específicos	AM		X		X	ULATINA	AM- Certificado de semiconductores impartido en 16 meses, para diplomados en electrónica o+
							TEC	AM-Tema se ve en diseño de circuitos integrados en señal mixta; duración 12 semanas
							UCR/IE	AM-Intenciones de generar contenidos futuros en este tema
34	Conocimientos avanzados de los conceptos anteriores	AM		X		X	TEC	AM-Tema se ve en diseño de circuitos integrados analógicos; duración 12 semanas
							UCR/IE	AM-Intenciones de generar contenidos futuros en este tema

Fuente: Elaboración propia, con base en información recolectada en: (i) las sesiones solo con industria del grupo técnico de diseño / VLSI, abril 2024, respecto a los contenidos que mapean y caracterizan la demanda; y (ii) la matriz de Excel donde se consolidó la data sobre oferta académica disponible remitida por las universidades participantes. | Leyenda: FE= FRONT-END | BE= BACK-END | VE= VERIFICACIÓN | AM= ANALÓGICO Y DE SEÑAL MIXTA. | ****Nota:*** Las casillas marcadas con "X" indican que se necesita que una persona recién graduada egrese manejando la habilidad demandada.

CAPITULO III

3.1 ANÁLISIS DE BRECHAS DE TALENTO HUMANO EN EL SECTOR DE LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES

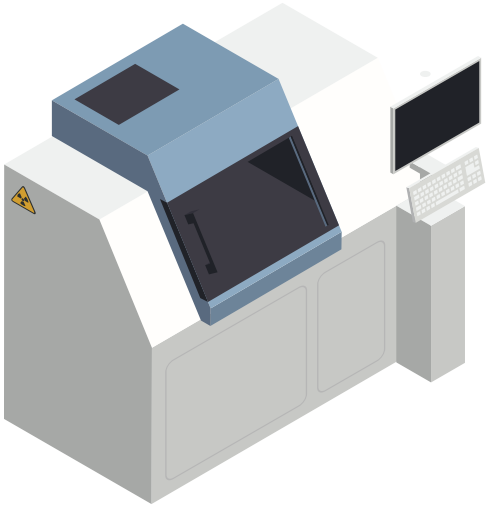
En esta sección se presentan los hallazgos del análisis de brechas de talento humano en el sector, con base en dos perspectivas evaluadas: (i) la existencia o inexistencia de oferta, para aproximar el alcance de la cobertura disponible en el país al momento de realizarse este estudio; y (ii) la pertinencia de la oferta existente, determinada a través de las variables que la Mesa seleccionó para los propósitos perseguidos por este proceso.

3.1.1 PRIMERA ETAPA DE ANÁLISIS: EXISTENCIA O INEXISTENCIA DE OFERTA

La valoración inicial consistió en determinar la existencia de oferta académica disponible según las respuestas proporcionadas por los centros de formación. En otras palabras, se identificó la disponibilidad de contenidos académicos en el país sin considerar aún la pertinencia de estos contenidos para satisfacer los requerimientos establecidos. Este análisis de pertinencia se llevó a cabo en una etapa posterior del estudio, también presentado en este documento.

A continuación, se describe el resultado preliminar de las brechas elaborado a partir de los resultados obtenidos en esta fase, respecto a cada área.

3.1.1.1 ENSAMBLE Y EMPAQUE



En las áreas de ensamble y empaque, la etapa inicial del análisis permitió detectar dos tipos de brechas:

• **1.** Las organizaciones participantes dejaron claro que, aunque colectivamente y, en algunos casos, individualmente, cuentan con oferta académica para responder a muchos de los requerimientos de la industria, ninguna organización dispone de contenidos para atenderlos todos. Este hallazgo se puede observar haciendo una lectura vertical de las columnas de la siguiente tabla, donde no hay un solo oferente que cubra la totalidad de lo requerido.

• **2**. Relativo al alcance de la cobertura entre las diversas entidades, se reveló que la cantidad de graduados formados con las habilidades requeridas por la industria sería limitada. Esto se debe a que, en algunos requerimientos, solo un tercio de las universidades participantes cuenta con los contenidos disponibles, como se observa al realizar una lectura horizontal del cuadro (a nivel de las filas).

Tabla 7: Mapeo inicial de brechas en las áreas de ensamble y empaque

HABILIDAD TÉCNICA	TEC	CENFOTEC	ULATINA	UH	UCR E M C	ULACIT
1 Chip Attach Technology						
• Flip Chip						
• Wire Bonding						
2 Pick & Place Technology						
• Chip Shooters						
• Robot Arms						
3 Dispensing / Printing / Molding						
• Solder Paste, Flux, Epoxy, Adhesives, Polymers, etc.						
4 Destreza en lectura de planos eléctricos, mecánicos, neumáticos, termodinámicos						
5 Conocimientos avanzados de las habilidades anteriores						
6 Measurement Capability Analysis						
7 Design of Experiments						
8 Die Preparation						

Fuente: Elaboración propia, con base en información recolectada en el marco del estudio, producto de los intercambios en el GTT de Ensamble y Empaque, abril 2024. | ***Leyenda:*** Espacios en gris representan oferta disponible en el país; espacios en negro representan inexistencia de oferta, o brecha.

Es importante destacar que, en las discusiones de este grupo técnico sobre ensamble y empaque, los representantes de la industria señalaron la necesidad de contar con personal formado en todos los temas mapeados para poder desempeñar los procesos requeridos en el ensamble y empaque de semiconductores. En primera instancia, hallazgos reflejados en la tabla 7 revelan una cobertura aproximada parcial, de manera que, las brechas representarían aproximadamente el 50% de los requerimientos identificados por los expertos de la industria.

Como medida para reconfirmar los hallazgos, se aplicó una encuesta a los centros de formación y con este instrumento se midió el porcentaje con que las organizaciones académicas consideran que sus contenidos responden a los requerimientos de la industria.

En las áreas de ensamble y empaque, las respuestas variaron considerablemente, lo que corrobora que existen niveles diferenciados de cobertura en el sistema de educación superior. Específicamente, el 43% de los encuestados consideraron que su oferta en esta área es pertinente en menos del 25% de los contenidos requeridos. Casi un tercio identificó coincidencia en un rango del 25 al 50%, y la porción restante ubicó su respuesta en el rango del 51 al 100%.

Estos resultados son relevantes, especialmente si se considera la ambiciosa meta que el país se propuso: aprovechar la coyuntura de reconfiguración de la cadena productiva de semiconductores para atraer inversiones y posicionarse como un centro de operaciones para este tipo de empresas. Esto refuerza la necesidad de redoblar y acelerar los esfuerzos para robustecer el principal valor en esta contienda: el talento humano calificado.

3.1.1.2 PRUEBA

En el área de prueba, se observó que, al igual que en las áreas de ensamble y empaque, existen brechas en dos niveles: (i) la inexistencia de oferta académica que cubra todos los requerimientos identificados por la industria (ejes verticales del cuadro a continuación) y (ii) la limitada cobertura en términos del volumen de profesionales formados, incluso si se suman los contenidos ofrecidos por todas las instituciones educativas (ejes horizontales de la tabla 8). La oferta académica disponible en esta área cubre alrededor del 60 % de los requerimientos establecidos por la industria.

Tabla 8: Mapeo inicial de brechas en el área de prueba

HABILIDAD TÉCNICA	TEC	CENFOTEC	ULATINA	UH	UCR	EMC
1. Material Handling Systems (Robot Handlers)						
2. Testing Interfaces						
• Burn-In Boards						
• TIUS, etc.						
3. Test Programs Development (ATEs)						
4. Linux/Unix: uso de comandos típicos de usuario general						
5. Scripting/Coding: algún lenguaje como Python/Perl/TCL						
6. Data Analysis/Data Visualization						
7. Conocimientos avanzados de las habilidades anteriores						
8. Measurement Capability Analysis						
9. Design of Experiments						

Fuente: Contenido tomado de la diapositiva elaborada y expuesta por la consultora a los representantes de la industria que integran el GTT de Prueba, en reunión virtual celebrada el 25 de abril de 2024. | ***Leyenda:*** Espacios en gris representan oferta disponible en el país; espacios en negro representan inexistencia de oferta, o brecha.

Los resultados de la encuesta sobre el grado de alineación de los contenidos académicos ofrecidos en el área de pruebas con los requerimientos de la industria abarcaron todos los rangos posibles. Sin embargo, la confianza de los encuestados en la pertinencia de sus programas fue mayor en comparación con las áreas de ensamble y empaque. Un 71% de las respuestas se situaron en el rango de 51 a 100% de coincidencia, y ninguna institución indicó que sus contenidos no respondieran a las expectativas de la industria.

3.1.1.3 DISEÑO / VLSI

Finalmente, en el área de diseño/VLSI, la etapa inicial del análisis también reveló brechas en los mismos dos aspectos identificados previamente en las áreas de ensamble, empaque y prueba. Estas brechas incluyen (i) la inexistencia de oferta académica que cubra todos los requerimientos de la industria (ejes verticales del cuadro) y (ii) la limitada cobertura total de la oferta, resultando en un volumen insuficiente de profesionales formados para satisfacer la demanda del mercado laboral.

Tabla 9: Mapeo inicial de brechas en el área de diseño / VLSI

HABILIDAD TÉCNICA	DÓNDE SE REQUIERE	TEC	CENFOTEC	ULATINA	UH	UCR E M C		ULACIT
1. Diseño de sistemas digitales	FE							
	BE							
	VE							
	AM							
2. Arquitectura de sistemas digitales	FE							
	BE							
	VE							
	AM							
3. Escritura de RTL utilizando lenguajes de modelado de hardware: System Verilog	FE							
	BE							
	VE							
	AM							
4. Conceptos básicos de verificación de modelos RTL	FE							
	VE							
5. Programación SW (Python, C++, TCL)	FE							
	BE							
	VE							
	AM							
6. Análisis de tiempo estático (STA)	FE							
	BE							
7. Diseño de baja potencia	FE							
	BE							
	AM							
8. Diseño con compuertas de reloj (clock gating)	FE							
	BE							
9. Malas técnicas de diseño (poder identificar y corregir)	FE							
	BE							
	VE							
	AM							
10. Manejo de cruces de reloj	FE							
	BE							
	VE							
11. Conceptos de DFT (Scan, ATPG,etc.)	FE							
	BE							
	VE							
12. Entendimiento básico de conceptos lógicos y físicos, arquitectura CMOS, y lógica digital	FE							
	BE							
	VE							
	AM							
13. Entendimiento de DRCs	BE							
	AM							
14. Conceptos de ruido	FE							
	BE							
	AM							

HABILIDAD TÉCNICA	DÓNDE SE REQUIERE	TEC	CENFOTEC	ULATINA	UH	UCR	EMC	ULACIT
15. Conceptos de Skew y Jitter	BE							
	AM							
16. Conceptos básicos de floor-planning	BE							
17. Técnicas de convergencia y optimización de área y potencia	BE							
	AM							
18. Conocimiento avanzado en todos los puntos anteriores	FE							
	BE							
	VE							
	AM							
19. CTS, convergencia de área, congestión, potencia y frecuencia	BE							
20. Modificaciones de RLT basado en análisis de datos	BE							
21. Conocimiento avanzado en una o más áreas de validación	FE							
	VE							
22. Verificación de hardware utilizando lenguajes como SystemVerilog o SystemC o C++ o Python o similares	FE							
	VE							
23.Uso de UVM para validar modelos de RTL	VE							
24. Medición de cobertura para determinar la calidad de la validación	FE							
	VE							
25. Conocimientos claros del ambiente de verificación: BFM, monitor, sequence, sequencer, driver, test, environment, scoreboard, checker, agents, etc.	VE							
26. Conceptos avanzados de diseño digital	FE							
	BE							
	VE							
	AM							
27. Capacidad de creación del plan de prueba y del plan de cobertura	VE							
28. Conceptos de procesamiento digital de señales	AM							
29. Conocimiento introductorio de estructuras básicas como opamps, mixers, amplificadores, fuentes de bandgap, espejos de corriente, ADC, DAC, filtros, etc.	AM							
30. Conceptos básicos de layout	BE							
	AM							
31. Conceptos de CMOS	BE							
	AM							
32.Conceptos de ruido e intermodulación	BE							
	AM							

HABILIDAD TÉCNICA	DÓNDE SE REQUIERE	TEC	CENFOTEC	ULATINA	UH	UCR E M C	ULACIT
33. Conocimiento avanzado de estructuras analógicas en procesos de fabricación específicos	AM						
34. Conocimientos avanzados de los conceptos anteriores	AM						

Fuente: Contenido tomado de la diapositiva elaborada y expuesta por la consultora a los representantes de la industria que integran el GTT de Prueba, en reunión virtual celebrada el 26 de abril de 2024. | Leyenda: Espacios en gris representan oferta disponible en el país; espacios en negro representan inexistencia de oferta, o brecha. | ***Nota:*** FE= FRONT-END | BE= BACK-END | VE= VERIFICACIÓN | AM= ANALÓGICO Y DE SEÑAL MIXTA.

En cuanto a la encuesta, las percepciones de la academia muestran algunas divergencias con los hallazgos mencionados. Dos elementos son especialmente relevantes:

1. En esta área, hubo una variabilidad de respuestas similar a la observada en ensamble, empaque y pruebas.

2. Los rangos de alineamiento con la demanda indicaron mayor confianza, específicamente:

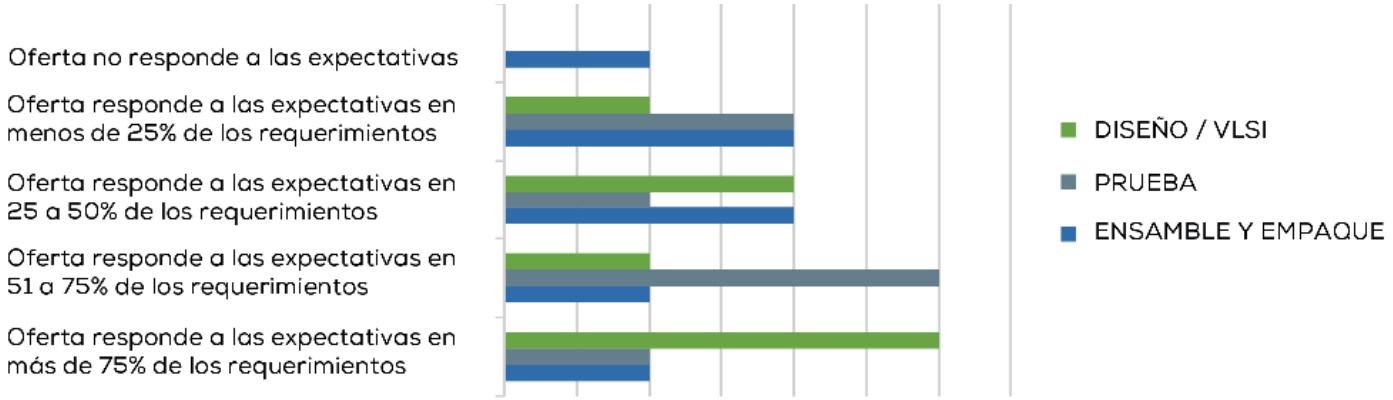
• El 43% de los centros de formación que dieron respuesta consideraron que los contenidos ofrecidos cubren más del 75% de los requerimientos de la industria. Este nivel de confianza no se observó en otras áreas, sugiriendo que algunas organizaciones consideran que están casi completamente alineadas con las expectativas.

• Otro 43% ubicó su respuesta en el extremo opuesto, percibiendo una alineación inferior al 50% de las habilidades requeridas. Sin embargo, ninguna universidad indicó que su oferta no responde en absoluto a las expectativas en esta área.

• Finalmente, el 14% de los representantes reportaron una coincidencia del 51 al 75% con las habilidades técnicas requeridas por la industria.

Seguidamente, se representan gráficamente los resultados de la encuesta aplicada a la academia, descritos para cada área, sobre la coincidencia en la cobertura de la oferta.

Gráfico 1: Percepción de las organizaciones académicas respecto a la pertinencia



Fuente: Elaboración propia, con base en la encuesta aplicada a la academia en el período comprendido entre el 7 y el 20 de junio de 2024.

Para concluir este apartado, llama la atención que varios resultados de esta primera capa de análisis contrastan, en algunos sentidos, con las valoraciones de pertinencia realizadas en la fase de profundización. Los detalles se presentan en las siguientes páginas.

3.1.2 PERTINENCIA DE LOS CONTENIDOS DISPONIBLES EN OFERTA

Como complemento de los hallazgos iniciales, el proceso del estudio y la interacción con los expertos de academia e industria reveló que la existencia de contenidos académicos, aunque alineados con los requerimientos de la industria, no descarta la presencia de otras brechas ni permite establecer conclusiones definitivas sobre su magnitud total. Para un análisis completo, fue necesario evaluar la pertinencia de la oferta mapeada, examinando cada línea de requerimiento con una serie de variables específicas. Los resultados de este análisis, agrupados en seis grandes categorías de retos se detallan a continuación. (ilustración 13)

Ilustración 12: Retos que provocan brechas entre la oferta y demanda de talento

ACCESIBILIDAD	BALANCE TEORÍA-PRÁCTICA	FORMACIÓN CONTINUA	PROFUNDIDAD	DISPERSIÓN	INGLÉS

Fuente: Elaboración propia, con base en las discusiones de los grupos técnicos de trabajo de ensamble y empaque, prueba, y diseño / VLSI.

3.1.2.1 ENSAMBLE Y EMPAQUE

Los expertos de la industria coinciden en que existe una considerable dificultad para reclutar personal adecuado en las áreas de ensamble y empaque. Específicamente, no se logra encontrar el talento humano en los volúmenes y niveles de formación necesarios para satisfacer las demandas del sector. Todos los retos ilustrados en el diagrama anterior contribuyen a esta situación.

El acceso a la oferta formativa disponible fue identificado como una de las causas principales de las brechas existentes. Según la encuesta aplicada a la academia, casi el 60% de las instituciones educativas señalaron esta variable como un factor de desalineamiento de su oferta. Se reconoció que este problema puede manifestarse de varias maneras, como cuando los contenidos se ofrecen solo a los estudiantes de una carrera específica o cuando se presentan como materias optativas. Esto limita que personas con la necesidad de formación puedan acceder a la oferta, y por ende el número de profesionales formados en las áreas necesarias sea escaso.

El desbalance entre la formación teórica y práctica también emergió como un reto clave. Las habilidades prácticas son esenciales para las funciones de ensamble y empaque, áreas que se ven continuamente desafiadas por el rápido avance tecnológico y la creciente complejidad de los componentes. La demanda de habilidades cada vez más precisas y desarrolladas subraya la importancia de un equilibrio entre la práctica y la teoría en la oferta de formación disponible.

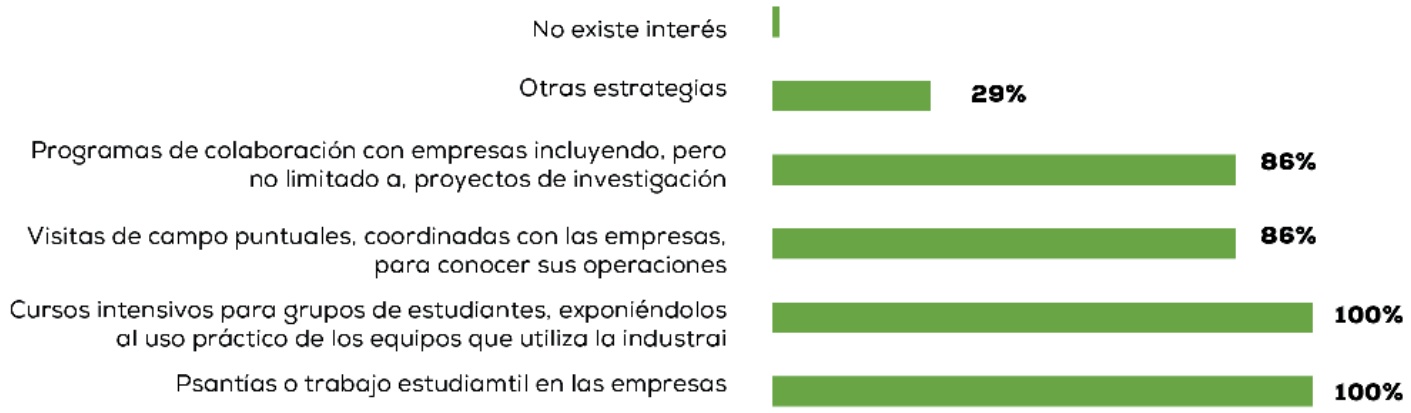
Este reto afecta todos los requerimientos técnicos de habilidades identificados por los expertos de la industria. Idealmente, las empresas buscan ingenieros con bases teóricas sólidas y experiencia práctica. Sin embargo, la escasez mundial de talento en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) presenta un desafío significativo. En Costa Rica, la industria a menudo recurre a contratar recién graduados con buenas bases teóricas, pero sin experiencia

práctica, lo que resulta en prolongados y costosos períodos de entrenamiento que pueden durar entre nueve meses y un año.

Pese a este desafío, se identificaron oportunidades de colaboración entre la industria y la academia. Las empresas expresaron interés en desarrollar arreglos que permitan a los estudiantes acceder a experiencias prácticas en entornos industriales, facilitando el entendimiento de la aplicación real de los conocimientos adquiridos en el aula. La academia también mostró interés en estas colaboraciones, según confirmaron las respuestas de la encuesta aplicada.

El siguiente gráfico presenta los resultados de la pregunta formulada en la encuesta sobre interés de la academia de impulsar estrategias prioritarias para cerrar brechas existentes en conocimientos prácticos.

Gráfico 2: Interés de la academia de impulsar estrategias prioritarias para cerrar



Fuente: Elaboración propia, con base en la encuesta aplicada a la academia en el período comprendido entre el 7 y el 20 de junio de 2024. | ***Nota:*** Las respuestas a esta pregunta no discriminan en su aplicación entre las áreas de ensamble, empaque, prueba y diseño / VLSI.

Estos hallazgos destacan posibles vías para cerrar las brechas de manera efectiva y alineada, aprovechando la actual ventana de oportunidad para el país.

Un segundo desafío identificado como causa del desalineamiento entre la demanda de talento humano y la oferta de formación disponible en las áreas de ensamble y empaque es la falta de opciones flexibles para la formación continua. La rápida evolución tecnológica en la industria de semiconductores no solo aumenta la necesidad de fortalecer habilidades prácticas específicas, sino que también exige sistemas educativos ágiles que puedan adaptarse rápidamente, por ejemplo, mediante la oferta de certificaciones puntuales para actualizar competencias profesionales en un entorno complejo y dinámico.

Además de los aspectos anteriores, el estudio de pertinencia de la oferta académica disponible en el país para estas áreas identificó brechas de profundidad en los procesos de formación. En este tema, la industria reconoce que existe malla curricular para responder a muchos requerimientos de competencias técnicas en ensamble y empaque. Sin embargo, se detectó la presencia de una brecha de profundidad en los procesos de formación ocasionada por la duración que se asigna a la enseñanza, la cual es divergente entre las temáticas y oferentes existentes. Por ejemplo.

• En tecnologías para conectar chips (flip chip y wire bonding), solo dos universidades ofrecen contenidos, con tiempos de enseñanza que van desde unas pocas horas hasta 8 semanas.

• En tecnologías de montaje superficial (chip shooters y robot arms), todas las universidades incluidas en el estudio ofrecen contenidos, con tiempos de dedicación que van desde varias horas hasta varias semanas.

La industria señala que estas disparidades en la formación afectan la consistencia de los perfiles de los graduados que se postulan para posiciones en estas áreas. La encuesta reveló que el 43% de las instituciones académicas consideran que las limitaciones en la programación de tiempos de enseñanza contribuyen al desalineamiento.

Además, se identificó un desafío de dispersión en la conexión de ciertos contenidos requeridos con las carreras de las cuales provienen los profesionales del sector de semiconductores. Esto se observa particularmente en competencias como el análisis de capacidad de medición y la interpretación de planos eléctricos, mecánicos, neumáticos y termodinámicos, áreas críticas, pero con disponibilidad limitada de formación específica.

Para abordar estos desafíos y acelerar la generación de talento humano con las habilidades necesarias, sería estratégico considerar la implementación de especializaciones que:

• Incluyan prácticas con casos reales de la industria para comprender la aplicación práctica de los procesos industriales.

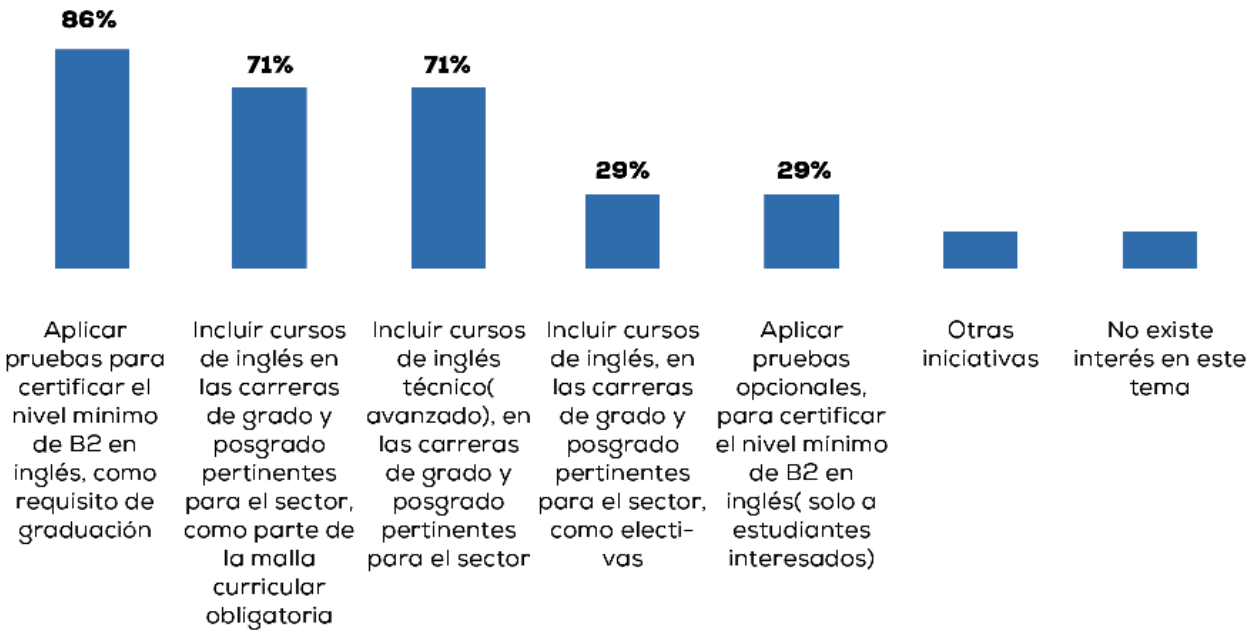
• Sean accesibles a estudiantes de diversas disciplinas para facilitar la conexión con las carreras tradicionales de los profesionales contratados.

La encuesta indica que hay interés en la academia por desarrollar contenidos especializados que cierren estas brechas identificadas y respondan a las necesidades del sector.

Por último, el análisis de brechas identifica las deficiencias en el dominio del inglés como una brecha significativa que afecta las operaciones en las áreas de ensamble y empaque. Esta competencia es crucial para el desarrollo profesional en la industria, siendo el nivel B2 certificado un requisito mínimo que debe ser abordado con urgencia para maximizar las oportunidades laborales.

En la encuesta, todas las respuestas indicaron un interés claro en ajustar o agregar contenidos académicos para asegurar que los estudiantes egresen con el nivel mínimo de B2 en inglés. Los resultados se presentan en el siguiente gráfico.

Gráfico 3: Interés de la academia en impulsar estrategias prioritarias para cerrar



Fuente: Elaboración propia, con base en la encuesta aplicada a la academia en el período comprendido entre el 7 y el 20 de junio de 2024. | ***Nota:*** Las respuestas a esta pregunta no discriminan en su aplicación entre las áreas de ensamble, empaque, prueba y diseño / VLSI.

Como muestra el gráfico anterior, la opción de implementar pruebas para certificar el nivel de inglés como requisito de graduación fue ampliamente respaldada por los centros de formación. Además, más de dos tercios de las respuestas incluyeron estrategias para integrar cursos de inglés y capacitación técnica avanzada en inglés en los programas de grado y posgrado relevantes para el sector. Estos hallazgos confirman que fortalecer las competencias en inglés representa una tercera oportunidad significativa para mejorar y llevar a cabo acciones pertinentes para la industria de semiconductores.

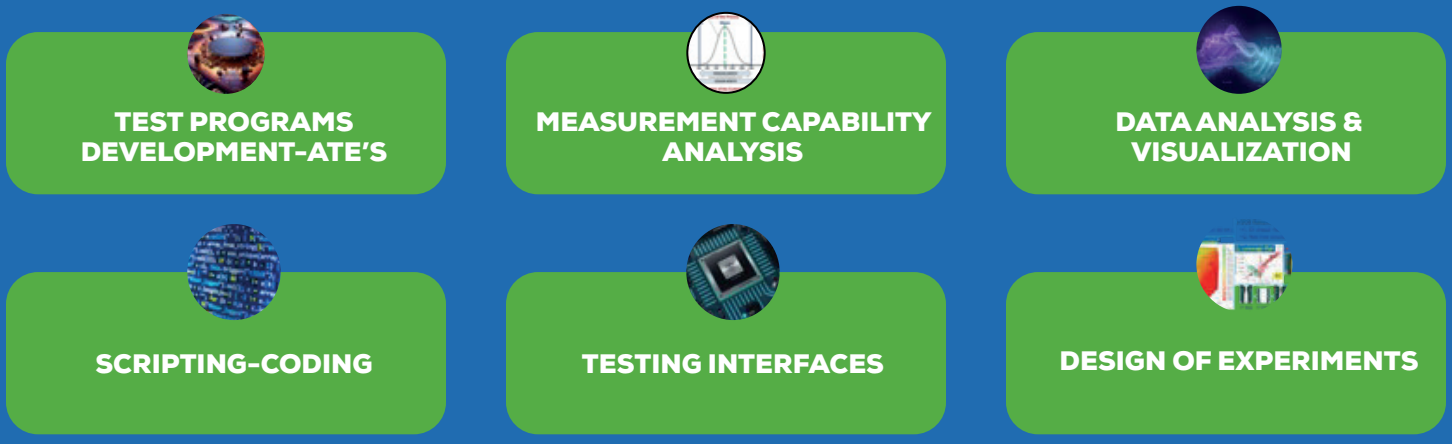
3.1.2.2 PRUEBA

El análisis realizado en colaboración con el grupo de expertos del área prueba permitió hacer una distinción entre las competencias consideradas críticas y las prioritarias.

Es importante destacar que esta priorización no disminuye la relevancia de los nueve requerimientos mapeados inicialmente, ya que todos son necesarios para una formación integral.

No obstante, se evidencia una necesidad apremiante por desarrollar y atraer talento altamente calificado en seis áreas específicas, las cuales se detallan en el diagrama a continuación. Esta identificación precisa permite una focalización estratégica de recursos y esfuerzos para abordar las demandas más urgentes del sector de semiconductores.

Ilustración 13 Competencias técnicas críticas en el área de prueba



Fuente: Elaboración propia, con base en información proporcionada por representantes de la industria en la reunión del grupo técnico de prueba del 18 de abril de 2024. | ***Imágenes de:*** LinkedIn, Tech Quality Pedia, Shutterstock, Tech Crunch, Rhode and Schwartz, y Conventor.

En el ámbito de pruebas de semiconductores, se identificó un desafío crítico: la brecha significativa entre la formación teórica y la aplicación práctica de conocimientos. Los representantes de la industria señalaron que las personas candidatas, aunque poseen una base teórica sólida, no pueden aplicar estos conceptos en entornos de producción reales. Esta desconexión se vuelve aún más apremiante dado el ritmo acelerado de evolución tecnológica en el sector, que demanda una adaptación constante de las habilidades técnicas.

La sofisticación exponencial de los equipos de prueba, como testers y handlers para microprocesadores, ejemplifica esta problemática. Estos sistemas incorporan elementos altamente especializados –controladores térmicos, cámaras ultra veloces y micro robótica– cuyo manejo requiere familiarización práctica. Áreas críticas como el análisis de datos, la resolución sistemática de fallas y el desarrollo de software para pruebas de dispositivos (test programs) exigen un conocimiento práctico que trascienda los conceptos básicos actualmente impartidos.

Para abordar este desafío, es imperativo fortalecer la formación práctica en todas las competencias identificadas como esenciales. Este enfoque no solo cerraría las brechas más relevantes, sino que también profundizaría el conocimiento, superando las limitaciones de una formación puramente teórica. La colaboración estrecha entre la industria y la academia es crucial para elevar el nivel de preparación y mantener la competitividad en un campo tecnológico cada vez más desarrollado.

Un factor crítico adicional identificado en el área de prueba de semiconductores es la deficiencia en el dominio del idioma inglés. Esta carencia representa una barrera significativa para el desempeño eficaz en un entorno globalizado. El área de prueba requiere una comunicación técnica fluida y precisa con colaboradores internacionales, ya que los profesionales en este campo frecuentemente forman parte de equipos multidisciplinarios distribuidos globalmente. Estos equipos, que abarcan diversos segmentos de la cadena de valor de semiconductores, demandan una comunicación efectiva en inglés para coordinar procesos complejos, resolver problemas técnicos y alcanzar los objetivos de rendimiento y calidad establecidos.

3.1.2.3 DISEÑO / VLSI

En el ámbito del diseño de semiconductores y VLSI la industria identificó un conjunto de habilidades técnicas altamente sofisticadas y específicas, esenciales para el desempeño eficaz en los cuatro subprocesos de diseño principales. Esta especificidad eleva significativamente los estándares de pertinencia requeridos en los programas de formación académica disponibles en el país. Un análisis detallado de la demanda de habilidades del sector revela tres elementos críticos:

1. De los 34 requerimientos identificados, la mayoría se consideran conocimientos mínimos necesarios para la empleabilidad en puestos de entrada. Este alto umbral de competencias básicas presenta un desafío significativo para las instituciones académicas en la preparación de profesionales competitivos.

2. Aproximadamente la mitad de los requerimientos exigen un equilibrio óptimo entre formación teórica y práctica, subrayando la necesidad crucial de fortalecer el componente práctico en los programas educativos.

3. La distribución de competencias entre los subprocesos de diseño varía, con un 24% de las habilidades siendo aplicables a todos los subprocesos, mientras que el resto se distribuye entre uno y tres subprocesos específicos. Esta información es vital para el desarrollo de programas educativos especializados y adaptados a las necesidades de la industria.

La experiencia en reclutamiento para posiciones en diseño de semiconductores revela brechas significativas entre la formación actual y las demandas de la industria. Las empresas del sector reportan consistentemente que las personas candidatas, incluso para puestos de nivel inicial, frecuentemente carecen del dominio conceptual y práctico necesario para desempeñar eficazmente las funciones requeridas. Esta situación subraya la urgencia de implementar acciones estratégicas para fortalecer el capital humano en este campo altamente especializado y en constante evolución.

Ilustración 14: Retos especiales en el área de Diseño / VLSI

TALENTO HUMANO

Las personas que se preparan con la aspiración de trabajar en diseño / VLSI requieren formarse en y asimilar con profundidad conocimientos especializados en esta rama de la industria.

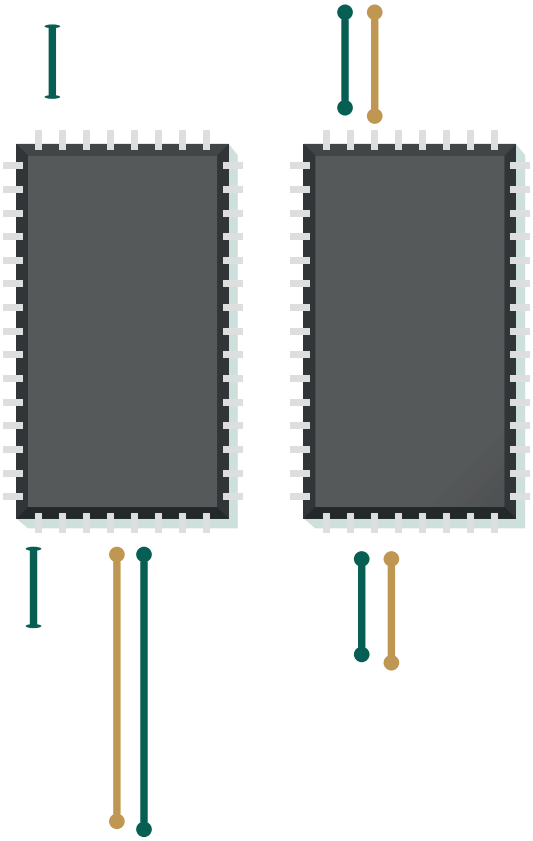
MALLAS CURRICUALRES

Las mallas curriculares destinadas a la formación de temas en el área de diseño / VLSI deben ser muy completas en su cobertura de las competencias listadas, y muy alineadas en la especificidad, para poder superar la barra.

RAMA DE ESPECIALIDAD

No se pueden formar estas competencias mediante cursos o signaturas individuales que complementan un menú de otros conocimientos. Se requiere un trato que las aborde integralmente, como una rama de especialidad dentro de carreras como ingeniería electrónica, eléctrica o de computadores.

Fuente: Elaboración propia, con base en información proporcionada por representantes de la industria en la reunión del grupo técnico de diseño / VLSI del 26 de abril de 2024.



La industria de semiconductores en Costa Rica enfrenta tres brechas críticas en el área de diseño/VLSI:

1. Desconexión entre teoría y práctica: Los estudiantes, aunque teóricamente competentes, a menudo carecen de la capacidad para aplicar sus conocimientos en entornos industriales reales. La rápida evolución tecnológica exacerba esta brecha, demandando una adaptabilidad constante y aprendizaje continuo. Se propone fortalecer las colaboraciones industria-academia, incluyendo el desarrollo de laboratorios compartidos, para abordar este desafío.

2. Escasez de talento calificado: La formación de profesionales en diseño/VLSI es un proceso complejo y prolongado, lo que limita naturalmente la disponibilidad de talento. Las tendencias demográficas globales agravan esta situación, con una proporción significativa de profesionales experimentados acercándose a la edad de jubilación. Estudios recientes indican que esta escasez de talento tecnológico es una preocupación generalizada en la industria, constituyendo una barrera principal para la transformación digital.

3. Deficiencias en el manejo del idioma inglés: En el área de diseño/VLSI, la fluidez en inglés técnico es imprescindible. Los profesionales deben comunicar eficazmente temas técnicos complejos, tanto oral como por escrito, en equipos de trabajo globales. Esta deficiencia lingüística representa un obstáculo significativo para la integración efectiva en proyectos internacionales y el avance profesional en la industria.

Para abordar estas brechas, se proponen las siguientes estrategias:

a. Implementación de cursos intensivos o bootcamps en competencias especializadas.

b. Desarrollo de programas de certificación:
- Certificaciones puntuales para aprendizaje continuo.
- Mecanismos de respuesta rápida para certificaciones especializadas.
- Certificación nacional para acreditar "horas-práctica" de estudiantes.

c. Colaboraciones con entidades académicas internacionales para ofrecer contenidos de formación en inglés técnico.

d. Atención a brechas estructurales y orientación vocacional para aumentar el interés en áreas STEM.

Estas iniciativas buscan no solo cerrar las brechas identificadas, sino también posicionar a Costa Rica como un destino atractivo para inversiones en la industria de semiconductores. La encuesta realizada al sector académico revela un consenso favorable hacia la colaboración en estas estrategias, lo cual es crucial para el éxito a largo plazo.

La implementación efectiva de estas estrategias, aprovechando la coyuntura global actual, representa una oportunidad única para Costa Rica de fortalecer su posición en la cadena de valor de semiconductores. El alineamiento entre industria, academia y gobierno será fundamental para capitalizar estas oportunidades y desarrollar un ecosistema de talento robusto y competitivo a nivel internacional.

3.1.3 BRECHAS ESTRUCTURALES

En Costa Rica, el panorama educativo en áreas tecnológicas presenta desafíos significativos para el desarrollo del sector de semiconductores. Según el Noveno Estado de la Educación, los porcentajes de estudiantes de secundaria que egresan con las aptitudes necesarias en áreas tecnológicas son alarmantemente bajos (PEN/CONARE, 2023). Estas competencias son fundamentales para incursionar en carreras asociadas a la industria de semiconductores.

Esta deficiencia ya está impactando al sector empresarial. Actualmente, incluso antes de la materialización generalizada de nuevas oportunidades de inversión y negocios, el mercado laboral muestra una escasez significativa de profesionales en áreas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). Esta demanda no se limita al sector de semiconductores, sino que se extiende a diversos sectores económicos en proceso de digitalización.

Aunque un análisis exhaustivo de los desafíos estructurales que ocasionan estas deficiencias en conocimientos tecnológicos básicos excede el alcance de este estudio, es imperativo destacar su relevancia crítica. La resolución de estas problemáticas en el mediano plazo es esencial para potenciar cualquier oportunidad de desarrollo basada en el talento humano. Esto aplica no solo a la atracción de inversión extranjera en sectores de alta tecnología, sino también al impulso de la innovación y el emprendimiento local.

Además, en un contexto global cada vez más digitalizado, elevar el nivel de alfabetización tecnológica de la población general se convierte en una necesidad apremiante. Este factor es crucial para mantener la competitividad del país en la economía global y para asegurar que la fuerza laboral esté preparada para los desafíos tecnológicos del futuro.

La industria de semiconductores, como sector de vanguardia tecnológica, requiere una fuerza laboral altamente calificada y adaptable. Por lo tanto, abordar estas brechas educativas no solo beneficiará al sector de semiconductores, sino que también fortalecerá la posición de Costa Rica como un hub tecnológico regional.

Para enfrentar estos desafíos, se requiere un enfoque multisectorial que involucre a la academia, la industria y el gobierno. Estrategias potenciales podrían incluir:

1. Reformas curriculares en educación secundaria para fortalecer la formación en STEM.

2. Programas de capacitación docente en tecnologías emergentes.

3. Colaboraciones industria-academia para ofrecer experiencias prácticas a estudiantes.

4. Incentivos para la formación continua en áreas tecnológicas.

La implementación efectiva de estas estrategias no solo preparará mejor a la fuerza laboral para las demandas de la industria de semiconductores, sino que también posicionará a Costa Rica de manera más competitiva en la economía global del conocimiento.

3.1.4 FORTALECIMIENTO DEL CAPITAL HUMANO EN SEMICONDUCTORES: INICIATIVAS PRIORITARIAS

La industria global de semiconductores enfrenta actualmente un desafío crítico: la escasez de talento humano altamente calificado. La problemática limita significativamente la capacidad de crecimiento del sector, cuando la demanda exige una expansión sin precedentes. El presente estudio analizó esta situación desde dos perspectivas fundamentales:

1. Escala o volumen: Se confirmó una insuficiencia cuantitativa en el mercado laboral, incapaz de satisfacer la demanda creciente de profesionales en el sector.

2. Idoneidad: Se identificó una brecha cualitativa, donde el mercado laboral no logra proporcionar recursos humanos con las competencias sofisticadas y específicas que requieren los puestos en la industria de semiconductores.

Estas limitaciones, en volumen y en idoneidad, se deben a una diversidad de factores examinados detalladamente en este documento, considerando las particularidades de cada área en la industria.

Para formular propuestas efectivas que permitan cerrar las brechas entre la demanda y la oferta de talento, se realizó un análisis exhaustivo de estos componentes. Este análisis se complementó con una evaluación integral de los hallazgos obtenidos a través de los intercambios en los grupos técnicos de trabajo para las tres áreas principales de la industria y una encuesta aplicada al sector académico.

Los resultados de este análisis comprehensivo se presentan de manera estructurada en el siguiente cuadro, proporcionando una base sólida para la formulación de acciones prioritarias para fortalecer el desarrollo de capital humano en la industria de semiconductores.

Este enfoque metodológico permite abordar de manera sistemática y fundamentada las acciones necesarias para fortalecer el ecosistema de talento en el sector, asegurando su alineación con las demandas actuales y futuras de la industria de semiconductores.

A continuación, el detalle:

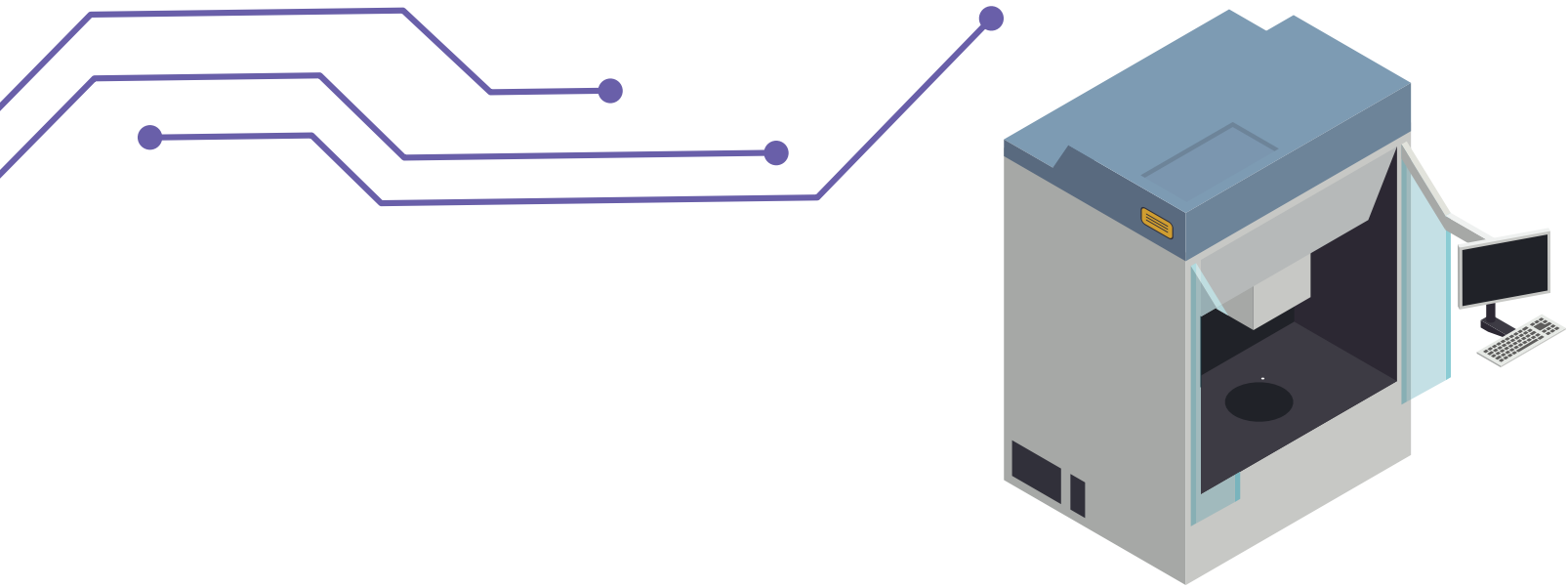


Tabla 10: Acciones prioritarias para fortalecer el desarrollo de capital humano en la industria de semiconductores

BRECHA	IMPACTOS	BARRERAS QUE DIFICULTAN EL CIERRE	POSIBLES RUTAS DE ACCIÓN
Desbalances entre la formación teórica y la práctica de los conocimientos 4 Las personas que optan por puestos en la industria de semiconductores con mucha frecuencia muestran desbalances en la absorción o asimilación efectiva de conocimientos teóricos y prácticos 5 También evidencian desconexión o desconocimiento de la realidad cotidiana de estas operaciones	6 Riesgo de comisión de errores en la operación de equipos sofisticados y costosos, por falta de familiaridad con su manejo y respectivos protocolos, comprometiendo tiempos de entrega y poniendo en peligro la ejecución de los procesos y la seguridad de las operaciones 7 Pronunciadas curvas de aprendizaje que impiden la inserción en funciones productivas durante prolongados periodos de entrenamiento, con costos significativos para las empresas y el mercado	8 Restricciones económicas para construir o adecuar y poner a disposición la infraestructura necesaria de laboratorios y equipamiento especializados (costos de operación, mantenimiento, renovación de equipos y licencias, etc.) 9 Limitantes en la disponibilidad de docentes capacitados para dar a los equipos pertinentes los usos reales que les da la industria en sus operaciones cotidianas, incluyendo salarios competitivos para su retención en los sistemas de formación	***Laboratorios:*** 10 Con apoyo e involucramiento de autoridades gubernamentales pertinentes y otros actores del ecosistema, poner a disposición infraestructura y equipamiento compartidos que permitan a estudiantes provenientes de diferentes casas de enseñanza (universidades, colegios técnicos, Instituto Nacional de Aprendizaje) tener acceso a aplicaciones de la vida real en la industria y practicar procesos y manejos específicos de interés del sector 11 Crear ambientes propensos para hacer investigación conjunta aplicada, desarrollo y co-creación, con esquemas abiertos de funcionamiento, y prestación de servicios a las empresas que contribuyan como fuente de ingresos para posibilitar la sostenibilidad 12 Revisar y, en lo conducente, ajustar los cursos de laboratorio pertinentes que existen en la actualidad, de manera tal que incorporen ingredientes prácticos que expongan al estudiante a las aplicaciones y herramientas específicas que se utilizan en la industria de semiconductores y se enfoquen en la solución de problemas reales que ***Alianzas académicas:*** En coordinación con actores del ecosistema como el gobierno y la institucionalidad pública al servicio de la formación, concretar alianzas con socios académicos internacionales especializados en semiconductores y con experticia en la enseñanza de habilidades prácticas, para buscar la transferencia de conocimientos y experiencias y la adopción de buenas prácticas en el país, que permitan mejorar y adecuar los laboratorios, y mantener su vigencia y alineamiento con el dinámico entorno en el que se desenvuelve el desarrollo tecnológico en el sector ***Alianzas industria-academia:*** Crear o ampliar acuerdos entre la industria y la academia para: 13 Impulsar la construcción conjunta para adecuar los planes de estudio, de manera que incluyan condiciones que permitan a los docentes trabajar con casos y data reales de la industria 14 Implementar (i) programas de pasantías o trabajo estudiantil en las empresas; (ii) visitas de campo puntuales, coordinadas con las empresas, para conocer sus operaciones (“showrooms”); (iii) cursos intensivos para grupos de estudiantes, exponiéndolos al uso práctico de los equipos que utiliza la industria; y/o (iv) programas de colaboración integrales o específicos para un área de interés, que incluyan, pero no se limiten a, proyectos de investigación

BRECHA	IMPACTOS	BARRERAS QUE DIFICULTAN EL CIERRE	POSIBLES RUTAS DE ACCIÓN
			Certificaciones: Generar una certificación a nivel país, para acreditar las "horas-práctica" de los estudiantes realizando las funciones requeridas para cada área
Dispersión de contenidos y poca profundidad para asimilar el conocimiento 15 Algunos contenidos de formación necesarios para desarrollar las competencias demandadas por el sector se encuentran dispersos entre diferentes carreras que típicamente no calzan con aquellas de las que emanan los profesionales que este recluta 16 Los centros de estudio que ofrecen contenidos relacionados con las necesidades de la industria no están sujetos a un estándar y, por ende, producen recursos divergentes 17 Con frecuencia, se asignan tiempos reducidos para impartir conocimientos que son ampliamente complejos; esto inhibe alcanzar niveles adecuados de profundidad, que permitan a los estudiantes desarrollar las competencias requeridas para poder desempeñar las funciones que se exigirán en puestos de trabajo vinculados al sector	18 Riesgos elevados de ferocidad en la competencia para reclutar recursos calificados en el mercado laboral, con efectos de encarecimiento y pérdida relativa de competitividad 19 Pronunciadas curvas de aprendizaje que impiden la inserción en funciones productivas durante prolongados periodos de entrenamiento, con costos significativos para las empresas y el mercado	20 Poca flexibilidad en el sistema para que las entidades académicas puedan adaptarse a las necesidades rápidamente cambiantes del mercado 21 Restricciones que impiden canalizar los recursos necesarios a las tareas que involucra un trabajo de ajuste en las mallas curriculares, para atender los requerimientos de profundidad demandados u ofrecer certificaciones 22 Limitantes en la disponibilidad de docentes capacitados para poder profundizar en temas especializados 23 Barreras regulatorias y trámites que dificultan la gestión y obtención ágil de las aprobaciones para poder hacer los ajustes necesarios en los contenidos, cumpliendo con lo requerido por las autoridades del sistema de educación 24 Reservas, en algunas organizaciones, de ampliar la cobertura especializada en semiconductores descuidando las bases o en perjuicio de otras industrias	***Generales:*** 25 Revisar y, en lo conducente, ajustar los programas de formación que existen en la actualidad, en especial a nivel de posgrado, de manera tal que concentren e integren los contenidos pertinentes requeridos en las tres áreas de oportunidad identificadas para el país (ensamble y empaque, prueba y diseño / VLSI) 26 Revisar y, en lo conducente, ajustar los programas de formación pertinentes que existen en la actualidad, de manera tal que incorporen electivas especializadas en la industria de semiconductores (corto plazo) 27 Ampliar el acceso a los contenidos especializados en formatos libres / accesibles a cualquier persona interesada, para permitir la formación continua, el reentrenamiento, y la actualización profesional, tanto de personas empleadas en el sector como de sus entrenadores o docentes (Los tres puntos anteriores, podrían enfocarse en temas como el uso de herramientas que se utilizan en la industria, laboratorios que permitan la experimentación con equipos, o temas específicos que se identifiquen con las empresas como de particular interés, por ejemplo, verificación o lean manufacturing) 28 Explorar el uso de fórmulas más ágiles para profundizar fuera de las carreras formalmente aprobadas, vía técnicos o programas de desarrollo profesional 29 Implementar cursos intensivos más cortos, tipo bootcamps, para el entrenamiento dirigido, hecho a la medida para formar competencias especializadas requeridas por alguna motivación especial de la industria, donde sea posible, en alianza con organizaciones académicas internacionales especializadas en semiconductores 30 Explorar con actores del ecosistema como el gobierno, la institucionalidad pública al servicio de la formación, y las propias empresas, opciones para ofrecer becas que permitan ampliar el acceso a contenidos especializados 31 Crear rutas de aprendizaje para que los estudiantes tomen decisiones informadas sobre el tipo de contenidos en los que se deben formar para poder alcanzar un futuro profesional en la industria de semiconductores
			Certificaciones: 32 Diseñar y poner en marcha de un programa de certificaciones puntuales para el aprendizaje continuo, tanto de personas que laboran en el sector como de sus entrenadores, que permitan formar destrezas específicas necesarias de tener para poder ganar nuevas oportunidades de negocio por

BRECHA	IMPACTOS	BARRERAS QUE DIFICULTAN EL CIERRE	POSIBLES RUTAS DE ACCIÓN
			compite, uniformando el manejo del lenguaje y estandarizando la enseñanza y el aprendizaje, para equiparar la calidad y el nivel de profundidad al que se logra llegar en estos temas tan especializados 33 Crear mecanismos de respuesta rápida para que las casas de enseñanza puedan poner a disposición estas certificaciones especializadas con la prontitud y periodicidad requeridas
Falta de opciones flexibles y abiertas dirigidas a la formación continua / actualización profesional 34 La existencia de pocas opciones de formación continua en el medio dificulta la actualización constante de la población laboral y el manejo de las nuevas tendencias emergentes del progreso tecnológico	35 Pérdida de competitividad país por rezagos que provoca una fuerza laboral desalineada de los avances tecnológicos	36 Escasez de especialistas actualizados para atender la creciente demanda de formación 37 Los especialistas en condiciones de asumir responsabilidades de docencia enfrentan dificultadas para balancearlas con sus otras obligaciones, ya que usualmente provienen de las industrias, donde simultáneamente laboran, y requieren priorizar esos temas por encima de sus labores como docentes 38 Las remuneraciones que se pueden ofrecer por los servicios de docencia no son suficientemente competitivas para poder atraer y/o retener a un especialista 39 Si bien son profesionales con conocimiento experto en su campo, los especialistas no cuentan con formación en docencia, lo que dificulta la efectividad del aprendizaje	***Certificaciones***: 40 Diseñar y poner en marcha de un programa de certificaciones puntuales para el aprendizaje continuo, validadas por la industria, que permitan a la población laboral cumplir con los requerimientos que un entorno complejo y dinámico como este impone en torno a la formación continua, el reentrenamiento, y la actualización profesional, de personas empleadas en el sector y sus entrenadores o docentes 41 Crear mecanismos de respuesta rápida para que las casas de enseñanza puedan poner a disposición estas certificaciones especializadas con la prontitud y periodicidad requeridas
Deficiencias en el manejo del inglés 34 Los niveles de inglés de la población laboral que opta por buscar una posición en la industria de semiconductores alcanzan los mínimos requeridos solo excepcionalmente	43 Barreras de comunicación que impactan la eficiencia y la funcionalidad de las operaciones, ya que se trabaja en equipos globales de expertos interconectados, que deben poder comunicarse con fluidez,	44 Retos estructurales que limitan las bases de conocimiento con que los estudiantes egresan de la educación primaria y secundaria 45 Restricciones económicas en algunas casas de enseñanza superior, que prefieren canalizar los recursos de que disponen hacia otras áreas que consideran más prioritarias	46 Donde haya disposición de las organizaciones de educación superior: 46.1 Aplicar pruebas para certificar el nivel mínimo de B2 en inglés como requisito de graduación 46.2 Incluir cursos de inglés en las carreras de grado y posgrado pertinentes para el sector, como parte de la malla curricular obligatoria 46.3 Incluir cursos de inglés técnico (avanzado) en las carreras de grado y posgrado pertinentes para el sector 46.4 Incluir cursos de inglés en las carreras de grado y posgrado pertinentes para el

BRECHA	IMPACTOS	BARRERAS QUE DIFICULTAN EL CIERRE	POSIBLES RUTAS DE ACCIÓN
	para alcanzar al unísono el cumplimiento de las ambiciosas metas a las que están sujetos		46.5 Aplicar pruebas opcionales, para certificar el nivel mínimo de B2 en inglés (solo los estudiantes interesados) 47 Negociar esquemas asociativos o de colaboración con entidades académicas en el exterior que cuentan con contenidos de formación pertinentes en inglés técnico, para ofrecer cursos especializados en este idioma ampliamente a estudiantes en el país, directamente o por medios virtuales 48 Explorar la viabilidad de replicar programas complementarios existentes como "Inglés de CONARE", o educación asistida por IA y atendida por tutores que está empleándose en algunas universidades
Escala 49 La curva demográfica invertida ocasiona presiones fuertes en el mercado laboral, con muchos especialistas de llegando rápidamente a la edad de retiro, y un desalineamiento en la velocidad de salida y la reposición de los recursos humanos calificados 50 La formación en áreas STEM no es atractiva o accesible para muchas personas y toma mucho tiempo para desarrollarse con los niveles de profundidad necesarios	51 Riesgos elevados de ferocidad en la competencia para reclutar recursos calificados en el mercado laboral, con efectos de encarecimiento y pérdida relativa de competitividad	52 Restricciones económicas para aumentar cupos, que se encuentran topados o cerca de su máxima capacidad 53 Barreras regulatorias y trámites que dificultan la gestión y obtención ágil de las aprobaciones para poder hacer los ajustes necesarios en los contenidos, cumpliendo con lo requerido por las autoridades del sistema de educación	54 Para la sostenibilidad de la estrategia en el largo plazo, atender brechas estructurales e incrementar la orientación vocacional para atraer a más personas hacia las áreas STEM 55 Cambiar la forma de reaccionar a nuevos requerimientos de competencias de las industrias tecnológicas a las que el país está apostando para impulsar su desarrollo, de manera tal que se logre acelerar la velocidad de respuesta y la adaptabilidad a contextos dinámicos 56 Atraer talento especializado para suplir faltantes en posiciones que no se logren reclutar localmente, ofreciendo políticas migratorias propensas y paquetes de incentivos que logren competir con éxito en esta reñida contienda 57 Establecer un mecanismo pragmático de gobernanza, que integre con apertura a todas las partes interesadas de la industria y la academia, para intercambiar, realimentar e impulsar continuamente las estrategias de talento humano dirigidas a potenciar oportunidades de desarrollo, mediante intervenciones estratégicas oportunas que respondan con efectividad a las necesidades de las que depende su materialización

3.2 ANÁLISIS COMPLEMENTARIO

En el contexto global actual hay muchos esfuerzos en curso orientados a ¬¬¬re balancear la cadena productiva de los semiconductores, con el fin de reducir las vulnerabilidades que provoca la alta concentración en tres principales mercados: 80% de la manufactura ubicada en Asia, 11% en Estados Unidos, y 9% en la Unión Europea. La meta es atraer inversiones que contribuyan a la reconfiguración de la cadena, de forma tal que la distribución resultante sea más equitativa, es decir, con 50% de la producción en Asia, por una parte, y 50% en Estados Unidos y la Unión Europea, por la otra (SENADO DE ESTADOS UNIDOS, 2022).

[4]Según SIA-OXFORD, 45% de los puestos de ingenieros -12.300 posiciones- requerirán grado de maestría, 36% requerirán el bachillerato -9.900 puestos-, y 19% necesitarán de PhDs -5.100 trabajos (SIA-OXFORD, 2023).

Un efecto ineludible de lo anterior es que, en el nuevo escenario, se acelera la demanda de talento humano calificado que la industria necesita para poder crecer. Sin tomar en consideración esa presión, el panorama de partida ya es uno de demanda creciente. Cifras de un estudio de McKinsey, publicado en mayo de 2024, indican que las ofertas de trabajo publicadas en 2022, para llenar posiciones de ingenieros y técnicos en semiconductores en Estados Unidos, totalizaron los 25.000 puestos. Este dato es dos veces el registrado en 2021 y el triple del que se observó en 2020. Muestra una importante tendencia al alza en la demanda, con una tasa compuesta de crecimiento anual de los nuevos puestos, generados en el periodo de 2017 a 2022, seis veces mayor a la del 2010 a 2016 (5% versus 30%, respectivamente). En su mayoría, las nuevas oportunidades laborales asociadas a estas cifras se ubican en puestos ingenieriles (MCKINSEY, 2024b).

Este desafiante entorno de alta demanda se ve exacerbado por el momento en el que tiene lugar, que es uno de escasez pronunciada en la oferta de recursos especializados. SIA y la Universidad de Oxford calculan que, a falta de medidas correctivas, para finales de la década en curso habrá más de 67.000 puestos que no podrán llenarse, de un total de 115.000 en los que se proyecta el crecimiento. La faltante estimada se distribuiría entre las posiciones para ingenieros -27.300 puestos equivalentes a 41% de la brecha total -, los puestos técnicos -que totalizarían 26.400, o un 39% del total-, y los profesionales en ciencias de la computación -que alcanzarían los 13.400 puestos, es decir, el 20% restante (SIA-OXFORD, 2023).

Considerando el panorama anterior, este estudio planteó examinar, como complemento analítico, el sentido de dirigir acciones de fortalecimiento del talento humano en Costa Rica, al impulso de una formación más robusta, pertinente y escalada de perfiles provenientes del sistema de educación y formación técnica-profesional. Tomando como parámetro referencial las proyecciones descritas, que indican que en los próximos años estos tendrán una demanda alta, casi equivalente a la de ingenieros, una respuesta inicial, desde la perspectiva de la existencia de oportunidades, parecería apuntar hacia la toma de acción en este campo.

A continuación, se presentan los hallazgos del análisis de otras variables asociadas, aplicado para formular una recomendación robusta sobre el particular. Se incluye una enumeración puntual de buenas prácticas internacionales que podrían servir de referentes, para decidir sobre posibles cursos para cerrar brechas.

3.2.1 FORTALECIMIENTO DEL TALENTO HUMANO PROVENIENTE DE CARRERAS TÉCNICAS-PROFESIONALES

Desde la perspectiva de la dimensión de las brechas que habría que cerrar para lograr el alcance de un objetivo en este tema, el punto de partida es la conceptualización de lo que la industria de semiconductores concibe como un rol técnico. La valoración realizada determinó que los roles típicos en este campo se relacionan con el mantenimiento correctivo o preventivo de equipos (monitoreo y recalibración), cuartos limpios, y facilidades, así como el cumplimiento de estándares de calidad en la producción y seguridad en las instalaciones de las plantas. Los trabajadores designados para ocupar este tipo de posiciones son altamente calificados y, en sus procesos de formación, requieren ser expuestos a conocimientos que, entre otros, les permitan de manera efectiva:

- Trabajar en entornos de alta tecnología como cuartos limpios .
- Gestionar sofisticados equipos utilizando los parámetros de precisión y seguridad requeridos.
- Ayudar en el diseño y planificación para la posproducción, y en la mejora de los rendimientos productivos, trabajando bajo la dirección de ingenieros en entornos de laboratorio de investigación.
- Leer e interpretar planos y dibujos de ingeniería.
- Ayudar al desarrollo y evaluación de equipos de prueba utilizados para recopilar información sobre los dispositivos semiconductores.
- Probar nuevos tipos de dispositivos semiconductores (circuitos integrados o microchips).
- Seleccionar motores eléctricos y controles adecuados según los requisitos funcionales.
- Identificar y solucionar problemas de componentes en sistemas hidráulicos y neumáticos.
- Identificar y seleccionar componentes electromecánicos que cumplan con requerimientos industriales típicos.
- Aplicar controladores lógicos programables para el control de sistemas y procesos simples.
- Aplicar la comunicación oral y escrita de contenidos técnicos en el idioma inglés.

Muchos países que compiten por fortalecer su posicionamiento en esta cadena están realizando fuertes inversiones para desarrollar destrezas especializadas en la población técnica, que faciliten su inserción en el mercado laboral de la industria de semiconductores y una eventual conversión hacia funciones más avanzadas. Por ejemplo, el Gobierno de Estados Unidos está colocando fondos importantes en su sistema de community colleges, a fin de que se ponga a disposición de los interesados una gama variada de oferta de formación técnica rápida. En la tabla 11, a continuación, se enumeran algunos contenidos que se visibilizan en los programas técnicos implementados en este contexto.

[6]Los ambientes en los que estas labores tienen lugar son muy especiales. Por ejemplo, un cuarto limpio en esta industria es un ambiente cerrado en el que se aplican estrictos parámetros de temperatura, luz, ruido, vibración y flujo o circulación del aire. Por eso, quienes trabajan en él son especialistas, pues están sujetos a cumplir con la elevada exigencia de tener las competencias o habilidades requeridas para poder mantener esas condiciones en alineamiento permanente con los estándares de calidad y seguridad aplicables¬.

Con los representantes de las empresas que participaron en los intercambios de los grupos de trabajo de la Mesa de Talento Humano, se valoró cómo los recursos provenientes del sistema de educación y formación técnica-profesional participan en los procesos productivos del país. Los intercambios confirmaron que, actualmente, la industria recluta personas de carreras profesionales y técnicas para desempeñar funciones en diversos procesos.

Los mismos retos que generan brechas de talento humano en los profesionales de carreras pertinentes, ampliamente analizados en este documento, llevan a las empresas a contratar más técnicos. Esta tendencia parece ser más una respuesta a la realidad que una necesidad, ya que, aunque el ideal en esta compleja industria es emplear ingenieros, estos son escasos, y las oportunidades de contratación que surgen no coinciden con los largos tiempos de formación requeridos. Así, las empresas adaptan sus necesidades de negocio al entorno y, alternativamente, contratan técnicos desde que son estudiantes, formando a estos para llenar posiciones de nivel inicial o entrada.

Con el tiempo, estos técnicos adquieren experiencia y desarrollan habilidades especializadas propias de la industria. Muchas veces, esto los convierte en candidatos para posiciones más complejas, directamente vinculadas con los procesos productivos de semiconductores (del negocio central o "core"). Esto se debe a que alcanzan una familiaridad con los equipos y procesos que les permite resolver problemas reales en su funcionamiento cotidiano, uno de los retos que los ingenieros recién ingresados suelen enfrentar con curvas de nivelación y aprendizaje.

De hecho, se determinó que, con frecuencia, las empresas encuentran que es más fácil preparar y convertir a un técnico que a un ingeniero en el responsable de solventar las situaciones cotidianas de las operaciones. Los expertos de la industria compartieron ejemplos concretos de esta práctica, común en la aplicación de pruebas de interfaz, el desarrollo de programas de prueba para demostrar la funcionalidad y rendimiento de los semiconductores, y las investigaciones asociadas a fallas escaladas por un cliente.

Un esfuerzo orientado a fortalecer las capacidades de la población proveniente del sistema de formación técnica tendría opciones más claras de colocación en las áreas de ensamble, empaque y prueba. Esto implicaría una aceleración focalizada de acciones de formación de competencias en todos los ítems identificados en el mapeo de requerimientos de demanda, excepto los conocimientos avanzados. En el área de diseño/VLSI, donde los roles técnicos son muy excepcionales, se acotaría a habilidades especializadas puntuales, dirigidas a profesionales que trabajan en la industria, en formación continua, reentrenamiento o actualización profesional.

Un elemento adicional en esta área tiene que ver con los componentes transversales. A lo largo del proceso de confección de este estudio, se reiteró ampliamente que el potencial de los candidatos para trabajar en la industria, incluyendo aquellos con formación técnica especializada, se incrementaría exponencialmente si también cuentan con las habilidades blandas y lingüísticas identificadas como necesarias en todas las áreas. Invertir en desarrollar y fortalecer estas capacidades se perfila como una estrategia urgente y de alto rédito para el país.

En síntesis, el contexto revela un área de oportunidad complementaria para Costa Rica en el fortalecimiento del talento técnico. Ciertamente, esto no sustituiría el trabajo en el ámbito

profesional, que resulta indispensable por todas las consideraciones examinadas previamente. Pero ayudaría a acelerar respuestas que urgen a la industria, sobre todo considerando que generar técnicos calificados es más accesible, requiere inversiones menores que las carreras profesionales, y existen diversas fuentes de donde pueden emanar candidatos, como los graduados de secundaria bajo el sistema de colegios técnicos profesionales y las personas formadas por el Instituto Nacional de Aprendizaje.

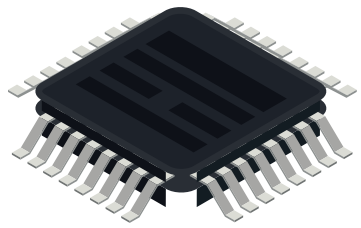


Tabla 11:
Temas abordados en cursos especializados impartidos en colegios comunitarios seleccionados

- Conceptos de introducción a los dispositivos semiconductores y su manufactura.
- Procesos de manufactura micro y nano.
- Conceptos de electrónica digital.
- Herramientas para el ensamble manual y mecánico.
- Conceptos de neumática.
- Sensores, amplificadores y motores.
- Redes y redes inalámbricas.
- Controladores programables y lógicos.
- Aplicaciones para dispositivos semiconductores.
- Programación.
- Lean Six Sigma.
- Solución de problemas de hardware en microcomputadoras.
- Métodos de control de calidad en la manufactura.
- Estadística aplicada para el control de procesos.
- Química aplicada, física y cálculo.
- Automatización.
- Comunicación en ambientes profesionales y de negocios, con equipos o en grupos pequeños.
- Escritura técnica.

Esta lista fue elaborada a partir del procesamiento de información que varios community colleges publican en sus sitios web, como oferta de formación técnica relevante para la industria de semiconductores. Estos son:

Columbus State Community College (https://www.cscc.edu/)

Portland Community College (https://www.pcc.edu/)

Mohawk Valley Community College (https://catalog.mvcc.edu/current/programs/).

3.2.2 BUENAS PRÁCTICAS EN LA FORMACIÓN DE TALENTO HUMANO PARA LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES

El análisis se centró en ejemplos específicos de Estados Unidos, líder destacado en la carrera por alcanzar una mayor "competitividad estratégica" a través del fortalecimiento de la industria de semiconductores. En este país, el desarrollo de las capacidades de la fuerza laboral es un eje central en los planes para atraer inversiones clave en este sector.

En los últimos años se han redoblado esfuerzos para impulsar el desarrollo de una fuerza laboral diversa y calificada. Para ello, establecieron, mantenido y expandido gradualmente asociaciones con colegios comunitarios y escuelas técnicas, programas de aprendizaje, universidades y laboratorios, y redes educativas regionales en todo el país.

Recientemente, a medida que la industria crece para satisfacer la demanda de chips, el gobierno, el sector empresarial y la academia aceleran el paso, trabajando para identificar y poner en marcha medidas que ayuden a cerrar las brechas de habilidades tecnológicas de la economía y la industria de semiconductores.

Para los roles técnicos, el estudio citado en el apartado anterior indica que algunas estrategias incluyen la implementación de más bootcamps de certificación, pasantías y programas de entrenamiento, así como capacitación en colegios comunitarios y técnicos ubicados cerca de las fábricas nuevas y en expansión. En el caso de los perfiles profesionales, que requieren inversiones más significativas en tiempo y dinero, incluyendo de 4 a 10 años de estudios superiores después de la secundaria, las estrategias reflejan una visión a largo plazo.

A continuación, se presentan algunos ejemplos concretos de ambas estrategias:

- **Roles Técnicos:** Implementación de bootcamps de certificación, pasantías y programas de entrenamiento.

- **Perfiles Profesionales:** Inversiones a largo plazo en estudios superiores, con colaboraciones entre el gobierno, el sector empresarial y la academia.

Ilustración 15:
Casos exitosos de estrategias para acelerar la formación de talento humano especializado en semiconductores

TECHNICIAN 10-DAY QUICK START PROGRAM (MARICOPA COUNTY COMMUNITY COLLEGE, ARIZONA)

- Creado, no para reemplazar los certificados más largos o los títulos de grado menor de donde provienen los perfiles técnicos en su mayoría, sino para concientizar sobre las oportunidades que existen en el sector de los semiconductores, y motivar a los estudiantes a continuar su educación para poder aprovecharlas.

- Contó con participación de especialistas de la industria en la docencia, lo que fue crucial para desarrollar, poner en marcha y completar el programa con éxito.

- Se generaron relaciones entre personas que trabajan en el sector y potenciales futuros colaboradores que provocaron beneficios mutuos, incluyendo conexiones directas para reclutar futuros trabajadores con potencial que podrían llenar posiciones necesarias, del lado de los primeros, y una mejor comprensión de lo que involucraría un trabajo futuro en este campo, del lado de los segundos.

NATIONAL INSTITUTE FOR INNOVATION AND TECHNOLOGY GROWING APPRENTICESHIPS IN NANOTECHNOLOGY AND SEMICONDUCTORS (GAINS) PROGRAM

- Permite a los estudiantes aprender trabajando en empresas asociadas a la iniciativa.
- Allí, adquieren experiencia y destrezas mientras desarrollan sus estudios.

FIRST ROBOTICS COMPETITION

- Pertenece a las acciones de orientación vocacional para atraer a más estudiantes de primaria y secundaria hacia las áreas de conocimientos STEM.
- Es un programa de 5 o 6 semanas en el que estudiantes, entrenadores y mentores de todo el mundo construyen robots enfocados en la ejecución de tareas específicas.
- Fomenta el desarrollo de habilidades creativas, técnicas y empresariales, y la capacidad de trabajar en equipo y competir por el alcance de metas.

SEMICONDUCTOR DEGREES PROGRAM (PURDUE UNIVERSITY)

- Combina una maestría en ciencias, certificados acumulables en niveles de posgrado, una licenciatura en ciencias y títulos asociados en conjunto con el colegio comunitario Ivy Tech en Indiana.
- Son interdisciplinarios y ofrecen cursos de química, materiales, equipos de manufactura de semiconductores, ensamble, empaque y más.
- Más allá del aula, los estudiantes participan en una plataforma, laboratorios virtuales, pasantías y proyectos de diseño.

REDES REGIONALES DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN SEMICONDUCTORES

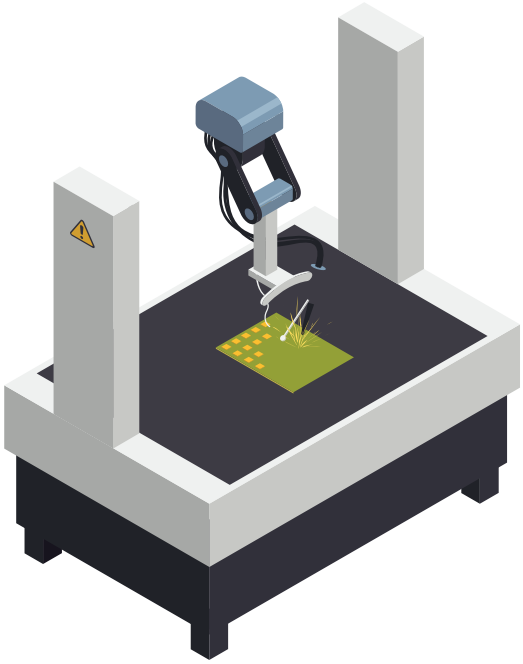
- 18 estados colaborando.
- Proyectos de investigación del sector, desarrollo curricular y otros aspectos.

Fuente: SIA, 2023.

Mediante el intercambio de conocimientos, experiencias y buenas prácticas, muchas de las rutas para cerrar las brechas existentes en materia de talento humano pueden materializarse con mayor agilidad y alinearse mejor al dinámico entorno tecnológico. Por ello, este estudio sugiere considerar modelos exitosos de gestión como referentes para acelerar la implementación de acciones que produzcan resultados tangibles y efectivos a corto, mediano y largo plazo.

4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS LINEAS DE ACCIÓN CLAVES RECOMENDADAS COMO PRIORIDADES ESTRATÉGICAS:

Este apartado constituye el cuarto y último capítulo del "Estudio de brechas en el Sector de la Industria de Semiconductores: demanda de talento humano y oferta de formación técnica y profesional en Costa Rica". Su propósito es brindar un insumo de alto nivel que sirva de base para la toma de decisiones futuras en este campo. Presenta seis líneas de acción clave recomendadas para el cierre de brechas identificadas, cuya atención contribuiría a maximizar las oportunidades de fortalecer el posicionamiento de Costa Rica en esta estratégica cadena de valor mundial, aprovechando la coyuntura de reconfiguración actual.



Los criterios más relevantes considerados para la selección de las rutas recomendadas son:

1. Duración requerida para completar la ruta y generar resultados.

2. Disponibilidad y accesibilidad a oferta programática alineada con la demanda, como punto de partida.

3. Existencia de señales de interés de los actores de la industria y la academia para trabajar colaborativamente en el desarrollo y ejecución de iniciativas de fortalecimiento.

4. Sinergias ecosistémicas y potencial para impactar positivamente las necesidades de talento de otras industrias.

5. Oportunidades para conformar conglomerados educativos especializados en el sector.

6. Nivel de incidencia para flexibilizar o ampliar la capacidad de adaptación a los rápidos cambios tecnológicos que provocan riesgos constantes de desalineamiento.

Para cada línea de acción recomendada, se aporta un análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA). El objetivo es proporcionar insumos complementarios que añadan sustento a las acciones que, en definitiva, se decida emprender.

4.2 LÍNEAS DE ACCIÓN RECOMENDADAS Y ANÁLISIS FODA

N°1 ALIANZAS INDUSTRIA-ACADEMIA (A NIVEL NACIONAL)

ACCIONES RECOMENDADAS

1. Estructurar y consolidar un esquema práctico para enmarcar el desarrollo continuo de alianzas entre la industria de semiconductores y la academia a nivel nacional.

2. Organizar y poner en ejecución un primer plan de trabajo dirigido a:

a. Revisar y ajustar los cursos de laboratorio pertinentes que existen en la actualidad, para que: (i) incorporen ingredientes prácticos que expongan al estudiante a las aplicaciones y herramientas específicas que se utilizan en la industria de semiconductores, y (ii) se enfoquen en enseñar cómo resolver problemas reales que ocurren en sus operaciones cotidianas.

b. Ajustar los planes de estudio para que incluyan condiciones que permitan a los docentes trabajar con casos y datos reales de la industria.

3. Diseñar e implementar un programa de colaboración integral, de periodicidad anual, que incorpore la planificación sistémica (involucrando a todos los actores interesados del ecosistema) de:

a. Pasantías o prácticas estudiantiles y de profesores en las empresas.

b. Visitas de campo puntuales, coordinadas con las empresas, para conocer sus operaciones.

c. Cursos intensivos para grupos de estudiantes, exponiéndolos al uso práctico de los equipos que utiliza la industria.

d. Proyectos de investigación aplicada, integrales o específicos a un área de interés.

e. Participación de expertos de la industria como profesores invitados.

N°1 ALIANZAS INDUSTRIA-ACADEMIA (A NIVEL NACIONAL)

ANÁLISIS FODA

FORTALEZAS

- Contribuye al cierre de varias brechas, como el desbalance teoría-práctica, la necesidad de especialización y profundidad del conocimiento, y la dispersión de contenidos de formación.

- Tiene potencial de generar impacto positivo en las tres áreas de oportunidad (ensamble, empaque, prueba y diseño / VLSI).

- Puede rendir frutos en el corto-mediano plazo.

- Cuenta con experiencias exitosas previas en el país, que se pueden replicar y escalar, ajustando en lo necesario para alinear con el contexto especial de esta oportunidad.

- Ayuda a fortalecer la formación de estudiantes, las capacidades de docencia, y las oportunidades de colaboración en temas de generación de talento en el país.

- Al facilitar espacios de interacción de estudiantes y profesores con la industria, puede contribuir a potenciar la absorción del conocimiento especializado, abriendo las mentes al mundo de aplicaciones prácticas con que se encuentra relacionada la teoría que se aprende en las aulas.

- Podría fomentar la conformación de conglomerados educativos especializados en el sector.

DEBILIDADES / DESAFÍOS

- Hasta ahora, las experiencias en el país son acotadas y carentes de un coordinador o facilitador que articule a ambos sectores, y permita mantener el ímpetu y brindar sostenibilidad al esfuerzo, el cual debería ser continuo y sistémico.

- Los costos involucrados restringen la accesibilidad y el aprovechamiento del estudiantado y profesorado potencialmente beneficiario.

N°1 ALIANZAS INDUSTRIA-ACADEMIA (A NIVEL NACIONAL)

ANÁLISIS FODA

OPORTUNIDADES

- Interesa a los participantes de ambos sectores representados en la Mesa de Talento Humano (industria y academia)
- Cuenta con el respaldo de una visión estratégica país, dirigida a afianzar su posicionamiento de largo plazo en la cadena de semiconductores.

AMENAZAS / RIESGOS

- Depende de que las partes alcancen un acuerdo que permita superar las barreras existentes de costo de oportunidad, ya que se requiere de la dedicación de tiempo y esfuerzos de (i) expertos de la industria, sacándoles de sus actividades productivas, y (ii) docentes, sacándoles de otras responsabilidades académicas; todo lo cual puede afectar la escalabilidad y la sostenibilidad del proyecto.
- Podría concentrarse en pocos actores, limitando la amplitud de la perspectiva que obtendrían los beneficiarios, así como el impacto

N°2 ALIANZAS CON ACADEMIA INTERNACIONAL

ACCIONES RECOMENDADAS

En coordinación con actores relevantes del ecosistema (como el gobierno y la institucionalidad pública y privada al servicio de la formación), concretar alianzas con socios académicos internacionales, especializados en semiconductores y con experticia en la enseñanza de habilidades prácticas, para:

1. A través de la transferencia de conocimientos y experiencias y la adopción de buenas prácticas en el país, mejorar los planes de estudio y los cursos de laboratorio, manteniéndolos vigentes y alineados con el avance tecnológico.

2. Implementar cursos intensivos tipo bootcamps, para el entrenamiento dirigido y hecho a la medida, en competencias especializadas requeridas por la industria.

3. Negociar esquemas asociativos o de colaboración para ofrecer a estudiantes en el país cursos especializados en inglés técnico de instituciones académicas internacionales, directamente o por medios virtuales.

4. Ampliar espacios de formación de docentes en temas especializados de la industria de semiconductores.

N°2 ALIANZAS CON ACADEMIA INTERNACIONAL

ANÁLISIS FODA

FORTALEZAS

- Contribuye al cierre de varias brechas, como el desbalance teoría-práctica, la necesidad de especialización y profundidad del conocimiento, en estudiantes y docentes, y el manejo deficiente del idioma inglés.
- Tiene potencial de generar impacto positivo en las tres áreas de oportunidad (ensamble, empaque, prueba y diseño / VLSI).
- Puede rendir frutos en el corto-mediano plazo.
- Cuenta con la red de contactos que las empresas con operaciones en el país tienen, a nivel corporativo, con instituciones académicas especializadas.
- Cuenta con experiencias exitosas previas en otras industrias que operan en el país, cuyas lecciones aprendidas se pueden aprovechar para adaptar los programas propios de este sector.
- Ayuda a fortalecer la formación de estudiantes, las capacidades de docencia, y las oportunidades de colaboración en temas de generación de talento en el país.
- Podría fomentar la conformación de conglomerados educativos especializados en el sector.

DEBILIDADES / DESAFÍOS

- Depende de que instituciones académicas internacionales relevantes se interesen en la iniciativa.
- Depende de que se logre identificar a los contactos adecuados en dichas instituciones, para entablar una negociación.
- Depende de que una o varias contrapartes en Costa Rica, con capacidad de ejecución, se interesen en comprometerse con el proyecto.
- Necesita un líder o facilitador país que coordine los acercamientos, centralice los contactos y facilite las negociaciones.

N°2 ALIANZAS CON ACADEMIA INTERNACIONAL

ANÁLISIS FODA

OPORTUNIDADES

- Puede ayudar a fortalecer las capacidades de docencia en el país y su acceso constante a conocimientos de punta.
- Puede ayudar a acelerar el fortalecimiento del acervo de conocimiento tecnológico en el ecosistema nacional.
- Puede producir beneficios más allá de los actores directos de la industria y más allá de las fronteras costarricenses.
- Interesa a los participantes de ambos sectores representados en la Mesa de Talento Humano (industria y academia).
- Cuenta con el apoyo especial del gobierno de Estados Unidos, que designó a Costa Rica como aliado estratégico para fortalecer la resiliencia y el crecimiento económico de la cadena de semiconductores en las Américas.
- Ocurre en un contexto propenso para que organizaciones financieras internacionales se interesen en aportar recursos, en virtud del posicionamiento de que goza el país para convertirse en un centro de atracción de inversiones de la industria de semiconductores.
- Cuenta con el respaldo de una visión estratégica país, dirigida a afianzar su posicionamiento de largo plazo en la cadena de semiconductores.

AMENAZAS / RIESGOS

- Los costos involucrados pueden ser significativos y exigir la identificación e implementación oportuna de esquemas de financiamiento viables para concretarse.
- Según el modelo de trabajo que se establezca para la implementación, puede afrontar barreras regulatorias y/o tramitológicas.

N°3 ESPECIALIZACIONES Y CERTIFICACIONES

ACCIONES RECOMENDADAS

1. Revisar, validar y ajustar los programas de formación existentes en la actualidad, para que: (i) incorporen electivas especializadas en la industria de semiconductores y se ofrezcan en el corto plazo (implementándose en seis meses a un año); y (ii) incluyan formatos libres o accesibles a cualquier persona interesada, para contribuir a la formación continua, el reentrenamiento, y la actualización profesional, tanto de personas empleadas en el sector como de sus entrenadores o docentes.

2. Implementar cursos intensivos tipo bootcamps, para el entrenamiento dirigido, hecho a la medida, de competencias especializadas requeridas por la industria.

3. Explorar con actores del ecosistema como el gobierno, la institucionalidad pública y privada al servicio de la formación, y las empresas; opciones para desarrollar un programa de becas para: (i) brindar oportunidades para que más personas puedan acceder al estudio de contenidos especializados en el país; y (ii) habilitar el estudio en el exterior, dirigido específicamente a acelerar la formación de conocimientos muy especializados que, en el corto plazo, no cuentan con disponibilidad de oferta en el país.

4. Atraer talento especializado a corto plazo al país, para suplir faltantes en posiciones que no se logran reclutar localmente, tanto en la industria como en la academia, ofreciendo políticas migratorias propensas y paquetes de incentivos que logren competir en esta contienda.

5. Abrir oportunidades para atraer campus satélites en materias especializadas de universidades extranjeras.

6. Diseñar y poner en marcha de un programa de certificaciones puntuales para el aprendizaje continuo, tanto de personas que laboran en el sector como de sus entrenadores, que permitan formar destrezas específicas necesarias de tener para poder ganar nuevas oportunidades de negocio por las que el país compite, uniformando el manejo del lenguaje y estandarizando la enseñanza y el aprendizaje, para equiparar la calidad y el nivel de profundidad al que se logra llegar en estos temas tan especializados.

7. Generar un esquema de certificación a nivel país, para acreditar las "horas-práctica" de los estudiantes realizando las funciones requeridas para cada área.

8. Revisar los instrumentos a través de los cuales se genera oferta de formación especializada, para identificar oportunidades de mejora e implementar:

a. Nuevos modelos de formación y capacitación flexibles, que complementen los contenidos actuales de las carreras, y permitan a los estudiantes alcanzar un futuro profesional en la industria de semiconductores.

b. Fórmulas ágiles para profundizar conocimientos especializados fuera de las carreras formalmente aprobadas, vía formación técnica o programas de desarrollo profesional.

c. Mecanismos de reacción rápida a nuevos requerimientos de competencias, incluyendo certificaciones, de las industrias tecnológicas a las que el país está apostando para impulsar su desarrollo; de manera tal que se logre acelerar la respuesta y la adaptabilidad a contextos dinámicos.

N°3 ESPECIALIZACIONES Y CERTIFICACIONES

ANÁLISIS FODA

FORTALEZAS

- Impacta la meta de consolidar el posicionamiento de Costa Rica en la cadena productiva de los semiconductores, al dirigirse a atender una brecha que afecta especialmente el área de diseño/ VLSI, donde se concentran procesos de alta complejidad y valor agregado.

- También puede generar impacto en las áreas de ensamble, empaque y prueba.

- Contribuye al cierre de varias brechas, como la escasez de especialistas, la necesidad de profundizar el conocimiento, la falta de opciones para la formación continua, la dispersión de contenidos de formación, y el desbalance teoría-práctica.

- Rendiría frutos en el corto-mediano plazo.

- Ayuda a fortalecer la formación de estudiantes y las capacidades de docencia.

- Podría fomentar la conformación de conglomerados educativos especializados en el sector.

DEBILIDADES / DESAFÍOS

- Puede involucrar costos elevados, dificultando la accesibilidad y, consecuentemente, la escala del impacto.

- Se requiere la disponibilidad de docentes especializados, pero estos:
  - o Son escasos.
  - o Tienen poco acceso a oportunidades para actualizar y especializarse.
  - o Cuando son especialistas provenientes de la industria, (i) enfrentan dificultades para balancear las responsabilidades de docencia con otras obligaciones laborales; (ii) atraer y/o retenerlos es complejo debido a que las remuneraciones no son competitivas; y (iii) no cuentan con formación en habilidades pedagógicas, lo que dificulta la efectividad del aprendizaje.

- En aspectos relacionados con la formación continua, es una modalidad o instrumento que se explota poco en el país.

- Donde involucre la erogación de recursos públicos de por medio, el acceso a contenidos de oferta académica internacional se dificulta, porque deben cumplirse reglas de presupuestación y requerimientos propios del sistema de contratación administrativa, bajo una realidad que dista mucho de la de los proveedores, y hace inviable que las iniciativas se concreten.

- Algunos actores académicos no ven con buenos ojos la opción de ampliar la cobertura especializada, por considerar que puede llevar a descuidar las bases y a favorecer a un sector por encima de otros que también tienen necesidades de talento.

N°3 ESPECIALIZACIONES Y CERTIFICACIONES

ANÁLISIS FODA

OPORTUNIDADES

- Se superarían las pronunciadas curvas de aprendizaje que, durante prolongados periodos de entrenamiento, impiden insertar a los nuevos profesionales en funciones productivas, con costos significativos para las empresas y el mercado.

- Se mitigarían los elevados riesgos de que la ferocidad de la competencia para reclutar recursos calificados, ya visible en el mercado laboral, se intensifique, con efectos de encarecimiento y pérdida relativa de competitividad global.

- Aumentar los especialistas eleva el atractivo del país para la inversión, ya que la escasez de capital humano altamente calificado es un desafío compartido a nivel mundial y lleva a la industria a operar donde este se encuentra disponible.

- Los beneficios pueden ir más allá de las fronteras costarricenses.

- Hay interés de los participantes de ambos sectores representados en la Mesa de Talento Humano (industria y academia).

- Cuenta con el respaldo de una visión estratégica país, dirigida a afianzar el posicionamiento de largo plazo en la cadena de semiconductores.

- Cuenta con apoyo especial del gobierno de Estados Unidos, que designó a Costa Rica como aliado estratégico para fortalecer la resiliencia y el crecimiento económico de la cadena de semiconductores en las Américas.

AMENAZAS / RIESGOS

- El impacto depende de la existencia de un ecosistema que financie la especialización, permitiendo un acceso amplio y una participación diversificada de estudiantes, instituciones académicas, y empresas.

- La escalabilidad del proyecto depende de que las partes alcancen un acuerdo de largo plazo para superar las barreras existentes de costo de oportunidad.

- Las barreras en el sistema, que privan de la flexibilidad necesaria para desarrollar y actualizar la currícula con agilidad, rozan con la dinámica evolutiva y acelerada de la tecnología, que dicta el ritmo de las necesidades del sector en materia de talento humano.

- Los rezagos en la fuerza laboral, producto del desalineamiento con los avances tecnológicos, necesitan superarse para que el país mantenga su competitividad internacional.

- Compite con otras iniciativas orientadas al impulso de sectores estratégicos de la economía, los cuales que también requieren de recursos para su desarrollo.

N°4 LABORATORIO COMPARTIDO DE ALTA TECNOLOGÍA

ACCIONES RECOMENDADAS

En coordinación con actores relevantes del ecosistema (como el gobierno y la institucionalidad pública y privada al servicio de la formación), emprender un plan para ampliar el acceso y aprovechamiento de instrumentos para adquirir y fortalecer las competencias prácticas que demanda la industria de semiconductores, a través de:

1. La habilitación de infraestructura y puesta a disposición de uno o varios laboratorios compartidos de alta tecnología, con:

a. Equipamiento y licenciamientos especializados y alineados, en lo posible, con las tendencias tecnológicas actuales.

b. Accesibilidad para estudiantes provenientes de diferentes casas de enseñanza, como universidades públicas y privadas, colegios técnicos, Instituto Nacional de Aprendizaje y otras.

c. Condiciones para ejecutar procesos pertinentes, aplicaciones en casos de la vida real, manejos y experimentación con maquinaria sofisticada y herramientas empleadas cotidianamente por la industria.

2. La institución de políticas y planes que conduzcan a un ambiente propenso para fomentar e impulsar:

a. La investigación aplicada, el desarrollo y la co-creación, con un esquema abierto de funcionamiento que asegure la accesibilidad de actores públicos y privados e incluya la prestación de servicios a las empresas, propiciando la sostenibilidad.

b. La innovación y el emprendimiento tecnológico a nivel local, así como los encadenamientos productivos asociados.

N°4 LABORATORIO COMPARTIDO DE ALTA TECNOLOGÍA

ANÁLISIS FODA

FORTALEZAS

- Puede generar impactos fuertes en el cumplimiento de los objetivos de mejora del ecosistema de talento humano, ya que:
  - o Se enfoca en la atención de la brecha más resaltada por la industria en las tres áreas de oportunidad elegidas por el país (ensamble, empaque, prueba y diseño / VLSI): el desbalance teoría-práctica.
  - o Reúne y articula a todos los actores en una gestión que solo colectivamente puede tener viabilidad de largo plazo.

- Permite aprovechar las economías de escala.

- Fomenta la conformación de conglomerados educativos especializados en el sector.

- Contribuye al cierre de varias otras brechas, como la necesidad de profundizar el conocimiento y la accesibilidad.

- Ayuda a incrementar la competitividad estratégica del país y su atractivo para la realización de inversiones de alta tecnología.

DEBILIDADES / DESAFÍOS

- No rendiría frutos en el corto-mediano plazo.

- Involucra inversiones significativas que exigen identificar esquemas de financiamiento viables para poder concretarse y mantenerse en el tiempo.

- Depende de la articulación desde el gobierno central, para gestionar el financiamiento y la instauración del modelo de funcionamiento público-privado requerido para que sea eficaz.

- Implica poner en funcionamiento un esquema de alianza público-privada en un entorno nacional donde casi no hay ejemplos exitosos de este modelo.

- Requiere complementarse con capacitación especializada para los docentes, que les permita dar a los equipos pertinentes los usos reales que les da la industria en sus operaciones cotidianas, incluyendo salarios competitivos para su retención en los sistemas de formación.

N°4 LABORATORIO COMPARTIDO DE ALTA TECNOLOGÍA

ANÁLISIS FODA

OPORTUNIDADES

- Puede potenciar las sinergias ecosistémicas e impactar positivamente las necesidades de talento de otras industrias.

- Propicia la innovación y el emprendimiento local, así como la potencialidad del encadenamiento productivo, impulsando el desarrollo de un ecosistema tecnológico robusto en el país.

- Minimiza los efectos de las pronunciadas curvas de aprendizaje que impiden la inserción en funciones productivas durante prolongados periodos de entrenamiento, con costos significativos para las empresas y el mercado.

- Minimiza el riesgo de cometer errores en la operación de equipos sofisticados y costosos, comprometiendo tiempos de entrega y poniendo en peligro la ejecución de los procesos, la calidad de los productos y la seguridad de las personas.

- Ayuda a fortalecer las capacidades de docencia.

- Puede producir beneficios mucho más allá de los actores directos de la industria y mucho más allá de las fronteras costarricenses.

- xto propenso para que organizaciones financieras internacionales se interesen en aportar recursos, en virtud del posicionamiento de que goza el país para convertirse en un centro de atracción de inversiones de la industria de semiconductores.

AMENAZAS / RIESGOS

- Necesita de un esquema apropiado para garantizar la sostenibilidad.

- Por el involucramiento de actores públicos y privados, necesario para que sea costo-efectivo y logre los impactos deseados, puede afrontar barreras regulatorias y/o tramitológicas, según el modelo de trabajo que se establezca para la implementación.

- Al vincularse con el impulso prioritario de un sector específico de la economía, podría estar expuesto a presiones para priorizar otras iniciativas de rédito más inmediato.

N°4 LABORATORIO COMPARTIDO DE ALTA TECNOLOGÍA

ANÁLISIS FODA

OPORTUNIDADES

- Hay interés de los participantes de ambos sectores representados en la Mesa de Talento Humano (industria y academia).
- Cuenta con el respaldo de una visión estratégica país, dirigida a afianzar el posicionamiento de largo plazo en la cadena de semiconductores.
- Cuenta con apoyo especial del gobierno de Estados Unidos, que designó a Costa Rica como aliado estratégico para fortalecer la resiliencia y el crecimiento económico de la cadena de semiconductores en las Américas.

AMENAZAS / RIESGOS

N°5 TALENTO TÉCNICO-PROFESIONAL

ACCIONES RECOMENDADAS

En coordinación con actores relevantes del ecosistema (como el gobierno y la institucionalidad pública y privada al servicio de la formación), emprender un plan para:

1. Concretar alianzas con actores del sistema de community colleges que han puesto en marcha programas exitosos de formación técnica rápida en Estados Unidos, para fortalecer las capacidades especializadas en semiconductores que emergen del sistema de educación técnica-profesional en Costa Rica, a través de:

a. Intercambios de experiencias que permitan aprender de buenas prácticas y lecciones obtenidas en los procesos de implementación de estos modelos, incluyendo los esquemas adoptados para su sostenibilidad.

b. Asistencia técnica para viabilizar la implementación de un modelo similar en el país, incorporando las adaptaciones necesarias para que sea consistente con las características del ecosistema nacional.

c. Exploración de oportunidades de cooperación internacional, para potenciar las posibilidades de escalar la oferta en la región.

d. Formación de docentes en temas especializados de la industria de semiconductores.

2. Explorar con actores del ecosistema como el gobierno, la institucionalidad pública y privada al servicio de la formación, y las empresas, opciones para desarrollar un programa de becas que brinde oportunidad para que más personas puedan acceder al estudio de contenidos especializados en programas de educación y formación técnica-profesional en el país.

3. Habilitar condiciones adecuadas para que los actores interesados del sistema de educación y formación técnica-profesional puedan participar efectivamente en:

a. El programa anual de colaboración integral de la industria de semiconductores y las instituciones académicas nacionales, incluyendo pasantías y prácticas estudiantiles y de profesores en las empresas, visitas de campo puntuales, coordinadas con las empresas, para conocer sus operaciones, cursos intensivos para grupos de estudiantes, exponiéndolos al uso práctico de los equipos que utiliza la industria, proyectos de investigación aplicada, integrales o específicos a un área de interés, y participación de expertos de la industria como profesores invitados.

b. Cursos intensivos tipo bootcamps, para el entrenamiento dirigido y hecho a la medida, en competencias especializadas requeridas por la industria.

c. Cursos especializados en inglés técnico de instituciones académicas internacionales, directamente o por medios virtuales.

N°5 TALENTO TÉCNICO-PROFESIONAL

ANÁLISIS FODA

FORTALEZAS

- Puede rendir frutos en el corto-mediano plazo.
- Es menos costoso, en términos de inversión financiera y de tiempo.
- Cuenta con los enfoques metodológicos, análisis y aprendizajes de este proyecto, como insumos de base para facilitar el alcance de resultados más rápidos.

DEBILIDADES / DESAFÍOS

- Las instituciones del sistema de educación y formación técnica-profesional, las cuales se necesitaría involucrar en la iniciativa para que genere el impacto deseado, luchan constantemente contra limitantes de recursos que con frecuencia inhiben su participación en proyectos estratégicos como el pretendido.
- Se requiere identificar a los contactos adecuados en dichas instituciones, para realizar el trabajo.
- Se necesita del interés de la industria para dedicar tiempo a la revisión y validación de componentes emergentes del proceso que lo demanden.
- Se necesita un coordinador que articule a los actores y mantenga el ímpetu, para alcanzar la meta.

OPORTUNIDADES

- Ayudaría a agilizar la inversión de tiempo y dinero que la industria actualmente realiza (de nueve meses a un año) para nivelar conocimientos, antes de ingresar a las personas reclutadas en las funciones productivas para las que son contratadas.
- Al acelerar la formación pertinente, amplía la escala y diversidad de recursos disponibles de donde reclutar puestos emergentes.

AMENAZAS / RIESGOS

- Las oportunidades de inserción y desarrollo en el mercado laboral para esta población dependen fuertemente de que se tenga un dominio del idioma inglés.

OPORTUNIDADES		AMENAZAS / RIESGOS
• La demanda de perfiles técnico-profesionales en el sector de semiconductores proyecta una curva de crecimiento pronunciada en los próximos años. • Se cuenta con el respaldo de una visión estratégica país, dirigida a afianzar su posicionamiento de largo plazo en la cadena de semiconductores.		

N°6 ATENCIÓN DE TEMAS SISTÉMICOS O ESTRUCTURALES

ACCIONES RECOMENDADAS

Aprovechar la legitimidad y fuerza que da la conformación tripartita de la Mesa de Talento Humano (representantes de la industria, academia y sociedad civil reunidos con un fin común), para impulsar acercamientos con actores relevantes del ecosistema que permitan incidir positivamente en la atención de retos estructurales urgentes, identificados por este estudio como inhibidores del desarrollo de largo plazo, incluyendo la orientación vocacional para atraer a más estudiantes hacia las áreas STEM, el fortalecimiento de las habilidades blandas, y el manejo del idioma inglés.

N°6 ATENCIÓN DE TEMAS SISTÉMICOS O ESTRUCTURALES

ANÁLISIS FODA

FORTALEZAS

- Cuenta con la legitimación de una Mesa de Talento Humano motivada en trabajar en el fortalecimiento de este ecosistema.

DEBILIDADES / DESAFÍOS

- Es un reto de larga data que no puede generar resultados o impactos en el corto plazo.
- Está muy relacionado con la docencia, la cual afronta fuertes desafíos en recursos y restricciones de acceso a medios de formación continua y actualización de conocimientos.

OPORTUNIDADES

- Ocurre en un contexto propenso para que: (i) organizaciones internacionales expertas aporten asistencia técnica y experiencias de buenas prácticas y modelos exitosos para la atención de retos sistémicos en materia de educación; y (ii) organizaciones financieras internacionales se interesen en aportar recursos, en virtud del posicionamiento de que goza el país para convertirse en un centro de atracción de inversiones de la industria de semiconductores.
- Se cuenta con el respaldo de una visión estratégica país, dirigida a afianzar su posicionamiento de largo plazo en la cadena de semiconductores.

AMENAZAS / RIESGOS

- Como lo han señalado organismos especializados evaluadores reiteradamente, hace necesario alcanzar consensos mínimos entre los actores involucrados, para que las reformas que necesita el sistema se adopten e implementen con éxito, y se sometan a actualización constante.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio tiene rasgos propios que lo distinguen de otros de su especie. Particularmente, ofrece datos y hallazgos que surgen de la fuente directamente involucrada e impactada en el tema objeto de análisis: las empresas de la industria de semiconductores. Cuenta, además, con la concurrencia de la academia que brinda los servicios de formación requeridos, así como un mecanismo de diálogo entre ambas partes, propenso para monitorear y dar seguimiento y continuidad a cualquier esfuerzo de implementación que se decida llevar a cabo, aprovechando sus hallazgos.

A nivel de resultados, el examen de brechas de talento humano existentes en el sector confirma que hay una presencia importante de ellas. Pero, a la vez, revela que: (i) las posibles rutas que se pueden poner en marcha para atender las limitantes que dificultan el crecimiento que la industria busca son múltiples; y, (ii) consecuentemente, las posibilidades de atraer al país oportunidades valiosas de desarrollo para los habitantes están al alcance de su activación.

Las líneas de acción clave identificadas se seleccionaron a partir de la aplicación de un análisis de fortalezas, debilidades o desafíos, oportunidades, y amenazas o riesgos (FODA). Lo anterior permite ofrecer una recomendación que surge de los expertos de la industria y academia para reducir las brechas. Este, justamente, es el objetivo final al que aspira este estudio: aportar un insumo de alto nivel para la toma de decisiones, con opciones viables de fortalecimiento del ecosistema de talento humano, que redundarían en el posicionamiento reforzado de Costa Rica en la cadena de valor de semiconductores.

Es importante aclarar que, aunque las acciones clave propuestas se centran en recomendaciones no directamente relacionadas con los desafíos estructurales del país -mencionados de diversas formas a lo largo del estudio-, esto no disminuye la urgencia de abordar dichos retos. Por el contrario, se considera esencial que, paralelamente a las iniciativas específicas propuestas por este proyecto, se mantenga un esfuerzo vigoroso para fortalecer las bases de conocimiento y habilidades de los estudiantes. Este esfuerzo debe enfocarse particularmente en las áreas STEM, el dominio del inglés y las competencias blandas, identificadas como cruciales para la inserción y permanencia exitosa en el mercado laboral del sector de semiconductores.

Finalmente, este estudio recomienda aprovechar el modelo exitoso utilizado en su desarrollo para la implementación, monitoreo y seguimiento de las iniciativas destinadas a fortalecer el ecosistema de talento. La configuración tripartita, que integra al sector empresarial, académico y organizaciones de la sociedad civil en la facilitación y coordinación de esfuerzos, aporta un valor especial que legitima los resultados y proporciona una base sólida para la continuidad a corto, mediano y largo plazo. En un contexto que demanda impactos rápidos y precisos, esta estructura se presenta como idónea para continuar el trabajo como una etapa lógica subsecuente del proceso iniciado hace poco más de tres meses por los impulsores de este proyecto.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRONSTAD, S. "Semiconductor Device Programming (White Paper)," BPM Microsystems, 12 enero 2023. Consultado en mayo 2024, disponible en https://bpmmicro.com/white-paper-semiconductor-device-programming/.

COMPANIESMARKETCAP.COM. Consultado en mayo 2024, disponible en https://companiesmarketcap.com/semiconductors/largest-semiconductor-companies-by-market-cap/.

EBBERS, S. "Why is there a global labor shortage?" RANDSTAD, 20 febrero 2024. Consultado en mayo 2024, disponible en https://www.randstad.com/workforce-insights/talent-acquisition/why-there-a-global-labor-shortage/.

HIPATIA. "Graduados según área y subárea de ciencia y tecnología (absolutos)." Consultado en mayo 2024, disponible en https://hipatia.cr/dashboard/talento-profesional.

KENNEDY, T. "Costa Rica again tops list of FDI overachievers," fDi Intelligence-Financial Times, 21 junio 2023. Consultado en mayo 2024, disponible en https://www.fdiintelligence.com/content/data-trends/costa-rica-again-tops-list-of-fdi-overachievers-82539.

LINKEDIN. "How can you effectively use data visualization for semiconductor device performance metrics?" Consultado en mayo 2024, disponible en https://www.linkedin.com/advice/0/how-can-you-effectively-use-data-visualization-medjc.

MCKINSEY 2024a. "How semiconductor companies can fill the expanding talent gap." MCKINSEY & COMPANY, 2 febrero 2024. Consultado en mayo y junio 2024, disponible en https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/how-semiconductor-companies-can-fill-the-expanding-talent-gap.

MCKINSEY 2024b. "New tactics for new talent: Closing US semiconductor labor gaps." MCKINSEY & COMPANY, 10 mayo 2024. Consultado en mayo y junio 2024, disponible en https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/new-tactics-for-new-talent-closing-us-semiconductor-labor-gaps.

MCKINSEY. "How semiconductor companies can fill the expanding talent gap," MCK, febrero 2024. Consultado en mayo 2024, disponible en https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/how-semiconductor-companies-can-fill-the-expanding-talent-gap.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN PÚBLICA DE COSTA RICA-MEP. Informe Nacional Pruebas Nacionales FARO: Primaria-Secundaria, II semestre-2021. --1. ed.-- Dirección de Gestión y Evaluación de la Calidad del Departamento de Evaluación Académica y Certificación del MEP, 2022. Consultado en junio 2024, disponible en https://dgecold.mep.go.cr/sites/all/files/dgec_mep_go_cr/documentos/informe_nacional_pruebas_nacionales_faro_2021.pdf.

MIT TECHNOLOGY REVIEW. "New approaches to the tech talent shortage." MIT TECHNOLOGY REVIEW | INSIGHTS, in partnership with HCL TECH, 21 setiembre 2023. Consultado en junio 2024, disponible en https://www.technologyreview.com/2023/09/21/1079695/new-approaches-to-the-tech-talent-shortage/.

PALMA, R., et. al. "The Growing Challenge of Semiconductor Design Leadership." SIA & BOSTON CONSULTING GROUP, noviembre 2022. Consultado en marzo 2024, disponible en https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2022/11/2022_The-Growing-Challenge-of-Semiconductor-Design-Leadership_FINAL.pdf.

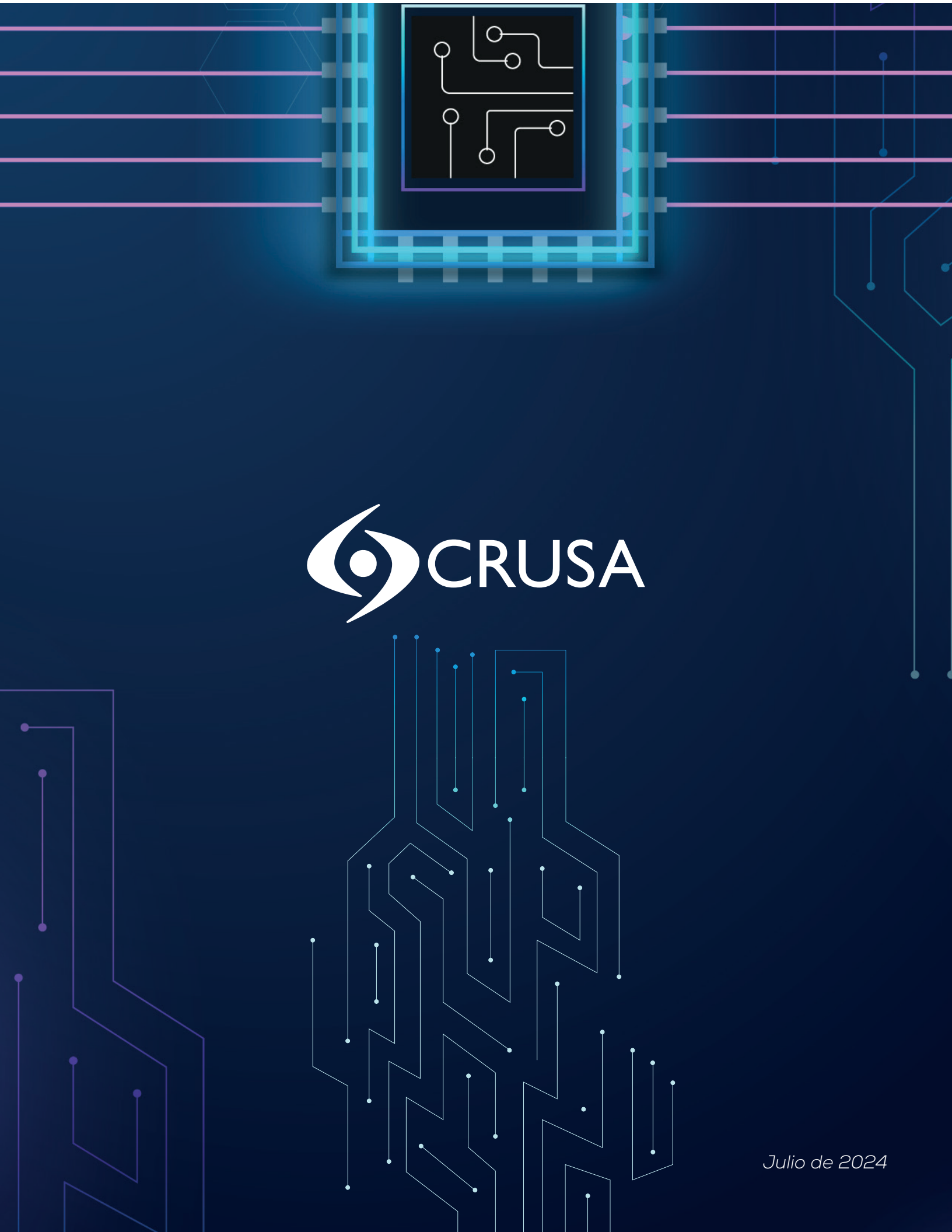
PROGRAMA ESTADO DE LA NACIÓN/CONARE. Noveno Estado de la Educación 2023. PEN/CONARE, 31 agosto 2023. Consultado en junio 2024, disponible en https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/8544/PEN_Noveno_Informe_estado_educacion_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

SENADO DE ESTADOS UNIDOS. "Developing Next Generation Technology for Innovation." U.S. Senate Committee on Commerce, Science, & Transportation hearing, 23 marzo 2022. Consultado en junio 2024, disponible en https://www.commerce.senate.gov/2022/3/developing-next-generation-technology-for-innovation.

SIA. "Chipping Away: Assessing and Addressing the Labor Market Gap Facing the U.S. Semiconductor Industry." SIA & OXFORD ECONOMICS, julio 2023. Consultado en marzo 2024, disponible en https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2023/07/SIA_July2023_ChippingAway_website.pdf.

SIA. "Chipping Away: Assessing and Addressing the Labor Market Gap Facing the U.S. Semiconductor Industry." SIA & OXFORD ECONOMICS, julio 2023. Consultado en marzo y junio 2024, disponible en https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2023/07/SIA_July2023_ChippingAway_website.pdf.

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR (SINAES), GESTIÓN DE INFORMACIÓN. "Lista de acreditaciones y reacreditaciones 2001-2022 (VIGENTES-actualización realizada a partir del Acta 1636-2022 de 18 de noviembre del 2022, acuerdo comunicado internamente el 25 de noviembre del 2022)." Consultado en mayo 2024, disponible en https://aurens.rocks/lista-sinaes.


CRUSA
Julio de 2024