



DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Comercial

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

**LA CADENA DE VALOR INDUSTRIAL EN LA
ELABORACIÓN DE CHIPS SEMICONDUCTORES: CHILE Y
SU POSIBLE APOORTE CON SERVICIOS DE VALOR
AGREGADO.**

Tesina de Grado presentada por

ANGELINA SASSI ORTIZ

Como requisito para optar al grado de

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Guía de Tesina Ph. D. CLAUDIO SAAVEDRA G.

Septiembre de 2023

TÍTULO DE TESINA: LA CADENA DE VALOR INDUSTRIAL EN LA ELABORACIÓN DE CHIPS SEMICONDUCTORES: CHILE Y SU POSIBLE APOORTE CON SERVICIOS DE VALOR AGREGADO.

AUTOR: ANGELINA SASSI ORTIZ

TRABAJO DE TESINA, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA, Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBSERVACIONES: _____.

COMISIÓN DE TESINA:

-
-
-

Santiago, Septiembre 2023

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

ANGELINA SASSI ORTIZ

SEPTIEMBRE 2023.

Resumen Ejecutivo

La industria de los microchips es un pilar fundamental en la economía global, impulsando avances tecnológicos en una amplia gama de sectores, desde la electrónica de consumo hasta la medicina y la inteligencia artificial. Es un mercado que se estima crezca a tasas entre el 6% y 8%, esperando una proyección de tamaño de mercado global al año 2025 de 737 mil millones de dólares.

Por lo mismo, el objetivo de este trabajo es analizar la situación actual de la cadena de valor industrial de los microchips a nivel global y en Chile, identificar las oportunidades y desafíos para el desarrollo de actividades dentro de la cadena industrial, además de proponer estrategias y recomendaciones para el fortalecimiento y crecimiento de estos posibles emprendimientos.

Para comprender la situación actual del mercado de los microchips, tanto global como de Chile, se realizó una investigación bibliográfica exhaustiva, y se entrevistó a tres expertos en microelectrónica. El común denominador encontrado es que actualmente Chile no estaría formando suficientes profesionales con los conocimientos suficientes para especializarse en el diseño de microchips, sino que deben realizar estudios de postgrado en el extranjero, lo cual termina en la mayoría de los casos en una fuga de talento.

Se propone desarrollar programas de formación académica y actualización en colaboración con empresas y centros de investigación líderes en la industria, que permitiría a Chile formar parte de la cadena de suministro global de microchips al mejorar significativamente las habilidades y competencias de los profesionales locales en el diseño de circuitos integrados. Al contar con profesionales capacitados y actualizados en las últimas tecnologías y tendencias en el diseño de microchips, Chile estaría en condiciones de ofrecer servicios de diseño especializado y de alta calidad a nivel internacional, posicionándose como un actor a considerar en la industria global.

Índice

Resumen Ejecutivo	4
Introducción	7
Origen y propósito del estudio	8
Objetivos	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
Alcance del estudio	10
Metodología de Trabajo	11
Estado del Arte	12
Antecedente del Estado del Arte	12
Marco Teórico del Estado del Arte	13
Microchips y su evolución	13
Tipos de microchips	17
La fabricación de los microchips	18
Diseño	19
Fabricación de obleas	19
Fotolitografía	21
Grabado	22
Depósito de capas	23
Difusión	23
Encapsulamiento	24
Pruebas finales	26
Prueba de obleas	27
Prueba final de paquete	27
Escases en el suministro de microchips	29
La cadena de suministro de los microchips y sus implicaciones sociales, ambientales y económicas	35
El proceso de diseño de microchips y su papel en la cadena de valor industrial.	36
La situación actual de la industria de microchips en Chile y las oportunidades de crecimiento y desarrollo	39
Desarrollo de la propuesta	42
Introducción al diseño de microchips	42

Recursos necesarios para iniciar una actividad organizacional en el diseño de microchips.....	43
Proceso de diseño de microchips y sus etapas	45
Especificaciones del diseño	46
Diseño conceptual.....	48
Diseño detallado	49
Empresa Synopsis: una oportunidad en Chile	51
Entrevista a experto 1 (Agustín González)	53
Entrevista a experto 2 (Jorge Marín)	55
Entrevista a experto 3 (Ángel Abusleme).....	57
Conclusiones preliminares de entrevistas.....	59
Propuesta	61
Conclusiones.....	65
Bibliografía	66

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Uso de los microchips	16
Ilustración 2 Cristal único de Silicio y obleas de Silicio	20
Ilustración 3 Obleas de Silicio	20
Ilustración 4 Placa de silicio posterior a la litografía	22
Ilustración 5 Tamaño del mercado de semiconductores a nivel mundial en 2020 y 2030, por destino de uso (en miles de millones de dólares).	30
Ilustración 6 Ingresos de las empresas de diseño de circuitos integrados sin fábrica a nivel mundial de 2017 a 2022 (en miles de millones de dólares).	38
Ilustración 7 Tabla con los aspectos más relevantes al momento de evaluar tener un Design House de microchips en Chile.....	64

Introducción

Un microchip, también conocido como circuito integrado, es un componente electrónico que se utiliza en la mayoría de los dispositivos electrónicos modernos, y su importancia en la era digital es incuestionable, ya que forman la base de la mayoría de los dispositivos electrónicos que utilizamos en nuestra vida cotidiana.

Una de las principales externalidades de la cadena industrial de los microchips es la generación de empleo de alta calidad en servicios de valor agregado, y los importantes aportes económicos que se generan en los países que participan de esta cadena, con un tamaño de mercado en el año 2022 de 619 mil millones de dólares.

Esta cadena involucra distintas etapas, tales como el diseño, la fabricación, el ensamblaje y la prueba. El diseño es la primera etapa y es fundamental, ya que determina las características y funcionalidades del microchip, y requiere de mano de obra altamente capacitada en diversas áreas, como la ingeniería electrónica, la microelectrónica, la programación y la tecnología de la información.

La literatura relevante destaca la importancia del diseño en la cadena industrial de los microchips, así como la necesidad de una cadena de suministro eficiente y sostenible. En Chile se han desarrollado iniciativas y proyectos de investigación, tanto en Universidades como en centros de investigación, enfocados en el diseño de microchips para distintas aplicaciones. Por lo mismo, la presente tesis busca responder si el diseño de microchips es, en sí misma, una industria atractiva para desarrollar en Chile.

El objetivo de este trabajo es analizar la situación actual de la cadena de valor industrial de los microchips a nivel global y en Chile, identificar las oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor industrial de los microchips en Chile, además de proponer estrategias y recomendaciones para el fortalecimiento y crecimiento de la cadena industrial de los microchips en Chile.

Origen y propósito del estudio

La cadena de valor industrial en la elaboración de microchips es de vital importancia para el desarrollo humano no solo debido a sus funcionalidades finales, sino también a que se compone de un amplio network multiindustrial (García-Muñoz, R. & Díaz-Vilariño, L. 2020). Los microchips son componentes clave para el procesamiento de datos a alta escala, precisión y velocidad. En el día a día, los microchips hacen posible las funciones de smartphones, computadores personales y organizacionales, electrodomésticos y vehículos, entre otros.

Uno de los principales beneficios de la cadena industrial de los microchips es la generación de empleo de alta calidad en servicios de valor agregado. Por ejemplo, el diseño de un microchip requiere de mano de obra altamente capacitada en diversas áreas, como la ingeniería electrónica, la microelectrónica, la programación y la tecnología de la información (Carrasco & Velásquez, P 2019). Por lo mismo, la presente tesis busca responder si el diseño de microchips es en sí misma una industria atractiva para desarrollar en Chile.

El propósito del presente estudio es analizar metodológicamente la cadena de valor industrial de elaboración de microchips, e investigar y concluir sobre la pregunta anteriormente planteada.

Desde una perspectiva económica, se buscará analizar cómo el aporte de Chile en la cadena industrial de los microchips puede ser beneficioso para el desarrollo económico del país. En este sentido, se analizará cómo el diseño de microchips puede crear una nueva industria, nuevas fuentes de buenos ingresos y aumentar la oferta y demanda de formación académica de alto valor tecnológico.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la situación actual de la cadena de valor industrial de los microchips a nivel global y en Chile, identificar las oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor industrial de los microchips en Chile, además de proponer estrategias y recomendaciones para el fortalecimiento y crecimiento de la cadena industrial de los microchips en Chile.

Objetivos Específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Identificar y analizar a los participantes de la cadena de valor industrial de los microchips a nivel global, incluyendo a fabricantes y servicios.
2. Evaluar el potencial de Chile para participar como oferente de servicio (diseño de microchips), identificando la oferta actual, historia de la actividad y potencial.
3. Si el objetivo 2 resulta positivo, proponer ideas iniciales para lanzar la industria en Chile.

Alcance del estudio

En general, el alcance de la tesina se enfocará en el análisis de la cadena de valor industrial de los microchips a nivel global y en Chile, y en la identificación de oportunidades y desafíos para el desarrollo de esta cadena en nuestro país.

El estudio abarca diferentes aspectos técnicos y tecnológicos, en el diseño de los microchips y el papel de Chile en dicha cadena, las tendencias y perspectivas del mercado global de microchips, la evolución de las tecnologías y los procesos en el trazado de los bosquejos para la cadena industrial de los microchips, entre otros. Además, el estudio contempla aspectos económicos y sociales, como el desarrollo intelectual de profesionales, una nueva industria de servicios bien remunerados y todo el desarrollo humano que viene a consecuencia.

En términos más específicos, el alcance del estudio podría comprender los siguientes aspectos:

- **Análisis de la cadena industrial de los microchips global:** Este análisis podría incluir la identificación de los actores relevantes en la cadena, como las empresas encargadas de reconocer las necesidades actuales y diseñar procesadores adecuados para dicha demanda.
- **Identificación de oportunidades y desafíos para el diseño microchips en Chile:** determinar brechas de demanda global. Investigar oferta académica y empresarial local.
- **Análisis del potencial de la industria de diseño de microchips en Chile:** investigar la experiencia que hay en Chile en cuanto a diseño de microchips mediante entrevistas con expertos en microelectrónica, y con esa información analizar si existen oportunidades reales de desarrollar design houses de microchips en Chile, cuáles serían las dificultades a las que se enfrentarían, y qué beneficios que se podrían obtener.

Metodología de Trabajo

En primer lugar, se realizará una revisión bibliográfica exhaustiva de la literatura científica, industrial y técnica sobre el tema. Esta revisión permitirá conocer en detalle la evolución histórica de la industria de los microchips, sus principales características, actores y desafíos, así como los avances y tendencias más recientes.

Una vez que se tenga una visión general del tema, se procederá a definir las preguntas de investigación y los objetivos específicos de la tesina, en función de los cuales se diseñará el plan de trabajo. El objetivo principal de la tesina es analizar el aporte que puede hacer Chile en la cadena de valor de elaboración de chips semiconductores.

En segundo lugar, se llevará a cabo una investigación cualitativa mediante entrevistas a expertos y actores clave en el campo de la microelectrónica nacional, incluyendo representantes de empresas del sector, investigadores y académicos. Estas entrevistas permitirán obtener información de primera mano sobre la situación actual de la industria, los desafíos que enfrenta, las oportunidades que existen y el papel que podría jugar Chile en este contexto.

Finalmente, se empleará una metodología cuantitativa para analizar la situación actual de la industria de los microchips en Chile, así como su potencial de desarrollo. Para ello se recopilará información de diversas fuentes, incluyendo estadísticas oficiales, informes sectoriales y estudios de mercado. Con esta información se elaborarán gráficos y tablas que permitan visualizar la situación actual y proyectar posibles escenarios de desarrollo futuro.

Estado del Arte

El estado del arte en la cadena industrial de los microchips es esencial para entender la situación actual del sector y cómo se ha desarrollado a lo largo del tiempo. La industria de los microchips ha experimentado una evolución constante desde su inicio en la década de 1960, y actualmente es uno de los sectores más importantes de la sociedad y economía global, con un tamaño de mercado en el año 2022 de 619 mil millones de dólares, y una proyección al 2025 de 737 mil millones de dólares, lo que implica un crecimiento del 19,1% (Statista, 2023)

Antecedente del Estado del Arte

En la actualidad, la industria de los microchips es liderada por empresas de países como Estados Unidos, China, Taiwán, Corea y Japón, que cuentan con importantes recursos para la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías.

En cuanto a la cadena industrial de los microchips, ésta involucra distintas etapas, tales como el diseño, la fabricación, el ensamblaje y la prueba. El diseño es la primera etapa y es fundamental, ya que determina las características y funcionalidades del microchip. En este sentido, existen diversas metodologías y herramientas de diseño de microchips, que han sido desarrolladas en los últimos años. Una de las más utilizadas es la tecnología de diseño asistido por computadora (CAD), que permite la simulación y verificación de los diseños antes de su fabricación.

La literatura relevante destaca la importancia del diseño en la cadena industrial de los microchips, así como la necesidad de una cadena de suministro eficiente y sostenible.

Desde la perspectiva de Chile, existe una oportunidad para aportar en la cadena industrial de los microchips, específicamente desde el punto de vista del diseño. En

este sentido, se han desarrollado iniciativas y proyectos de investigación en universidades y centros de investigación, enfocados en el diseño de microchips para distintas aplicaciones, como es el caso de investigadores y estudiantes del Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (AC3E por sus siglas en inglés) de la Universidad Técnica Federico Santa María (USM) (AC3E, 2022)

Chile cuenta con ventajas comparativas como la disponibilidad de recursos naturales y energéticos, un sistema de educación de alta calidad y un entorno favorable para la investigación y el emprendimiento. Todo esto, junto con la disponibilidad de herramientas de diseño y simulación accesibles en inversión, hacen de Chile un potencial actor a desarrollar en el diseño de microchips.

Marco Teórico del Estado del Arte

Microchips y su evolución

Un microchip, también conocido como circuito integrado, es un componente electrónico que se utiliza en la mayoría de los dispositivos electrónicos modernos, desde teléfonos móviles hasta sistemas de control de tráfico aéreo (Banafa, 2022).

Esencialmente, un microchip es una pequeña pieza de material semiconductor, como el silicio, que contiene miles o incluso millones de componentes electrónicos, como transistores¹, diodos² y resistencias³, integrados en su superficie.

El primer microchip fue desarrollado en 1958 por Jack Kilby de Texas Instruments y Robert Noyce de Fairchild Semiconductor (Bellis, 2021). Este primer chip contenía

¹ Es un componente electrónico que se utiliza para amplificar y conmutar señales eléctricas.

² Es un componente electrónico que permite el paso de corriente eléctrica en una sola dirección

³ Es un componente electrónico que se utiliza para limitar el flujo de corriente eléctrica en un circuito

sólo unos pocos componentes, pero sentó las bases para el desarrollo de chips más avanzados en las décadas siguientes.

En la década de 1960, la industria de los semiconductores comenzó a crecer rápidamente, y los microchips se convirtieron en un componente esencial en muchos productos electrónicos, desde calculadoras hasta sistemas de control de procesos industriales (Fegan, 2020). En los años 70 y 80, la industria se centró en mejorar la capacidad de procesamiento y la memoria de los chips, lo que llevó al desarrollo de la memoria RAM y de los microprocesadores, que permitieron el desarrollo de computadores personales.

Los microchips han sido fundamentales en el desarrollo de la memoria RAM, ya que permiten la integración de una gran cantidad de circuitos electrónicos en un solo chip. La memoria RAM, o “Random Access Memory”, es un tipo de memoria que permite a una computadora acceder rápidamente a datos almacenados para su procesamiento.

La importancia de los microchips en la era digital es incuestionable, ya que forman la base de la mayoría de los dispositivos electrónicos que utilizamos en nuestra vida cotidiana. En 2021, varias industrias experimentaron un rápido crecimiento gracias a la creciente demanda de tecnologías avanzadas y digitalización, lo que llevó a una mayor demanda de microchips.

La industria de los smartphones es uno de los sectores que experimentó un enorme crecimiento en 2021. Los microchips son esenciales para el funcionamiento de estos dispositivos, ya que permiten la ejecución de aplicaciones y la realización de llamadas telefónicas y conexiones a internet.

Otra industria que experimentó un gran auge en 2021 fue la del automóvil eléctrico y la conducción autónoma. Los microchips son clave en estos vehículos, ya que gestionan aspectos como el control del motor, la navegación, la carga de la batería y la comunicación con infraestructuras y otros vehículos.

La industria de los videojuegos también depende en gran medida de los microchips. Con el lanzamiento de nuevas consolas y la creciente popularidad de los juegos en

línea y en dispositivos móviles, la demanda de microchips avanzados aumentó en 2021.

Los avances en inteligencia artificial y aprendizaje automático también impulsaron la demanda de microchips en 2021. Estas tecnologías requieren una gran cantidad de capacidad de procesamiento y, en consecuencia, la necesidad de chips más potentes.

La creciente adopción del Internet de las Cosas (IoT) en 2021 generó una mayor demanda de microchips en industrias como la domótica, la atención médica y la agricultura. Los dispositivos IoT requieren chips para conectarse a internet y recopilar datos en tiempo real.

La escasez de microchips en 2021 impactó significativamente en la cadena global de suministro. La interrupción de la producción de microchips debido a la pandemia de COVID-19 y las tensiones comerciales entre Estados Unidos y China contribuyeron a la escasez.

La industria automotriz fue una de las más afectadas por la escasez de microchips en 2021. La falta de componentes clave obligó a los fabricantes de automóviles a reducir la producción, lo que resultó en una menor oferta y mayores precios para los consumidores.

Los fabricantes de dispositivos electrónicos, como smartphones y computadores portátiles, también enfrentaron dificultades debido a la escasez de microchips. Esto condujo a retrasos en los lanzamientos de nuevos productos y a una mayor competencia por los recursos limitados.

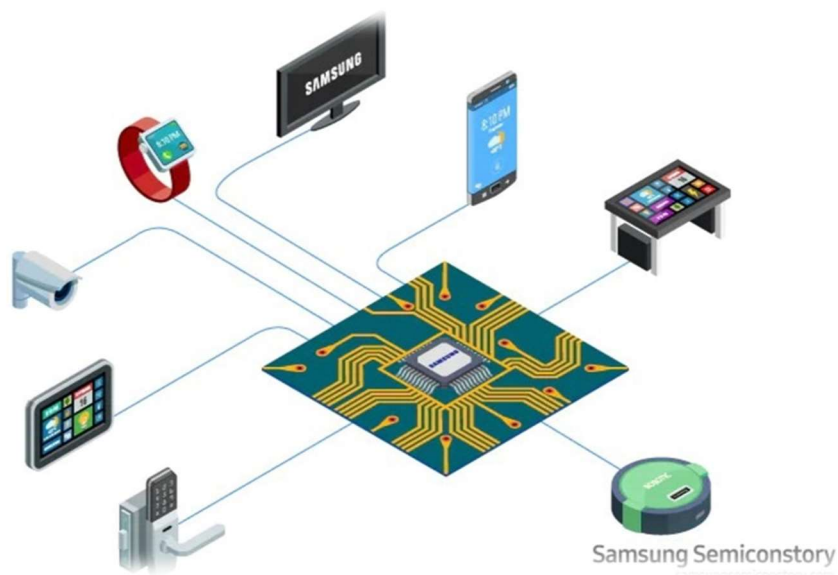
La escasez de microchips también afectó a la industria de la electrónica de consumo, como televisores y dispositivos de audio. Esto resultó en una menor disponibilidad de productos y un aumento en los precios.

Las empresas de tecnología que dependían de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático también se vieron afectadas por la escasez de microchips. La falta de chips de alto rendimiento frenó la investigación y el desarrollo en estos campos.

La industria de la energía renovable y la infraestructura de red inteligente también se vieron impactadas por la escasez de microchips en 2021. Los microchips son necesarios para el monitoreo y control de sistemas de energía solar y eólica, así como para el funcionamiento eficiente de las redes eléctricas inteligentes. La falta de componentes retrasó proyectos y aumentó los costos en este sector.

La industria de la robótica y la automatización industrial también enfrentó desafíos debido a la escasez de microchips en 2021. Los robots y sistemas automatizados requieren microchips para realizar tareas precisas y complejas. La falta de chips disponibles limitó la capacidad de expansión y desarrollo de nuevas soluciones en esta industria.

Ilustración 1 Uso de los microchips



Nota: Ilustración tomada de “Samung” “Part 1: What is a Wafer” Disponible en: <https://semiconductor.samsung.com/support/tools-resources/fabrication-process/eight-essential-semiconductor-fabrication-processes-part-1-what-is-a-wafer/> [Consultado el 26 de marzo de 2023]

Con la llegada de los microchips, fue posible integrar una gran cantidad de transistores, diodos y otros componentes en un solo chip, lo que permitió la producción de una memoria RAM más pequeña, rápida y económica (ASML, 2022).

Con el paso del tiempo, los avances en la tecnología de los microchips han permitido la producción de memorias RAM cada vez más avanzadas, capaces de manejar grandes cantidades de datos a velocidades cada vez mayores. Actualmente, la memoria RAM se produce en una amplia gama de tamaños y velocidades, lo que permite que los ordenadores y otros dispositivos electrónicos funcionen de manera más eficiente y rápida.

Tipos de microchips

Es importante entender estos diferentes tipos de chips y sus funciones para poder entender su importancia en la tecnología moderna.

Los chips lógicos son los componentes electrónicos que realizan operaciones lógicas en un sistema digital. Estos chips se utilizan para procesar información y ejecutar instrucciones en un microprocesador. Ejemplos de chips lógicos incluyen la unidad aritmética y lógica (ALU), la unidad de control (CU) y la memoria caché. Los chips lógicos son esenciales para el funcionamiento de cualquier dispositivo electrónico, desde una computadora hasta un teléfono inteligente.

Los chips de memoria son los componentes que almacenan datos y programas en un dispositivo electrónico. Estos chips se utilizan para almacenar información temporal y permanente en una computadora, teléfono inteligente u otro dispositivo electrónico. Los chips de memoria pueden ser volátiles, como la memoria RAM (Random Access Memory), que pierde su contenido cuando se apaga el dispositivo, o no volátiles, como la memoria ROM (Read-Only Memory), que mantiene su contenido incluso después de apagar el dispositivo. Los chips de memoria también pueden ser flash, que se utiliza en dispositivos de almacenamiento como unidades USB y tarjetas de memoria (ASML, 2022).

Los chips de dispositivo de almacenamiento óptico (DAO) son los componentes que almacenan y leen datos en discos ópticos como CDs y DVDs. Estos chips utilizan una tecnología de grabación óptica para escribir datos en un disco y una tecnología

de lectura óptica para leer los datos. Los DAO se utilizan comúnmente para almacenar y distribuir música, películas y otros contenidos multimedia.

La fabricación de los microchips

La fabricación de los microchips es un proceso complejo y altamente especializado que ha evolucionado a lo largo de varias décadas. Estos dispositivos han cambiado drásticamente la forma en que vivimos, desde la forma en que interactuamos con la tecnología hasta la forma en que se realizan muchas actividades cotidianas. Sin embargo, el proceso detrás de la creación de un microchip es desconocido para muchas personas, a pesar de su importancia en el mundo moderno.

A continuación, se describirá en detalle el proceso de fabricación de los microchips, desde la creación del diseño hasta la producción en masa. Se abordarán también algunos de los desafíos técnicos y económicos que enfrenta la industria de los microchips en la actualidad, así como las oportunidades para la innovación y el crecimiento en este campo.

Es importante resaltar que los chips se producen en una sala limpia altamente controlada de una fábrica. La sala limpia de Clase 1 es el ambiente más limpio posible, donde el aire se filtra constantemente para garantizar que los contaminantes en el aire no superen un polvo por pie cúbico (Chepesiuk, 2019). Los grandes sistemas de filtración de aire cambian completamente el aire en la sala a una velocidad de aproximadamente 10 veces por minuto. Además, se aplican estrictas normas de limpieza para los materiales, productos químicos y equipos utilizados en la fabricación de los chips. Los trabajadores de la fábrica deben usar ropa especial, como trajes de conejo, mascarillas, guantes, anteojos y cubre calzados, para evitar contaminar los chips. Se controlan la temperatura, la presión barométrica y la humedad en la sala (Chepesiuk, 2019). Todos estos esfuerzos son necesarios para garantizar que los chips fabricados cumplan con las especificaciones de rendimiento requeridas.

A continuación, se describen los pasos generales para crear un microchip:

Diseño

El primer paso en la creación de un microchip es diseñar el circuito integrado utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD). Este software permite a los diseñadores crear un modelo detallado del circuito y simular su comportamiento para asegurarse de que funcione correctamente.

La empresa debe generar una propuesta a través de la gestión y el análisis de datos para que el diseño pueda cumplir con los requisitos de segmentación de la industria desde el principio. Es aquí donde se requiere a diseñadores de alto nivel para realizar un análisis de viabilidad y, sobre esta base, determinar la función y el modo operativo del chip, y determinar el rendimiento, la función, el tamaño físico, la tecnología de fabricación y la tecnología de diseño, y otros parámetros principales de diseño.

Fabricación de obleas

El proceso de fabricación de obleas o en inglés "making wafers" es uno de los primeros pasos en la fabricación de microchips. El objetivo principal de este proceso es crear o producir obleas de silicio, también conocidas como wafers. Estas obleas son delgadas láminas circulares de silicio que sirven como base para la creación de los microchips.

El proceso comienza con la extracción de arena de silicio en las minas, luego se purifica para obtener silicio ultra puro. Este silicio puro se derrite y se vierte en moldes cilíndricos, donde se solidifica y se corta en discos, que posteriormente se pulen y limpian con productos químicos.

Ilustración 2 Cristal único de Silicio y obleas de Silicio



Nota: Ilustración tomada de “Hitachi” “Semiconductor manufacturing process” Disponible en: <https://www.hitachi-hightech.com/global/en/knowledge/semiconductor/room/manufacturing/process.html> [Consultado el 22 de marzo de 2023]

Las obleas se exponen a alta temperatura para que los materiales se integren en la estructura del silicio.

Ilustración 3 Obleas de Silicio



Nota: Ilustración tomada de “Samung Newsroom” “Eight Major Steps to Semiconductor Fabrication, Part 1: Creating the Wafer” Disponible en: <https://news.samsung.com/global/eight-major-steps-to-semiconductor-fabrication-part-1-creating-the-wafer> [Consultado el 22 de marzo de 2023]

Fotolitografía

El siguiente paso es el grabado de patrones en las obleas, que se realiza mediante fotolitografía⁴. La fotolitografía es una etapa clave en el proceso de fabricación de microchips. Consiste en crear patrones de luz en una capa fotosensible que recubre la oblea de silicio. Estos patrones se utilizan para definir las áreas donde se depositará o se eliminará material.

Para llevar a cabo este proceso, se cubre la oblea con una capa uniforme de material fotosensible, como una capa de resina fotosensible. Luego, se expone esta capa a patrones de luz mediante una máscara fotográfica y una fuente de luz ultravioleta. Después de la exposición, se somete la capa fotosensible a un proceso de revelado que elimina las áreas expuestas o no expuestas, según el tipo de material fotosensible utilizado.

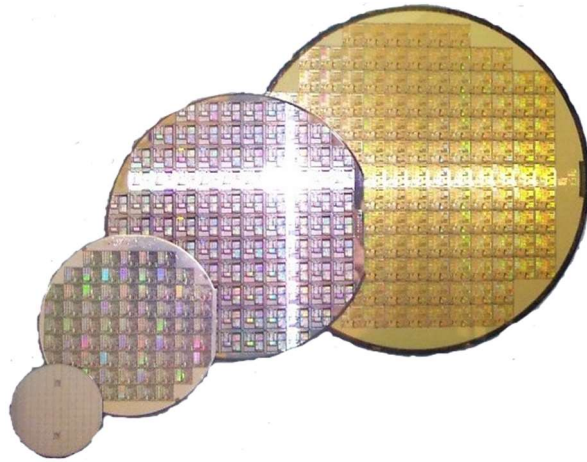
El siguiente paso es el grabado, donde se eliminan las áreas no deseadas de la oblea mediante un proceso químico o de plasma. Esto deja al descubierto las áreas de la oblea que se utilizarán para crear los circuitos del chip. Finalmente, se limpia la oblea para eliminar cualquier residuo y se prepara para el siguiente paso en el proceso de fabricación.

En resumen, la fotolitografía permite crear patrones precisos y microscópicos en la superficie de la oblea, lo que es esencial para la definición de los circuitos y componentes de los microchips.

A continuación, se puede ver una imagen de una placa de silicio fotolitografiada.

⁴ Implica la exposición de una superficie a una luz que ha sido manipulada de manera que solo ciertas áreas se exponen, mientras que otras áreas permanecen cubiertas por una capa fotosensible.

Ilustración 4 Placa de silicio posterior a la litografía



Nota: Ilustración tomada de “Samung Newsroom” “Eight Major Steps to Semiconductor Fabrication, Part 1: Creating the Wafer” Disponible en: <https://news.samsung.com/global/eight-major-steps-to-semiconductor-fabrication-part-1-creating-the-wafer> [Consultado el 22 de marzo de 2023]

Grabado

El grabado es una etapa clave en el proceso de fabricación de microchips que se lleva a cabo después de la fotolitografía. Consiste en eliminar las áreas no deseadas de la capa de material que se encuentra sobre la oblea de silicio, dejando al descubierto las áreas que se utilizarán para crear los circuitos y componentes del chip.

Existen diferentes técnicas de grabado, pero una de las más comunes es el grabado por plasma. En este proceso, se coloca la oblea cubierta de material en una cámara de grabado, donde se bombardea con iones de gas plasma. Los iones atacan el material no deseado, eliminándolo y dejando al descubierto las áreas que se utilizarán para crear los circuitos del chip.

El grabado puede ser selectivo o no selectivo, según las necesidades del proceso de fabricación. En el grabado selectivo, se eliminan áreas específicas de la capa de material, mientras que en el no selectivo se elimina la capa completa.

Después del grabado, se lleva a cabo una serie de procesos para limpiar y preparar la oblea para la siguiente etapa de fabricación. El grabado es una etapa crítica en

la fabricación de microchips, ya que permite la creación de patrones precisos y microscópicos que forman los componentes y circuitos del chip.

Depósito de capas

El depósito de capas es una etapa importante en el proceso de fabricación de microchips que se lleva a cabo después de la fotolitografía y el grabado. Esta etapa implica la aplicación de una o más capas de materiales, como metales o polímeros, sobre la oblea de silicio.

Existen diferentes técnicas de deposición, pero dos de las más comunes son la deposición física de vapor (PVD, por sus siglas en inglés) y la deposición química de vapor (CVD, por sus siglas en inglés). En la PVD, se evapora el material deseado en un vacío, y se deposita sobre la oblea de silicio para formar la capa. En la CVD, se hace pasar un gas que contiene el material deseado sobre la oblea de silicio, y se deposita una capa a través de una reacción química (Abbasi, 2022).

La deposición de capas es crucial en la creación de componentes y circuitos en los microchips. Por ejemplo, se pueden depositar capas de metal para crear conexiones eléctricas o crear patrones específicos. También se pueden depositar capas de dieléctrico para aislar componentes eléctricos y evitar cortocircuitos. Además, las capas pueden proteger los circuitos y componentes del desgaste y la corrosión.

Después del depósito de capas, se lleva a cabo una serie de procesos para limpiar y preparar la oblea para la siguiente etapa de fabricación.

Difusión

Consiste en la introducción de impurezas intencionales en el material del sustrato semiconductor para crear áreas con propiedades eléctricas específicas, lo que es esencial para la fabricación de componentes como transistores y diodos.

El proceso de difusión implica la introducción de átomos de impurezas en el material del sustrato semiconductor mediante la utilización de técnicas especiales. Los

átomos de impurezas pueden ser introducidos mediante el uso de gases, como el silano y el fósforo, o mediante la inyección de una solución líquida que contenga las impurezas. Una vez que se ha introducido el material de impurezas en el sustrato, se lleva a cabo un proceso de calentamiento para permitir que los átomos de impurezas se difundan en el sustrato y creen las regiones con propiedades eléctricas deseadas (Mark, 2021).

La difusión se lleva a cabo en un horno de difusión, que es una pieza de equipo especializado que puede alcanzar temperaturas de hasta 1200 grados Celsius. El sustrato semiconductor se coloca en el horno de difusión y se somete a diferentes procesos de calentamiento y enfriamiento para permitir la difusión de los átomos de impurezas. La duración del proceso de difusión depende del tipo de impureza que se esté introduciendo en el sustrato y de la profundidad de la difusión que se requiera.

Es importante tener en cuenta que la difusión es un proceso crítico que requiere de un alto nivel de precisión y control para garantizar que se creen las regiones con las propiedades eléctricas deseadas. Cualquier variación en el proceso de difusión puede afectar significativamente el rendimiento y la fiabilidad de los componentes electrónicos creados a partir del sustrato.

Además, la difusión también puede ser afectada por otros factores, como la composición y calidad del sustrato, la presencia de impurezas no deseadas, la temperatura del horno de difusión, la presión y el tiempo de difusión. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo una serie de controles de calidad y pruebas para asegurarse de que el proceso de difusión se lleve a cabo correctamente.

Encapsulamiento

El encapsulamiento es la última etapa del proceso de fabricación de microchips, en la cual se protege el chip y se le da la forma y terminación adecuadas para su uso en dispositivos electrónicos (GILLES & PHAM-VAN-DIEP, 2021). Esta etapa es esencial para garantizar la protección del chip de factores ambientales externos, como la humedad, el polvo y la electricidad estática.

El proceso de encapsulamiento comienza con la preparación de un molde que tendrá la forma y tamaño adecuados para la cápsula que se usará para cubrir el chip. Luego, se coloca el chip dentro del molde y se aplica una capa delgada de material aislante sobre la superficie del chip y el molde. El material utilizado para el encapsulamiento puede ser una resina epoxi, silicona, plástico o cerámica, dependiendo de la aplicación del chip.

Después de aplicar el material aislante, se coloca una tapa en la parte superior del molde y se cierra herméticamente para evitar la entrada de contaminantes. Se somete el molde cerrado a altas temperaturas y presiones para endurecer y unir las capas de material, lo que forma la cápsula protectora alrededor del chip. Luego se retira el molde y se cortan los extremos de la cápsula para exponer las terminales del chip.

El proceso de encapsulamiento puede implicar varias etapas adicionales, como el montaje de terminales, la realización de pruebas de calidad y la colocación de etiquetas de identificación. Los terminales son los puntos de contacto que conectan el chip a otros componentes en un dispositivo electrónico. Estos terminales pueden ser de diferentes tipos, como pines, almohadillas o soldaduras.

Las pruebas de calidad son esenciales para garantizar que el chip encapsulado funcione correctamente. Esto incluye pruebas de funcionamiento eléctrico y mecánico, así como inspecciones visuales para detectar posibles defectos en la cápsula o el chip. Si se detectan problemas, el chip puede volver a ser sometido a una etapa de reparación y se pueden realizar nuevas pruebas de calidad antes de ser enviado al cliente.

El etiquetado es una parte importante del proceso de encapsulamiento, ya que permite la identificación y seguimiento del chip durante su vida útil. Las etiquetas pueden incluir información como el número de serie del chip, el fabricante y la fecha de producción. Esta información es útil para el control de calidad y para identificar posibles problemas en el futuro.

En resumen, el encapsulamiento es una etapa crítica en el proceso de fabricación de microchips, que implica la protección del chip y la adición de terminales y etiquetas para su uso en dispositivos electrónicos. Este proceso requiere un alto nivel de precisión y control de calidad para garantizar que el chip funcione correctamente y esté protegido de factores ambientales externos.

Pruebas finales

El proceso de pruebas en la fabricación de microchips es una etapa crucial en la que se verifica si el chip cumple con los requisitos de diseño y si funciona correctamente. Estas pruebas se realizan en una etapa posterior al encapsulamiento del chip, lo que significa que los chips ya están en su forma final antes de la prueba.

Hay varios tipos de pruebas que se realizan en los chips durante la etapa de pruebas. La prueba de continuidad es la más básica, en la que se verifica que todas las conexiones dentro del chip estén funcionando correctamente. La prueba de resistencia se utiliza para verificar la resistencia eléctrica de los componentes del chip. También se realizan pruebas funcionales para verificar que los componentes individuales y los circuitos del chip funcionen correctamente (Bahukudumbi, 2018).

Además, también se realizan pruebas de estabilidad a largo plazo para verificar que el chip seguirá funcionando correctamente con el tiempo. Esto se realiza exponiendo los chips a condiciones extremas, como alta temperatura y humedad, para simular el uso a largo plazo. Si los chips pasan estas pruebas, se consideran aptos para su uso en dispositivos electrónicos.

Es importante señalar que el proceso de prueba es costoso y requiere mucho tiempo. Debido a que los chips son extremadamente pequeños y están altamente integrados, la detección de fallas puede ser difícil y requiere de técnicas especializadas y equipos de prueba costosos. Sin embargo, la etapa de prueba es crítica para garantizar que los chips que se envían al mercado sean de alta calidad y confiables.

Prueba de obleas

Una vez que se completa el proceso inicial de fabricación de obleas, los semiconductores se someten a pruebas de clasificación eléctrica. Este proceso comienza con pruebas eléctricas básicas, con valores medidos importantes que incluyen el voltaje de corriente continua⁵ y los parámetros operativos de los componentes individuales del chip (es decir, resistencias, capacitores, transistores y diodos) (Abassi, 2022). Este proceso, a veces llamado "prueba de sonda", aplica una carga térmica precisa a la oblea antes de utilizar cientos de pequeñas sondas eléctricas para probar cada troquel individual en busca de posibles fallas tempranas (anysilicon, 2022).

La prueba de señal descrita antes se aplica posteriormente para clasificar los circuitos integrados individuales en la oblea en grupos funcionales/reparables y no funcionales. En esta etapa, las pruebas de propiedades térmicas también se pueden emplear para identificar los defectos que surgen a temperaturas de funcionamiento específicas y, por lo tanto, identificar las resistencias térmicas críticas que surgen en las obleas debido a estos defectos (anysilicon, 2022).

Los chips reparables se pueden reparar mediante un nuevo láser (seguido de otra ronda de pruebas). Los chips defectuosos se marcan ("entintados") para descartarlos, mientras que los chips funcionales continúan para su posterior procesamiento.

Prueba final de paquete

Después de cortar los chips individuales, deben empaquetarse en un factor de forma adecuado para su aplicación final. Este paquete proporciona protección y conectividad de entrada y salida (E/S) para el circuito interior. El empaque final generalmente incluye el montaje en una placa de circuito impreso (PCB) o marco

⁵ Voltaje de Corriente continua (CC). Esto significa que la corriente fluye en una sola dirección, en contraposición al voltaje de CA (corriente alterna) que tiene una dirección que varía constantemente. El voltaje de CC se utiliza comúnmente en dispositivos electrónicos que requieren una fuente de energía estable y constante, como los circuitos integrados.

de plomo, seguido de un revestimiento a través de un compuesto de moldeo epoxi (Arvind Patil, 2022).

Una vez que se completa el empaque, una ronda adicional de pruebas puede ayudar a identificar defectos o irregularidades posteriores. Esta etapa de prueba emplea una batería de pruebas de voltaje, quemado, señal y térmicas, similar a la que se aplica en la etapa de oblea.

La fabricación de microchips es una industria definida por una demanda cada vez mayor y una búsqueda constante de mayor rendimiento y rendimiento. En este contexto, los procesos de prueba más afinados juegan un papel importante en la mejora del rendimiento y la eficiencia del proceso de fabricación de semiconductores. Cuanto antes y con mayor precisión se puedan identificar los chips defectuosos o los materiales de baja calidad, más tiempo y dinero se podrá ahorrar.

Escases en el suministro de microchips

Un invento con seis décadas de antigüedad, el modesto chip, ha evolucionado de ser un elemento poco comprendido en computadoras poderosas a convertirse en el componente más esencial y costoso dentro de los dispositivos modernos.

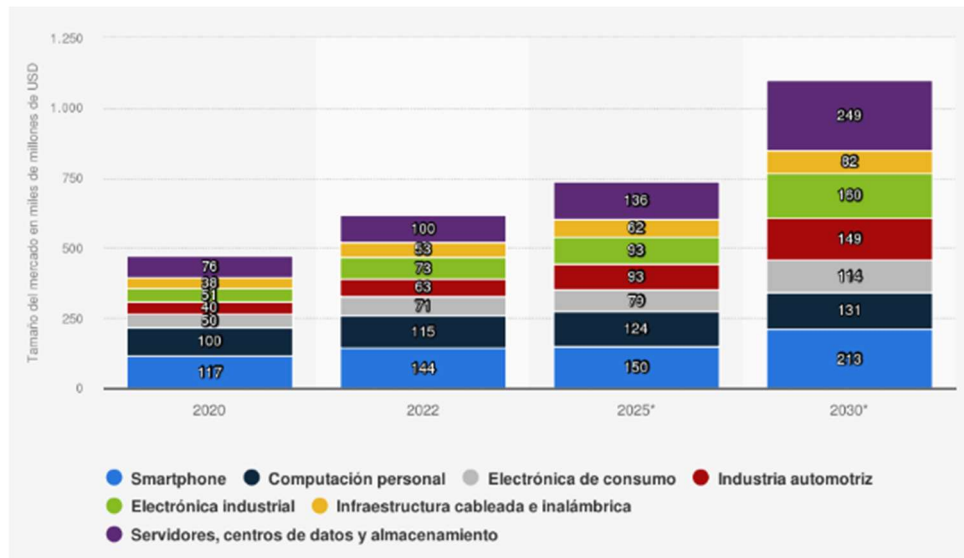
La demanda de chips experimentó un aumento significativo durante la pandemia de Covid-19, especialmente en industrias como la de los teléfonos inteligentes y las PC, lo cual se generó una escasez mundial sin precedentes y un choque en la oferta a corto plazo en otras industrias clientes. Las consecuencias duran hasta el día de hoy.

En febrero de 2021, los tiempos de entrega (el lapso entre el momento en que se realiza un pedido de un chip y el momento en que se entrega) se extendieron a 15 semanas en promedio por primera vez desde que se inició la recopilación de datos en 2017, según los datos de los distribuidores de la industria del Susquehanna Financial Group (DatacenterDynamics , 2021).

Durante la última década, la demanda general de semiconductores, desde microcontroladores básicos y chips de memoria hasta los procesadores de alto rendimiento más sofisticados, ha crecido a medida que aumentaba el uso de teléfonos inteligentes y la potencia informática.

Al mismo tiempo, las máquinas que antes eran en gran parte mecánicas, como los automóviles, se han vuelto más inteligentes, lo que implica el uso de muchos más chips. Según un informe de Deloitte, la electrónica automotriz, que puede incluir todo, desde pantallas hasta sistemas en el automóvil, representará aproximadamente el 45% del costo de fabricación de un automóvil para 2030 (Woordward, Waltin, & Hamilton, 2020).

Ilustración 5 Tamaño del mercado de semiconductores a nivel mundial en 2020 y 2030, por destino de uso (en miles de millones de dólares).



Nota: Ilustración tomada de “Statista”. Disponible en: <https://es.statista.com/temas/8605/la-industria-mundial-de-semiconductores/#topicOverview> [Consultado el 14 de septiembre de 2023]

La capacidad de fabricación de chips ha aumentado al ritmo del crecimiento de las ventas en los últimos años, lo que sugiere que la demanda de semiconductores en general se ha mantenido a la par con los recursos de producción disponibles. Sin embargo, la fabricación avanzada se ha concentrado en manos de cada vez menos jugadores. Los expertos de la industria señalan que hay un desequilibrio particularmente evidente en las llamadas obleas de 200 milímetros, desde las cuales se fabrican los chips de gama baja, necesarios en una amplia gama de sectores (LAPEDUS, 2022).

La pandemia también provocó cambios bruscos en los pedidos el año pasado, lo que enturbió las aguas para los fabricantes de chips que intentan igualar la capacidad con la demanda. Por ello, los fabricantes de automóviles tuvieron que detener la producción en 2021 y Playstation y Xbox fueron cada vez más difíciles de encontrar en las tiendas.

Los fabricantes de automóviles se vieron afectados primero, en parte debido a la mala planificación del inventario. La industria subestimó el consumo de vehículos y, por lo tanto, la cantidad de chips que necesitaban cuando llegó la pandemia. Los ejecutivos de Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC⁶) dijeron en sus dos llamadas de ganancias más recientes que los clientes de muchos sectores han estado acumulando más inventario de lo normal para protegerse contra lo desconocido (LAPEDUS, 2022).

Para finales de 2021 las piezas de silicio más complejas y costosas fueron los chips lógicos de Qualcomm, Nvidia o Apple que proporcionan a las computadoras y teléfonos inteligentes su inteligencia. Sin embargo, estas empresas "sin fábrica" no operan sus propias plantas de fabricación; simplemente diseñan los semiconductores. La fabricación se lleva a cabo en fábricas avanzadas llamadas fundiciones que producen los diseños de estas grandes empresas de electrónica.

Este es otro cuello de botella clave. Solo tres o cuatro fundiciones representan la mayor parte de la fabricación mundial de chips: TSMC, Samsung, y sus rivales más distantes, Globalfoundries Inc., con sede en California, controlada por el brazo de inversión de Abu Dhabi, y United Microelectronics Corp. En otras palabras, se estima que el 91% del negocio de fabricación de chips por contrato se encuentra en Asia, la mayor parte de los cuales se divide entre solo dos regiones: Taiwán y Corea del Sur, hogar de TSMC y Samsung, respectivamente.

TSMC es el líder absoluto de este grupo de tres empresas, en términos de tamaño, complejidad y alcance, produciendo millones de obleas cada año para clientes destacados en casi todas las industrias imaginables. En 2020, la empresa envió un total de 12,4 millones de obleas equivalentes a 12 pulgadas, en comparación con los 10,1 millones del año anterior (Prickett Morgan, 2023). TSMC ha dedicado más de tres décadas a perfeccionar la fabricación de chips y ha invertido miles de

⁶ TSMC es una empresa multinacional taiwanesa de fabricación y diseño de semiconductores por contrato.

millones de dólares en los últimos años para asegurarse de mantenerse a la vanguardia de la tecnología.

En la cadena de suministro de semiconductores, pueden aparecer cuellos de botella en otras etapas también. ASML Holding NV, con sede en los Países Bajos, tiene un monopolio virtual en la producción de equipos de fotolitografía avanzados, necesarios para imprimir patrones de chips de última generación en la oblea. Empresas japonesas, como Shin-Etsu Chemical Co., dominan el mercado de productos químicos utilizados en la fabricación de semiconductores. Además, la fabricación de chips no puede comenzar sin acceso al software de automatización de diseño electrónico, liderado por las empresas estadounidenses Cadence Design Systems Inc. y Synopsys Inc.

A pesar de que los funcionarios de EE.UU. y Europa han pedido ayuda a Taiwán para resolver la escasez mundial de chips y han instado a crear capacidades nacionales de fabricación de chips, la investigación de Sanford C. Bernstein muestra que no hay mucho que los gobiernos puedan hacer para abordar la escasez actual. La construcción de una nueva planta de fabricación y su puesta en marcha llevan varios años y dinero, independientemente de su ubicación.

En 2023, la industria de semiconductores a nivel mundial sigue enfrentando una creciente demanda de microchips, y China se encuentra en el centro de la atención debido a su rápido avance en el sector (Lee & Lim, 2021).

A pesar de las sanciones impuestas por la alianza liderada por Estados Unidos, que limitan el acceso de China a equipos de litografía avanzados fabricados por ASML, el país asiático sigue fortaleciendo a sus fabricantes de semiconductores, como Hua Hong Semiconductor y SMIC (Semiconductor Manufacturing International Corporation) (Zheng & Li, 2021).

SMIC, en particular, es uno de los principales actores en la industria de semiconductores en China, con una cuota del 5% en el mercado global de circuitos integrados (Wu, 2022).

Otra empresa relevante en el sector es SMES (Semiconductor Manufacturing Electronics Shaoxing), que es propiedad conjunta de SMIC y el Gobierno de Shaoxing, lo que le proporciona un importante respaldo financiero y tecnológico (Xinhua, 2022).

Para seguir desarrollando su tecnología, las compañías chinas de semiconductores necesitan recibir grandes inyecciones de capital, como la oferta pública de compra de acciones de SMES en el mercado STAR de la Bolsa de Valores de Shanghai, que busca recaudar 1.400 millones de dólares (Xinhua, 2022).

Sin embargo, el desarrollo de la industria de semiconductores en China se enfrenta a importantes desafíos, como la falta de acceso a las máquinas de litografía de ultravioleta extremo (UVE) más avanzadas del mercado, fabricadas exclusivamente por ASML (Liao, 2021).

Esta situación coloca a los fabricantes chinos en desventaja frente a sus competidores estadounidenses, taiwaneses y surcoreanos, que sí tienen acceso a esta tecnología (Zhang, 2021).

ASML, la única compañía capaz de fabricar equipos de litografía UVE, tardó aproximadamente dos décadas en desarrollar la tecnología necesaria para la producción de semiconductores de alta integración (Van Gerven, 2021).

Según Zeng Liaoyuan, profesor asociado de ingeniería de telecomunicaciones en la Universidad de Tecnología y Electrónica de Chengdu, China necesitará al menos dos décadas para fabricar semiconductores avanzados por su cuenta, debido a la falta de acceso a esta tecnología (Liao, 2021).

Actualmente, SMIC produce circuitos integrados en nodos de 14 nm, pero en agosto de 2022 se filtró información que indicaba que ya tenía lista la base tecnológica necesaria para fabricar chips de 7 nm (Wu, 2022). Es sorprendente que SMIC haya logrado este avance sin contar con su propio equipo de fotolitografía UVE, pero continuar refinando su tecnología de integración sin desarrollar su propio equipamiento de ultravioleta extremo representaría un gran desafío (Wu, 2022).

China cuenta con una enorme capacidad económica y científica, pero también enfrenta un camino largo y lleno de desafíos tecnológicos en la industria de semiconductores (Lee & Lim, 2021). Para sobrevivir, las empresas de tecnología chinas deben innovar y diversificarse en el corto plazo (Zheng & Li, 2021).

A largo plazo, será necesario independizar la industria de semiconductores de China de las tecnologías extranjeras, lo que requerirá un enfoque en la investigación y el desarrollo de tecnologías propias (Liao, 2021).

La guerra de los chips apenas está comenzando, y es probable que más empresas chinas sigan los pasos de SMES para fortalecerse mediante inyecciones de capital (Xinhua, 2022). La industria de semiconductores de China se enfrenta a un desafío significativo para cambiar el terreno de juego con Estados Unidos y mantenerse al margen en la fabricación de chips (Zhang, 2021).

La solución a largo plazo para China será desarrollar y perfeccionar su propia tecnología de litografía y fabricación de semiconductores, lo que requiere una inversión significativa en investigación y desarrollo, así como en infraestructura (Liao, 2021).

A medida que la guerra de los chips continúa, las empresas chinas buscarán formas de innovar, diversificarse e invertir en su infraestructura y tecnologías propias para enfrentarse a la competencia global en la fabricación de semiconductores (Zheng & Li, 2021).

En resumen, China enfrenta retos importantes en el desarrollo de su industria de semiconductores, pero también tiene el potencial de crecer y competir con los principales actores del mercado (Lee & Lim, 2021).

El país asiático se encuentra en una posición única para impulsar el avance de su industria de semiconductores, dado su enorme mercado interno y la creciente demanda de microchips a nivel mundial (Zhang, 2021).

El éxito de China en el desarrollo de su industria de semiconductores dependerá de su capacidad para superar los desafíos tecnológicos y políticos que enfrenta, así

como de su habilidad para innovar y adaptarse en un mercado altamente competitivo (Liao, 2021).

En última instancia, el futuro de la industria de semiconductores en China dependerá de la capacidad del país para desarrollar y aplicar tecnologías propias, lo que le permitirá competir en igualdad de condiciones con las principales potencias del mercado global (Lee & Lim, 2021).

La cadena de suministro de los microchips y sus implicaciones sociales, ambientales y económicas

La cadena de suministro de los microchips es un proceso complejo que involucra una serie de actividades interdependientes que van desde la adquisición de materias primas hasta la fabricación, pruebas y distribución del producto final. Sin embargo, este proceso tiene implicaciones sociales, ambientales y económicas que deben ser consideradas en su totalidad.

Desde el punto de vista social, la cadena de suministro de los microchips se enfrenta a desafíos relacionados con la seguridad y las condiciones de trabajo. La producción de microchips implica el uso de productos químicos tóxicos, lo que puede ser perjudicial para la salud de los trabajadores si no se toman medidas adecuadas para garantizar la seguridad en el lugar de trabajo (CEPAL, 2014). Además, los trabajadores en la cadena de suministro de microchips a menudo enfrentan condiciones de trabajo difíciles, incluyendo largas horas de trabajo y bajos salarios.

En términos ambientales, la cadena de suministro de los microchips es altamente demandante de recursos naturales. Por ejemplo, la producción de chips requiere grandes cantidades de energía y agua, así como la utilización de materiales como el silicio, que es extraído en grandes cantidades y puede causar daños ambientales significativos (Vlasblom, 2018). Además, los desechos tóxicos producidos por la fabricación de microchips pueden contaminar el medio ambiente y poner en peligro

la salud de las personas que viven cerca de las instalaciones de producción⁰ (Kuo, Kuo, & a, 2022).

En términos económicos, la cadena de suministro de los microchips es un sector clave en la economía global, con una amplia gama de empresas y actores involucrados en el proceso de diseño, producción y distribución de los chips (Monge.Ricardo, 2017). La cadena de suministro de los microchips se extiende por todo el mundo, con diferentes etapas del proceso de producción que se realizan en diferentes lugares. Por ejemplo, la fabricación de chips de silicio a menudo se realiza en Asia, mientras que el diseño de chips puede ser llevado a cabo en otros lugares, como Estados Unidos y Europa. Esto significa que la cadena de suministro de los microchips puede ser vulnerable a interrupciones y fluctuaciones en los precios de los recursos y materias primas.

En general, la cadena de suministro de los microchips tiene implicaciones significativas en términos sociales, ambientales y económicos. Es importante que las empresas involucradas en la producción y distribución de los chips trabajen en colaboración para abordar estos desafíos y garantizar que se aborden adecuadamente los impactos negativos asociados en cada caso.

El proceso de diseño de microchips y su papel en la cadena de valor industrial.

El proceso de diseño de microchips es un paso crucial en la cadena industrial de los semiconductores, ya que es el primer paso en la fabricación de un circuito integrado que luego será producido en masa. En este proceso, los ingenieros diseñan el circuito y verifican su funcionamiento antes de que se fabrique en grandes cantidades.

Según (Ismail, 2021) el proceso de diseño de microchips se compone de varias etapas, incluyendo la definición de requisitos, diseño y verificación, y diseño físico. La definición de requisitos implica determinar las especificaciones y características

del circuito integrado, incluyendo su función, velocidad de procesamiento y consumo de energía. El diseño y la verificación implican la creación de un modelo digital del circuito integrado y la realización de pruebas de simulación para asegurarse de que el circuito funcione correctamente. La etapa de diseño físico implica la creación de un diseño detallado del circuito integrado que se utilizará para fabricar los chips en masa.

El papel del diseño de microchips en la cadena industrial de los semiconductores es crucial ya que permite a las empresas crear productos de alta calidad y mejorar la eficiencia en la producción. De acuerdo con (Curiac & Doboli, 2022) el diseño de microchips es un proceso intensivo en cuanto a recursos y tiempo, y puede representar hasta el 70% del costo total de un proyecto de semiconductores. Por lo tanto, es importante tener un proceso de diseño eficiente y efectivo para minimizar costos y mejorar la calidad del producto final.

El diseño de microchips es un proceso complejo que requiere la integración de múltiples disciplinas, desde la electrónica y la física hasta la informática y la ingeniería de materiales. En este proceso se tienen en cuenta varios elementos que son fundamentales para lograr un diseño eficiente y de alta calidad.

En primer lugar, es necesario tener en cuenta las especificaciones del sistema o dispositivo en el que se utilizará el microchip. Como señala (Jaeger, 2013) en su libro "Introduction to Microelectronic Fabrication", el diseño de circuitos integrados comienza con la identificación de los requisitos de rendimiento del sistema y la definición de las funciones que el circuito integrado debe realizar. Es decir, es necesario conocer a fondo las necesidades del sistema en el que se integrará el microchip para poder diseñar un circuito que cumpla con dichas necesidades.

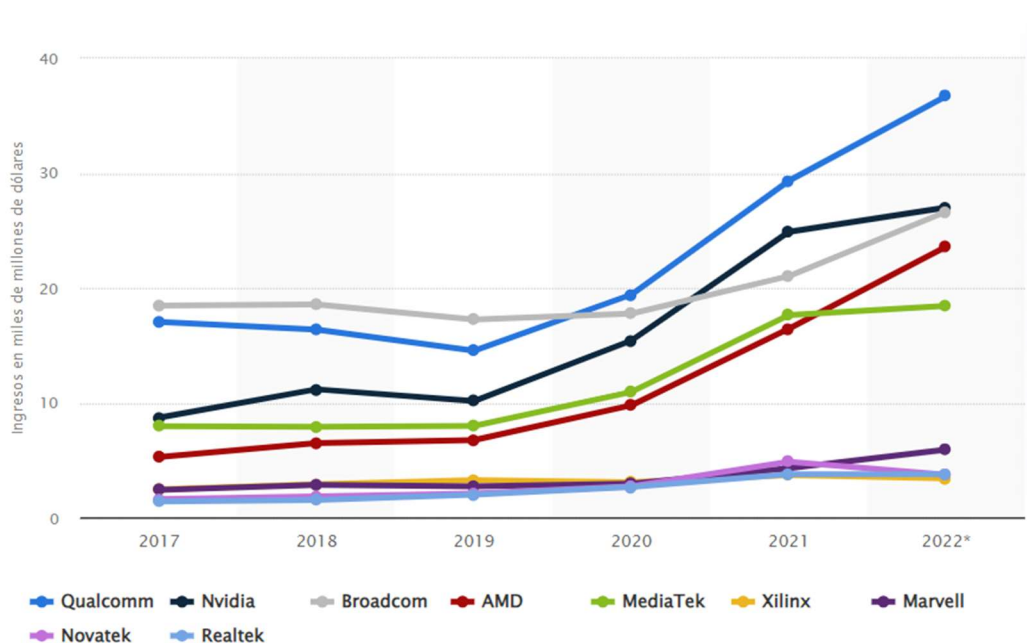
En segundo lugar, es importante considerar los límites de la tecnología de fabricación. Como señala Neil Weste en su libro "Principles of CMOS VLSI Design", el diseño de circuitos integrados debe realizarse teniendo en cuenta las limitaciones de la tecnología de fabricación (N. Weste, 2021). Es decir, se deben conocer las

características de la tecnología utilizada para la fabricación del microchip, como los límites de resolución y la densidad de integración, para poder diseñar un circuito que pueda ser fabricado de manera efectiva.

En 2022, entre las principales empresas de circuitos integrados que no contaban con fábrica figuraba Qualcomm, que lideraba nuevamente el mercado durante el periodo analizado. Por su parte, Nvidia se situaba en la segunda posición del ranking, con unos ingresos por valor de más de 27.000 millones de dólares, sobrepasando los dos últimos años a Broadcom, quien fue líder del mercado entre 2017 y 2019.

A continuación, se presenta la gráfica con los ingresos de las empresas de diseño de circuitos integrados sin fábrica a nivel mundial, entre 2017 y 2022.

Ilustración 6 Ingresos de las empresas de diseño de circuitos integrados sin fábrica a nivel mundial de 2017 a 2022 (en miles de millones de dólares).



Nota: Ilustración tomada de "Statista". Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/1270589/empresas-lideres-de-diseno-de-circuitos-integrados-facturacion-mundial/> [Consultado el 14 de septiembre de 2023]

En general, se observa un crecimiento permanente en los ingresos de este mercado, destacando el año 2021 con un crecimiento respecto al año anterior de 49,4%, equivalente casi a 42 mil millones de dólares. El crecimiento desmesurado tiene directa relación con la crisis provocada por el COVID-19, y se puede ver que el crecimiento de 2022 baja a 18,0% comparado con el año anterior.

En los próximos años, los servidores y los centros de datos se convertirán en una oportunidad muy importante, debido al despliegue de las unidades de procesamiento gráfico (GPU) para aceleraciones de hardware, así como para el entrenamiento y ejecución de aplicaciones de IA generativa (tipo ChatGPT). Por último, también se espera que las actividades industriales vinculadas a la automatización experimenten un aumento de la demanda a medida que las instalaciones de fabricación y los vehículos se vuelvan cada vez más inteligentes.

La situación actual de la industria de microchips en Chile y las oportunidades de crecimiento y desarrollo

En la actualidad, la industria de semiconductores en Chile se encuentra en una etapa incipiente.

Desde el año 2012 que en Chile se ha estado incursionando en el diseño de circuitos integrados, dicho año la Universidad Técnica Federico Santa María tuvo el privilegio de contar con la presencia de un destacado profesor estadounidense, Eric MacDonald, quien estableció una alianza estratégica para lograr que alumnos de esta Universidad participaran con sus proyectos de diseño de circuitos integrados, y logaran que una empresa extranjera los fabricara de forma gratuita. Fueron siete proyectos de alumnos más uno de los docentes Agustín González y Wolfgang Freund que lograron llegar a término, y el resultado fue tener los circuitos integrados físicamente en la Universidad. (noticias.usm.cl, 2012)

En 2013 ya se pensaba que el diseño de circuitos integrados podía ser una realidad con interesantes y exitosas aplicaciones a nivel nacional. No obstante, la baja inversión en investigación y desarrollo en Chile vuelve difícil la consolidación de esta industria. Según asegura Christian Oberli, académico del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC), lo ideal sería diseñar microchips en Chile, ya que es un negocio con gran potencial lucrativo que posibilitaría rentabilizar esta industria. Con ello se hace una importante inversión en Innovación y Desarrollo que en el futuro podría transformar al país en uno de los líderes de la Región. Cita el ejemplo de Costa Rica, que hizo un esfuerzo interesante para tener una planta de Intel, la cual aporta con el 10% del PIB de esa nación. Además, destaca algunos beneficios que obtendría una empresa que confía en electrónica desarrollada a nivel nacional, por ejemplo, la experiencia y conocimiento del mercado local, lo que facilita desarrollar un circuito integrado que optimice un determinado proceso, y el acceso directo al equipo desarrollador para capacitación del personal y asistencia técnica. (Revista Electroindustria, 2013)

Tal como comenta Dani Guzmán, también académico de la PUC, existen varios rubros que podrían verse beneficiados si existiera inversión en Chile, ya que existe un enorme potencial de desarrollo en los rubros de la minería, agrícola, vitivinícola, energía e, incluso astronomía por la gran cantidad de telescopios del mundo que hay en nuestro país. (Revista Electroindustria, 2013)

Por otro lado, en 2014 nació el Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica AC3E, de la Universidad Técnica Federico Santa María, que es un centro de investigación científica cuya misión es crear conocimiento, formar capital humano avanzado y desarrollar innovaciones tecnológicas de base científica.

El año 2022, un equipo de profesionales de este centro participó de una competencia de circuitos integrados que busca promover el diseño de chips reproducibles y permitir que los talentos emergentes puedan asistir a conferencias e interactúen con la comunidad de diseño de chips de vanguardia en Japón. El desenlace fue exitoso, y lograron ganar en la competencia junto a otros dos diseños,

uno de la Universidad de Toronto y otro de Hanyang University, South Korea, de un total de 14 envíos desde diferentes partes del mundo. (AC3E.usm.cl, 2023)

Otro grupo de estudiantes de la Universidad del Bío Bío (UBB) guiados por el académico doctor Krzysztof Herma pudo fabricar en 2022 un chip digital basado en herramientas libres gracias a una alianza entre Google y la empresa Skywater que permitió utilizar un PDK (Process Design Kit) que permitió que cualquier persona pudiera diseñar un chip y enviarlo a fabricar. En esa oportunidad, el PDK que se liberó se llama SKY 130 que es relativamente antiguo, pero permite experimentar en el diseño de un chip para luego enviarlo a fabricar. Gracias a esa experiencia, crearon el Grupo de Circuitos Integrados de la UBB que mira la realizar investigación y desarrollo en el área de microelectrónica ya que aseguran que existe una gran demanda por profesionales y docentes que dominen estos conocimientos. (Diario Concepción, 2022).

Según señaló en un portal nacional el Gerente General de Synopsys Chile, Víctor Grimblatt, “hay escasez mundial de ingenieros en microelectrónica, y contar con talento local permitirá la creación de startups de diseño e igualmente atracción de inversión extranjera en el sector de semiconductores” (Electricidad, 2023).

El sector de los semiconductores es una de las pocas industrias que está creciendo a nivel mundial. Se estima que el incremento del rubro será entre 6% y 8% anual, hasta 2030. La participación de nuestro país en este segmento en expansión es prácticamente nula, por lo que formar profesionales que apliquen lo aprendido a través de desarrollos tecnológicos producirá un gran impacto en la industria nacional (Electricidad, 2023).

Desarrollo de la propuesta

Introducción al diseño de microchips

La industria de los microchips es un mercado en constante evolución y crecimiento. Los chips están presentes en prácticamente todos los dispositivos electrónicos que se utilizan en la actualidad, desde teléfonos móviles hasta automóviles, pasando por ordenadores, electrodomésticos y equipamiento médico (Huddleston, 2007). Esta creciente demanda ha generado la necesidad de diseñar chips más complejos, más pequeños y eficientes.

El diseño de microchips es una disciplina compleja que requiere una amplia gama de conocimientos y habilidades. Para poder diseñar un chip, se necesita un conocimiento adecuado del problema a resolver, la funcionalidad de la solución, y sus atributos. La organización que no evalúe ser parte del diseño conceptual puede derivar en una simple maquila. Además, se necesitan conocimientos profundos en electrónica digital y analógica, física, matemáticas, informática y diseño de circuitos integrados (MICROCHIP, 2005). También, es necesario tener habilidades para programar software de diseño asistido por ordenador (CAD) y conocer las herramientas de simulación para validar el diseño.

Otro de los principales requerimientos para el diseño de microchips es la inversión de capital inicial para la creación de la empresa (MICROCHIP, 2005). Se necesitan recursos financieros para adquirir las herramientas (software licencia) de diseño y simulación, y para contratar a ingenieros especializados en la materia.

Es importante mencionar también la necesidad de una sólida política de propiedad intelectual (si aplica) para proteger los diseños de la empresa y evitar el plagio. La protección de la propiedad intelectual puede requerir una inversión adicional para contratar a abogados especializados en patentes y marcas comerciales (Knechtel, Patnaik, & Sinanoglu, 2019).

Otro factor crítico en el diseño de microchips es la eficiencia energética propia. Los chips deben ser diseñados para consumir la menor cantidad posible de energía, lo

que puede ser un desafío en diseños cada vez más complejos y sofisticados (Penn Today, 2022).

Además de la inversión en recursos humanos y financieros, es necesario contar con un lugar adecuado para la empresa. Un espacio de trabajo que cumpla con los requisitos de seguridad y ergonomía para el equipo, así como con los requerimientos técnicos para el diseño y la simulación.

Por último, es importante destacar la necesidad de conocer una sólida red de proveedores para garantizar la disponibilidad de los componentes y materiales necesarios para la fabricación de los chips. La falta de disponibilidad de algún componente puede retrasar el proceso de diseño y afectar el tiempo de comercialización del producto final.

En resumen, el diseño de microchips es una disciplina compleja que requiere una amplia gama de conocimientos y habilidades, una inversión de capital relativamente menor, un equipo multidisciplinario, una política de propiedad intelectual, eficiencia energética, un lugar adecuado para la empresa y una sólida red de proveedores. Es esencial comprender estos requerimientos y tomarlos en cuenta para poder implementar una empresa dedicada al diseño de microchips de manera exitosa.

Recursos necesarios para iniciar una actividad organizacional en el diseño de microchips

El diseño de microchips es un campo complejo y altamente especializado que requiere una gran cantidad de recursos y conocimientos técnicos. Para iniciar una empresa de diseño de microchips, se necesitan recursos críticos como fuente de financiamiento adecuada, personal altamente calificado, herramientas de diseño y simulación, acceso a tecnologías avanzadas y la capacidad de satisfacer las necesidades de los clientes.

La fuente de financiamiento es una de las necesidades más críticas para una empresa de diseño de microchips. Se requiere un capital de trabajo o inversión inicial en equipos, software y personal altamente calificado (Valuing Water Initiative, 2022). Para conseguir financiamiento, los fundadores de la empresa deben elaborar un plan de negocios claro y convincente que muestre el potencial de la empresa en el mercado.

Otro recurso crítico es el personal altamente calificado. Una organización experta en diseño de microcircuitos o chips debe tener la administración y el contacto cliente adecuados. Los diseñadores de microchips deben tener un alto nivel de conocimiento en áreas como la electrónica, física, matemáticas y la informática (Valuing Water Initiative, 2022). Además, deben tener experiencia en la industria de semiconductores y en las herramientas de diseño y simulación. La empresa debe tener la capacidad de atraer y retener a estos diseñadores altamente calificados para poder tener éxito.

Las empresas Cadence Design Systems, Synopsys o Ansys, todas norteamericanas, junto con Mentor Graphics, propiedad de la alemana Siemens, pero con muchos lazos en Estados Unidos, controlan alrededor del 90% del mercado mundial de herramientas de diseño de chips; software y patrones de diseño sobre los que basculan el resto de la cadena. Son, en pocas palabras, proveedores cruciales que poseen algunas patentes sobre las que se basa el resto de la cadena. (Hipertextual.com, 2020)

Las herramientas de diseño y simulación son esenciales para una empresa de diseño de microchips. Estas herramientas permiten a los diseñadores crear y simular circuitos complejos antes de la fabricación del chip, lo que reduce el tiempo y los costos de desarrollo. Las empresas deben invertir en herramientas de diseño y simulación de alta calidad y mantenerse actualizadas con las últimas tecnologías.

El acceso a tecnologías avanzadas es otro recurso clave para una empresa de diseño de microchips. Esto incluye acceso a tecnologías de proceso avanzadas, que permiten la creación de chips más pequeños, poderosos y eficientes energéticamente. La organización también debe estar al tanto de las últimas

tendencias y desarrollos en la industria de semiconductores para poder ofrecer soluciones de diseño avanzadas a sus clientes.

La capacidad de satisfacer las necesidades de los clientes es fundamental para una empresa de diseño de microchips. Los clientes esperan soluciones personalizadas y de alta calidad que satisfagan sus necesidades específicas. La empresa debe tener la capacidad de ofrecer soluciones de diseño a medida y estar dispuesta a trabajar estrechamente con sus clientes para garantizar su satisfacción.

Otro recurso crítico es la capacidad de la empresa para cumplir con los estándares de calidad y seguridad de la industria. Los chips son críticos en muchos dispositivos, por lo que la calidad y seguridad son factores esenciales. La empresa debe tener un enfoque riguroso en la calidad y seguridad y debe cumplir con los estándares de la industria en estas áreas.

La capacidad de trabajar en equipo y colaborar es esencial para una empresa de diseño de microchips. Los diseñadores deben trabajar en estrecha colaboración con los clientes y otros departamentos internos de la empresa, como la fabricación y el marketing, para asegurar el éxito del proyecto. La empresa debe tener un ambiente de trabajo colaborativo y un enfoque en la comunicación clara y efectiva.

Proceso de diseño de microchips y sus etapas

El diseño de un microchip abarca una gran cantidad de tareas, desde la concepción de la idea hasta tener en cuenta la fabricación, prueba y uso del producto final. La complejidad de este proceso ha aumentado con el paso de los años debido al aumento de la demanda de chips cada vez más potentes y eficientes. Como resultado, el diseño de microchips se ha vuelto más sofisticado y requiere de herramientas y tecnologías avanzadas para su implementación.

El proceso de diseño de microchips se puede dividir en varias etapas clave, cada una de las cuales es crucial para el éxito del proyecto. Estas etapas incluyen la concepción de la idea, el análisis de requerimientos, la definición de la arquitectura del sistema, la simulación y verificación del diseño, la implementación del diseño, la

verificación funcional, la preparación para la producción y la producción del chip. En cada etapa del proceso, se requieren diferentes herramientas y recursos para garantizar que el diseño cumpla con los requisitos de rendimiento, calidad y tiempo de entrega (Wang, 2022).

En este capítulo, se explorarán en detalle las diferentes etapas del proceso de diseño de microchips, desde la concepción de la idea hasta la producción del chip. Además, se describirán las herramientas y tecnologías utilizadas en cada etapa del proceso y se discutirán los desafíos comunes enfrentados en el diseño de microchips. Al final de este capítulo, se tendrá una comprensión completa del proceso de diseño de microchips y los recursos necesarios para llevar a cabo un proyecto exitoso.

Especificaciones del diseño

La etapa de "Especificaciones del diseño" es una de las etapas más críticas del proceso de diseño de microchips, ya que establece los requisitos que el chip debe cumplir para satisfacer las necesidades del usuario final. En esta etapa, los ingenieros de diseño trabajan en estrecha colaboración con los clientes para determinar las especificaciones del chip, que incluyen las características eléctricas, funcionales y físicas del dispositivo.

Para comenzar esta etapa, los ingenieros de diseño primero deben entender las necesidades del cliente y el mercado en el que se utilizará el chip. Esto implica una comprensión detallada de los requisitos del sistema en el que se integrará el chip, incluyendo las posibles funcionalidades, la velocidad, la potencia, la capacidad de procesamiento y otros factores importantes.

Una vez que se han establecido los requisitos del sistema, los ingenieros de diseño pueden comenzar a desarrollar las especificaciones eléctricas y funcionales del chip. Esto incluye determinar la tensión y la corriente de alimentación del chip, así como las características de las señales de entrada y salida (Timings, 2021). También se deben especificar las características funcionales, como el tipo de procesamiento.

Existen varios tipos de procesamiento utilizados en el diseño de microchips. Algunos de los más comunes son (Boyle & Beer, 2022):

1. **Procesamiento analógico:** se utiliza para procesar señales analógicas, como las señales de audio y de video. Los circuitos analógicos son más complejos que los digitales y requieren una mayor precisión en su diseño.
2. **Procesamiento digital:** se utiliza para procesar señales digitales, como las señales de computadora y de redes. Los circuitos digitales son más simples que los analógicos y requieren menos energía para operar.
3. **Procesamiento mixto:** combina tanto el procesamiento analógico como el digital en un solo chip. Se utiliza en sistemas complejos que requieren el procesamiento de señales analógicas y digitales al mismo tiempo, como los sistemas de comunicaciones inalámbricas.
4. **Procesamiento de señal:** se utiliza para procesar señales de entrada, como las señales de audio y de video. Los circuitos de procesamiento de señal están diseñados para mejorar la calidad de la señal y reducir el ruido.
5. **Procesamiento de imagen:** se utiliza para procesar imágenes digitales, como las imágenes de cámaras digitales y de escáneres. Los circuitos de procesamiento de imagen están diseñados para mejorar la calidad de la imagen y reducir el ruido.

Otro aspecto importante de esta etapa es el diseño físico del chip. Los ingenieros de diseño deben determinar el tamaño del chip y la distribución de los componentes en la superficie del chip. Esto puede incluir la arquitectura, la ubicación de los componentes, las pistas de conexión y los elementos de almacenamiento de datos.

Además, los ingenieros de diseño deben considerar los requisitos de diseño para la fabricación del chip. Esto incluye la elección del proceso de fabricación, la disposición de las capas del chip y la técnica de enmascaramiento. También se deben considerar las limitaciones de la tecnología actual y las restricciones del presupuesto para la fabricación del chip.

En resumen, consiste en un proceso crítico en el diseño de microchips, ya que establece los requisitos que el chip debe cumplir para satisfacer las necesidades del cliente.

Diseño conceptual

La etapa de diseño conceptual en el proceso de diseño de microchips es crucial para determinar la funcionalidad y la arquitectura general del circuito integrado. Durante esta etapa, los diseñadores de microchips trabajan en el desarrollo de un concepto general para el diseño del microchip y establecen los requisitos de alto nivel.

El diseño conceptual se inicia con la definición de los requisitos funcionales del microchip, que se basan en las especificaciones de diseño proporcionadas por el cliente. Los diseñadores trabajan en la comprensión de los requisitos y en la creación de un modelo funcional general que describa la operación del circuito integrado y sus componentes clave (Automática e instrumentación, 2020).

En esta etapa, también se lleva a cabo la selección de la tecnología de fabricación adecuada para el diseño del microchip, teniendo en cuenta los requisitos de rendimiento, el costo, la disponibilidad y la capacidad de la tecnología.

Además, los diseñadores de microchips deben realizar un análisis detallado de los riesgos técnicos, de tiempo y de costo asociados con el diseño, identificando los posibles problemas y limitaciones que podrían afectar la viabilidad del proyecto.

Una vez que se establecen los requisitos de alto nivel, los diseñadores comienzan a trabajar en la arquitectura del microchip, definiendo los bloques funcionales principales y su interconexión. El diseño conceptual también puede incluir la exploración de múltiples alternativas de diseño para optimizar el rendimiento, la eficiencia y la fiabilidad del circuito integrado.

En esta etapa, se utilizan herramientas de diseño especializadas, como software de simulación de circuitos y herramientas de análisis de rendimiento, para ayudar a los diseñadores a evaluar y refinar el diseño del microchip.

Estas herramientas de simulación y análisis de rendimiento son fundamentales en el proceso de diseño de microchips ya que permiten evaluar el rendimiento del circuito antes de su fabricación, lo que ayuda a reducir los errores y a optimizar el diseño.

En resumen, la etapa de diseño conceptual en el proceso de diseño de microchips es esencial para establecer los requisitos funcionales, la arquitectura y la tecnología de fabricación adecuada para el diseño del microchip. Los diseñadores de microchips deben llevar a cabo un análisis detallado de los requisitos, los riesgos y las limitaciones técnicas para garantizar la viabilidad del proyecto y desarrollar un modelo funcional general que sirva como base para las etapas posteriores del proceso de diseño.

Diseño detallado

En esta fase, se utilizan herramientas de diseño de circuitos integrados para crear los diseños de los bloques individuales del chip. Los diseños deben ser lo suficientemente detallados para que se puedan implementar en la siguiente etapa de fabricación.

Una parte fundamental de la etapa de diseño detallado es la verificación y validación del diseño. La verificación y validación del diseño es una parte crítica e integral del proceso de diseño detallado en el desarrollo de microchips. El objetivo es identificar cualquier problema o error en el diseño antes de la fabricación para evitar costosos errores y retrasos en la producción (Niehoff, 2019).

Entre las técnicas y herramientas más comunes utilizadas para la verificación y validación del diseño se encuentran la simulación de circuitos, la comprobación de reglas de diseño (DRC, por sus siglas en inglés), la comprobación de la regla de diseño de la disposición (LVS, por sus siglas en inglés) y el análisis de la capacidad de fabricación (DFM, por sus siglas en inglés) (Niehoff, 2019).

La simulación de circuitos implica la ejecución de simulaciones eléctricas y funcionales del diseño para evaluar su comportamiento en diferentes escenarios y

condiciones de operación (Niehoff, 2019). Esto ayuda a identificar cualquier problema o incompatibilidad en el diseño, como errores de temporización, problemas de señal y de energía, entre otros.

La comprobación de reglas de diseño (DRC) verifica que el diseño cumpla con las reglas y restricciones de diseño establecidas previamente. Estas restricciones pueden incluir aspectos como la separación mínima entre dos conductores o el tamaño mínimo permitido para ciertos elementos de diseño (Niehoff, 2019).

La comprobación de la regla de diseño de la disposición (LVS) verifica que la disposición del diseño sea coherente con el esquema de diseño original. Esto asegura que los elementos de diseño se hayan colocado correctamente y que no haya cambios inadvertidos durante el proceso de diseño.

Finalmente, el análisis de la capacidad de fabricación (DFM) se utiliza para garantizar que el diseño sea factible de fabricar en masa. Esto implica la evaluación de factores como la capacidad de procesamiento, la capacidad de la máquina de impresión y la tolerancia de fabricación.

Además, en esta etapa se realizan simulaciones de circuitos, se realizan pruebas de señal, se hace la planificación del layout y se seleccionan los materiales y las tecnologías adecuados para la fabricación. También se lleva a cabo la generación de los archivos necesarios para la producción del chip, como el diseño del layout, los archivos de máscaras, y los archivos de pruebas.

Otro aspecto importante en el diseño detallado es la optimización del rendimiento y la eficiencia del chip. El diseñador debe considerar factores como el consumo de energía, la velocidad de operación, la tolerancia a fallas y la seguridad.

Empresa Synopsis: una oportunidad en Chile

La tecnología de Synopsis se encuentra en el núcleo de las innovaciones que están cambiando la forma en que las personas trabajan y se divierten. Vehículos autónomos, inteligencia artificial, la nube y 5G son avances que están dando paso a la era de "Smart Everything", donde los dispositivos se vuelven más inteligentes, todo está conectado y debe ser seguro.

Esta nueva era de innovación digital está impulsada por chips de silicio avanzados y cantidades exponencialmente crecientes de contenido de software, todos trabajando de manera inteligente y segura. Synopsis lidera la vanguardia de Smart Everything con las tecnologías más avanzadas del mundo para el diseño y verificación de chips, integración de IP y pruebas de seguridad y calidad del software. Synopsis ayuda a sus clientes a innovar desde el silicio hasta el software para que puedan ofrecer Smart Everything.

Synopsis es el principal proveedor mundial de soluciones para diseñar y verificar chips de silicio avanzados, y para diseñar los procesos y modelos de próxima generación necesarios para fabricar esos chips. Sus tecnologías de diseño maximizan la productividad y garantizan la mejor calidad de resultados optimizando los chips en cuanto a potencia, rendimiento y coste. Sus tecnologías de verificación reducen meses de los cronogramas de proyectos al permitir la verificación de chips complejos junto con el software de manera más rápida. Ayudan a los clientes a encontrar errores a nivel de sistema antes y más rápido, poner en marcha el software antes y validar todo el sistema.

Synopsis ofrece la cartera más amplia del mundo de IP de silicio, incluyendo bloques pre-diseñados de lógica, memoria, interfaces, analógicos, seguridad y procesadores integrados para ayudar a sus clientes a introducir más capacidades y reducir el riesgo de integración. Sus soluciones de IP de procesador incluyen núcleos de CPU y DSP, subsistemas y herramientas de desarrollo que permiten a los clientes satisfacer los requisitos de rendimiento y potencia de sus sistemas en chip. Sus IP de seguridad, como el hardware de raíz de confianza y la criptografía IP, ayudan a prevenir amenazas en evolución en dispositivos conectados. Además,

su iniciativa “*IP Accelerated*” brinda soporte de diseño de arquitectura, subsistemas IP, análisis de integridad de señal/potencia y más para que los clientes puedan integrar IP ajustada a sus diseños.

Synopsis ayuda a los clientes a incorporar calidad en el ADN de su código de software, en cualquier etapa del ciclo de vida del desarrollo de software y en toda la cadena de suministro, minimizando riesgos y maximizando la velocidad de desarrollo de aplicaciones. Sus soluciones de análisis estático, análisis de composición de software y análisis dinámico permiten a los clientes encontrar y solucionar vulnerabilidades y defectos en el código propietario, componentes de código abierto y comportamiento de aplicaciones con una profundidad, precisión y velocidad inigualables. Synopsys ayuda a las empresas a probar su software temprano y con frecuencia, para que puedan evitar costosos fallos en los productos, violaciones de seguridad y fallos catastróficos en el sistema. Además, automatizan el proceso de asegurar y gestionar el software de código abierto para garantizar el cumplimiento de las licencias, solucionar vulnerabilidades y reducir los riesgos operativos.

Entrevista a experto 1 (Agustín González)

El primer entrevistado es Agustín González, Profesor y Director del Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María (USM). Comenta que durante 2003-2004, empresarios chilenos manifestaron interés en desarrollar la industria electrónica local y, como resultado, presentaron un proyecto a Corfo para visitar centros de investigación en Estados Unidos. Una de las empresas visitadas fue Synopsys en California, lo que eventualmente condujo a la apertura de una oficina de Synopsys en Santiago en 2006. La USM recibió la colaboración del profesor Erick MacDonalds, liderando la capacitación en tecnología de Synopsys y la realización de proyectos en el área de circuitos integrados que culminó con la fabricación gratuita de circuitos integrados en el extranjero.

A pesar de estos esfuerzos iniciales, el profesor González comenta que hubo varios obstáculos en el camino, como cambios en los acuerdos entre Synopsys y la USM, y la falta de recursos humanos capacitados después de la desvinculación del profesor que había quedado a cargo de la asignatura relacionada a circuitos integrados. Otros profesores han retomado el tema, aunque él no conoce detalles sobre si la alianza con Synopsys continúa en términos de licencias de software.

Una dificultad adicional que transmite González es la falta de demanda local en la industria electrónica, ya que los circuitos integrados existentes en el mercado suelen ser suficientes y no requieren desarrollos especiales. En este sentido, el aporte de Chile podría estar en el diseño lógico de circuitos integrados para que otras empresas los integren en sus propios diseños.

Para enfrentar estos desafíos, comenta el profesor que es necesario reevaluar y expandir la formación académica en áreas como diseño digital, analógico e híbrido, y asegurar que haya demanda para los profesionales capacitados en estos campos. Además, es fundamental establecer conexiones con mercados internacionales y evitar la fuga de talentos hacia el extranjero.

En Chile, varias universidades, como la Universidad de Concepción y la Pontificia Universidad Católica de Chile, poseen conocimientos en el área de investigación en

circuitos integrados. Además, Synopsys ha organizado escuelas de verano para capacitar a estudiantes de diversas universidades en diseño digital y analógico.

En resumen, a pesar de los esfuerzos iniciales en el desarrollo de la industria de circuitos integrados en Chile, aún existen desafíos relacionados con la formación de profesionales capacitados, la demanda local y las conexiones internacionales. Para superar estos obstáculos, es crucial abordar los desafíos en términos de capacitación, demanda y alianzas estratégicas con empresas y mercados internacionales.

De lo anteriormente expuesto se puede resaltar que establecer convenios y colaboraciones con empresas internacionales y centros de investigación en la industria de circuitos integrados permitiría a las universidades y empresas locales acceder a recursos, tecnologías y conocimientos especializados, impulsando el desarrollo de la industria electrónica en Chile. Además, fomentar el emprendimiento en el sector de microchips, ofreciendo apoyo financiero y técnico a startups y proyectos innovadores podría incluir la creación de incubadoras o aceleradoras de negocios específicas para la industria electrónica, lo que facilitaría la conexión entre emprendedores, inversores y expertos en la materia.

Por otra parte, crear una red de colaboración entre universidades, centros de investigación y empresas del sector, tanto a nivel nacional como internacional facilitaría la cooperación en proyectos de investigación y desarrollo, así como el intercambio de conocimientos y buenas prácticas en el diseño y fabricación de microchips. También, promover la formación de profesionales en áreas de especialización que complementen el diseño de circuitos integrados, como la ingeniería de sistemas, la robótica o la inteligencia artificial ayudaría a generar un ecosistema tecnológico más completo y competitivo en el ámbito internacional.

Entrevista a experto 2 (Jorge Marín)

El entrevistado es Jorge Marín, parte de AC3E, un centro de investigación en el campo de la ingeniería eléctrica y electrónica. Realizó su doctorado en Bélgica y menciona un estudio de mercado realizado por estudiantes de la USM.

Se plantea el dilema de si comenzar capacitando a profesionales o crear empresas primero. El profesor Marín recalca que Synopsys es una empresa destacada en el área digital que no diseña chips, sino que desarrolla software para el diseño de ciertos tipos de microchips, y que la presencia de Synopsys en Chile se debe a la alta calidad de los ingenieros en software locales, el Gerente General es chileno.

Actualmente, Chile carece de diseño de circuitos integrados, pero sí cuenta con Synopsys para el desarrollo de software. Marín comenta que el AC3E tiene un programa que financia a estudiantes para desarrollar un diseño. Las tres grandes empresas de software son Synopsys, Cadence Analog y Mentor Graphics. Se está trabajando en el desarrollo del capital humano en el área.

Comenta el entrevistado que una barrera de entrada es el costo de las licencias de software, aunque hay iniciativas financiadas por Google para impulsar el diseño de circuitos integrados de código abierto y ofrecer fabricación gratuita. AC3E ya utiliza software de código abierto y ha participado en una competencia internacional organizada por la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos por su sigla en inglés).

Cuenta Marín que Google está incursionando en el oligopolio del software, pero aún falta desarrollo en el área. Además, existe un curso en la USM sobre diseño de circuitos integrados digitales, pero es incipiente. También afirma que, si se generara una oferta de profesionales en Chile, es probable que posteriormente fueran contratados desde el extranjero. La propuesta es atraer empresas como Synopsys y crear empresas locales.

Actualmente, no existe una industria de circuitos integrados en Chile, pero sí en el extranjero. Synopsys está formando profesionales que luego se van al extranjero.

Las alternativas son formar profesionales localmente o atraer más empresas extranjeras. Brasil tuvo dificultades al intentar desarrollar esta industria, mientras que Costa Rica cuenta con Intel, que se especializa en pruebas y empaquetamiento. Se busca democratizar el diseño de circuitos integrados y se realizó un estudio de mercado a nivel local. Algunos desafíos que se comentaron fueron la estimulación de tejidos y la administración de energía en pequeños satélites.

De lo anteriormente expuesto se puede resaltar la importancia de la capacitación y formación de profesionales especializados en el diseño de microchips en Chile. Esto incluye el desarrollo de programas educativos específicos en universidades e instituciones técnicas, así como la promoción de cursos y talleres de especialización para profesionales que deseen mejorar sus habilidades en diseño de microchips. También, es crucial impulsar la investigación y el desarrollo en el área de circuitos integrados a nivel local. Esto se puede lograr mediante la creación de centros de investigación especializados o el fortalecimiento de los ya existentes, como AC3E. Además, se pueden establecer colaboraciones entre universidades, centros de investigación y empresas del sector, para impulsar proyectos conjuntos y generar sinergias en el desarrollo tecnológico.

También, establecer alianzas con empresas internacionales ayudaría a atraer más empresas internacionales del sector, como Synopsys, y establecer alianzas con ellas, puede contribuir a la transferencia de conocimientos y tecnologías en el diseño de circuitos integrados. Estas colaboraciones también podrían incentivar la creación de empleos especializados en el área y fomentar el desarrollo de una industria local.

Por otra parte, apoyar el emprendimiento y la creación de empresas locales podría impulsar la industria de circuitos integrados en Chile. Esto podría incluir programas de financiamiento, incubadoras de empresas tecnológicas y mentorías para emprendedores en el área de diseño de microchips. Y de la mano está establecer programas de retención de talento para evitar la fuga de talentos en el área de diseño de circuitos integrados hacia el extranjero. Esto podría incluir incentivos fiscales y laborales para las empresas que contraten profesionales especializados

en el área, así como oportunidades de crecimiento y desarrollo para estos profesionales dentro del país.

Entrevista a experto 3 (Ángel Abusleme)

El profesor Ángel Abusleme perteneciente al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la PUC. En esta entrevista se aborda la complejidad y los desafíos del diseño y la fabricación de microchips, especialmente en el contexto de Chile. En ella, resalta la importancia de la colaboración entre empresas de diseño, fabricantes de wafers, y las foundries, así como el alto costo y la especialización necesaria en software de diseño y producción de chips.

El profesor Abusleme menciona que en Chile existen empresas de diseño como Synopsys y Mentor, aunque aún no se encuentran todas las empresas más importantes del sector. La industria del diseño de microchips en Chile enfrenta desafíos en términos de infraestructura computacional, software especializado y la falta de una cultura de control de calidad en el nivel requerido.

Además, la entrevista destaca la dificultad de establecer una presencia local en el mercado de microchips, debido a la competencia con empresas líderes como *Texas Instruments*. Abusleme sugiere que una posibilidad es que las empresas extranjeras vean en Chile un potencial para instalar un design house, lo que requeriría de más profesionales con formación de doctorado y experiencia en el campo.

También menciona que, aunque ha habido avances en la enseñanza de circuitos integrados en Chile, aún falta infraestructura, ecosistema y apoyo en la industria. Además, destaca la dificultad de cambiar la mentalidad en Chile en cuanto a la importancia de la microelectrónica y su relación con la ingeniería eléctrica y diseño de circuitos.

La entrevista también aborda la falta de financiamiento en Chile para la fabricación de chips, así como la imposibilidad de competir con universidades de EE. UU. que cuentan con canales directos con las fábricas y financiamiento para la fabricación.

La PUC ha logrado fabricar chips con financiamiento de Fondecyt y otras becas, pero sigue siendo un desafío para los estudiantes acceder a este mundo.

EL profesor menciona que el desarrollo de otros eslabones de la cadena productiva, como la construcción de salas limpias y la operación de fábricas, es aún más difícil en Chile debido a los altos costos y la falta de infraestructura adecuada. En cuanto a la comercialización de chips, él señala la importancia de contar con un departamento de marketing con ingenieros expertos en el diseño de chips y la capacidad de prever las necesidades del mercado y los desafíos tecnológicos.

En resumen, la perspectiva de Abusleme sugiere que la industria de microchips en Chile enfrenta barreras significativas para su desarrollo y crecimiento. La falta de infraestructura, financiamiento y apoyo en la industria, así como la competencia con empresas líderes y la necesidad de cambiar la mentalidad en el país, representan desafíos importantes. Sin embargo, también ofrece ideas sobre posibles soluciones, como la atracción de empresas extranjeras mediante la reducción de aranceles y la creación de un ecosistema de diseño y producción en el país.

Uno de los aspectos clave mencionados por Abusleme es la necesidad de aumentar la formación y perfeccionamiento en el campo de los microchips en Chile, especialmente a nivel de doctorado. Esto podría facilitar la creación de grupos de investigación y desarrollo de alto nivel en el país, lo que a su vez podría atraer a empresas extranjeras y fomentar la creación de un ecosistema de diseño y producción de microchips en Chile.

Además, el fortalecimiento de la colaboración entre la academia, la industria y el gobierno es crucial para enfrentar los desafíos identificados en la entrevista. Esto incluye la promoción de la investigación y el desarrollo de tecnologías de microchips, así como la creación de políticas que faciliten la inversión en infraestructura y la atracción de talento especializado en el campo.

En términos de aspectos sociales, ambientales y legales, la experiencia del entrevistado también resalta la importancia de abordar estos temas en el desarrollo de la industria de los microchips en Chile. Esto incluye la promoción de prácticas

laborales justas, la minimización de impactos ambientales y la protección de la seguridad y privacidad de la información en la producción de microchips.

Finalmente, la entrevista con Abusleme sugiere que, si bien existen desafíos significativos en el desarrollo de la cadena industrial de los microchips en Chile, también hay oportunidades para el crecimiento y fortalecimiento de la industria en el país. Abordar estos desafíos y aprovechar las oportunidades identificadas en la entrevista será fundamental para alcanzar los objetivos específicos planteados en el análisis de la situación actual de la cadena industrial de los microchips a nivel global y en Chile, así como para proponer estrategias y recomendaciones para el fortalecimiento y crecimiento de esta industria en el país.

Conclusiones preliminares de entrevistas

Los expertos mencionan la importancia de formar profesionales especializados y crear escuela nacional en el diseño de circuitos integrados. Para lograr esto, se deben fortalecer los programas educativos y la capacitación en universidades e instituciones técnicas.

Fomentar la investigación y el desarrollo en el área de circuitos integrados es crucial. Se deben crear centros de investigación especializados y fortalecer los ya existentes, como AC3E, y establecer colaboraciones entre universidades, centros de investigación y empresas del sector.

Establecer alianzas con empresas internacionales del sector, como Synopsys, puede contribuir a la transferencia de conocimientos y tecnologías en el diseño de circuitos integrados y a la creación de empleos especializados en el área.

Apoyar el emprendimiento y la creación de empresas locales en el sector de circuitos integrados es necesario. Se pueden implementar programas de financiamiento, incubadoras de empresas tecnológicas y mentorías para emprendedores en el área de diseño de microchips.

Promover el uso de software de código abierto y plataformas colaborativas puede ayudar a democratizar el acceso a estas tecnologías y reducir las barreras de entrada para profesionales y empresas locales.

Implementar programas de retención de talento en Chile es importante para evitar la fuga de talentos especializados en diseño de circuitos integrados hacia el extranjero (que es lo que ha estado ocurriendo).

Establecer convenios y colaboraciones con empresas internacionales y centros de investigación en la industria de circuitos integrados puede impulsar el desarrollo de la industria electrónica en Chile. Fomentar el emprendimiento en el sector de circuitos integrados y ofrecer apoyo financiero y técnico a startups y proyectos innovadores es fundamental.

Crear una red de colaboración entre universidades, centros de investigación y empresas del sector, tanto a nivel nacional como internacional, facilitaría la cooperación en proyectos de investigación y desarrollo. Promover la formación de profesionales en áreas de especialización que complementen el diseño de circuitos integrados, como la ingeniería de sistemas, la robótica o la inteligencia artificial.

Incentivar la investigación y desarrollo de tecnologías y soluciones específicas para el mercado local e internacional, abordando nichos de mercado o problemáticas particulares de interés para empresas extranjeras.

Desarrollar programas de capacitación y actualización para profesionales del sector, en colaboración con empresas y centros de investigación líderes en la industria. Los expertos destacan la falta de demanda local en la industria electrónica como un desafío. Para enfrentar este problema, se deben buscar oportunidades en nichos de mercado específicos y establecer conexiones con mercados internacionales.

Aprovechar la experiencia y conocimientos en investigación de microchips en universidades chilenas, como la Universidad de Concepción, la PUC y la USM. Fortalecer la colaboración entre Synopsys y universidades chilenas, como la USM, para capacitar a estudiantes en diseño digital y analógico.

Reevaluar y expandir la formación académica en áreas como diseño digital, analógico e híbrido, y asegurar que haya demanda para los profesionales capacitados en estos campos. Asegurar que las alianzas entre empresas internacionales y universidades, como Synopsys y la USM, sean sostenibles y exitosas a largo plazo. Esto implica monitorear y ajustar los acuerdos cuando sea necesario y garantizar un flujo constante de recursos humanos capacitados.

Crear una estrategia nacional que integre los esfuerzos de capacitación, investigación y desarrollo, emprendimiento y colaboración entre actores locales e internacionales. Esta estrategia debe ser flexible y adaptable a los cambios en el mercado y en las necesidades de la industria.

Fomentar una cultura de innovación y colaboración en el sector de circuitos integrados en Chile, promoviendo la participación en competencias internacionales, como las organizadas por IEEE, y el intercambio de conocimientos y experiencias con otros países y regiones con industrias similares.

Propuesta

La industria de circuitos integrados en Chile ha enfrentado una serie de desafíos a lo largo de los años, lo que ha llevado a una falta de desarrollo en el sector incluso a nivel latinoamericano. A pesar de la presencia de empresas líderes en el campo, como Synopsys, y el *know-how* en universidades como la USM, la Universidad de Concepción y la PUC, aún hay dificultades para impulsar la industria y ser parte de la oferta global. Entre las barreras más significativas se encuentran la falta de suficientes profesionales capacitados, el costo de las licencias de software y la necesidad de establecer una conexión con la demanda internacional o bien con los diferentes clusters industriales chilenos.

Para abordar estos desafíos y fomentar el crecimiento del sector de circuitos integrados en Chile, es fundamental explorar soluciones viables y efectivas que

puedan implementarse en el corto plazo. Proponemos aquí que la necesidad sea causa del desarrollo.

1. Corfo como administrador y garante del programa de desarrollo privado-academia.
2. Concursos anuales gremio-academia para desarrollar microchips que den solución a un problema operacional de la respectiva empresa, industria o cluster industrial. El gremio/Corfo financian investigación, diseño, softwares, transferencia tecnológica y visitas de académicos internacionales por temporadas.

La solución propuesta de desarrollar programas de capacitación y actualización en colaboración con empresas y centros de investigación líderes en la industria permitiría a Chile formar parte de la cadena de suministro global de microchips al mejorar significativamente las habilidades y competencias de los profesionales locales en el diseño de circuitos integrados. Al contar con profesionales capacitados y actualizados en las últimas tecnologías y tendencias en el diseño de microchips, Chile estaría en condiciones de ofrecer servicios de diseño especializado y de alta calidad a nivel internacional, posicionándose como un actor relevante en la industria.

En el mediano plazo, esta medida permitiría la creación de empleos de alta calidad y bien remunerados en el país, lo que a su vez impulsaría el crecimiento económico y la innovación en el sector de tecnologías de la información y comunicación. Además, al establecer a Chile como un centro de excelencia en el diseño de circuitos integrados, se fomentaría la atracción de inversión extranjera directa y la creación de alianzas estratégicas con empresas globales, lo que permitiría el acceso a nuevos mercados y oportunidades comerciales.

En resumen, el desarrollo de programas de capacitación y actualización en colaboración con empresas y centros de investigación líderes en la industria permitiría a Chile posicionarse como un actor referente en el diseño de microchips a nivel global, además de tener un impacto significativo en el crecimiento económico y la innovación, tanto a nivel nacional como regional. Esta medida sentaría las bases

para una industria sólida y competitiva en el futuro, beneficiando a Chile y a los países vecinos en el mediano y largo plazo.

Para finalizar, se presentan algunas de las variables mencionadas anteriormente, y se asigna una evaluación de 0 a 10 puntos junto con un peso relativo según la importancia que tiene el aspecto a evaluar desde la perspectiva de quien realiza este análisis.

Ilustración 7 Tabla con los aspectos más relevantes al momento de evaluar tener un Design House de microchips en Chile.

Aspecto a evaluar	Justificación	Evaluación 0-10	Peso relativo	Puntaje
Capital de talento en Chile:	Ha quedado demostrado que en Chile hay talento a nivel internacional, ya que grupos de alumnos de diversas Universidades han participado de concursos internacionales de la materia, y han obtenido excelentes resultados.	8	20%	1,6
Bajo nivel de inversión requerida:	Principalmente se requiere de licencias de software y horas hombre, por lo tanto, la inversión es baja comparada con la inversión que se requiere para instalar una fábrica de microchips.	9	25%	2,3
Existencia de profesionales calificados:	Actualmente, los profesionales de alto nivel en microelectrónica se han capacitado en el extranjero para obtener el conocimiento específico requerido. Acá hay un espacio para mejorar.	3	25%	0,8
Existencia de redes de contacto con foundries:	Las grandes fábricas de circuitos integrados tienen también grandes clientes solicitando producir sus microchips, por lo tanto, será un desafío crear alianzas con las fábrica para obtener físicamente los microchips que se diseñen.	4	10%	0,4
Variedad de industrias objetivo:	Chile cuenta con gran diversidad de mercados locales: minería, celulosa, viñas, salmonicultura, energía, etc. en los cuales se pueden hacer desarrollos a nivel de microelectrónica para automatizar y eficientar los procesos.	8	10%	0,8
Conocimientos de la problemática del cliente:	Resulta más eficiente poder trabajar directamente con personas que esté disponible físicamente, que hablen el mismo idioma y logren decifrar el requerimiento del cliente.	10	10%	1,0
TOTAL				6,8

Conclusiones

Para finalizar, se concluye que tanto el objetivo principal como los específicos se cumplieron, ya que se analizó la situación actual de la cadena de valor industrial de los microchips, se identificó a sus principales participantes, y se analizaron las oportunidades y desafíos para su crecimiento y desarrollo en Chile,

Para lograr lo anterior, actualmente existen desafíos relacionados con la formación de profesionales capacitados, la demanda local y las conexiones internacionales. Para superar estos obstáculos, es crucial abordar los desafíos en términos de capacitación, demanda y alianzas estratégicas con empresas y mercados internacionales.

Tal como destacan los expertos entrevistados, para enfrentar el problema de la falta de demanda local, se propone buscar oportunidades en nichos de mercado específicos y establecer conexiones con mercados internacionales en los que se pueda destacar y crear paso a paso el reconocimiento específico.

La colaboración entre empresas como Synopsys y las universidades chilenas han sido de gran ayuda para los avances que hoy en día existe en esta materia, por lo que se sugiere fortalecer alianzas con las empresas relacionadas al diseño de softwares, y de esta manera dar una mejor aproximación a los estudiantes de lo que es el diseño de circuitos integrados y su potencial.

Finalmente, una vez que Chile pueda contar con profesionales capacitados y actualizados en las últimas tecnologías y tendencias en el diseño de microchips, estaría en condiciones de ofrecer servicios de diseño especializado y de alta calidad a nivel internacional, posicionándose como un actor relevante en la industria

Bibliografía

Abassi, I. (30 de Agosto de 2022). *A Closer Look at Semiconductor Test Equipment*.

Recuperado el 06 de Abril de 2023, de AZO Materials:
<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=21992>

Abbasi, I. (09 de Mayo de 2022). *Why and How Do We Dope Semiconductors?*

Recuperado el 26 de Marzo de 2023, de AZO Materials:
<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=21657#:~:text=The%20merging%20of%20impure%20particles,of%20elements%20known%20as%20dopants.>

AC3E. (17 de 06 de 2022). <https://ac3e.usm.cl/>. Recuperado el 01 de 08 de 2023,

de <https://ac3e.usm.cl/proyecto-de-equipo-ac3e-es-seleccionado-para-participar-en-competencia-internacional-de-diseno-de-microchips/>

AC3E.usm.cl. (2023). Recuperado el 01 de 08 de 2023, de AC3E.usm.cl:

<https://ac3e.usm.cl/equipo-ac3e-gana-competencia-de-circuitos-integrados-ieee-sscs-code-a-chip-y-asistira-a-reconocida-conferencia-de-microelectronica-en-japon/>

anysilicon. (15 de Mayo de 2022). *Guide to Semiconductor Wafer Sort*. Recuperado

el 06 de Abril de 2023, de anysilicon: <https://anysilicon.com/guide-semiconductor-wafer-sort/>

Arcos, C. (21 de julio de 2022).

<https://www.biobiochile.cl/biobiotv/programas/expresopm/2021/07/21/angel-abusleme-es-terriblemente-caro-establecer-un-proceso-de-produccion-de-chips-constantesshtml>. Recuperado el 28 de Abril de 2023, de biobiochile:
<https://www.biobiochile.cl/biobiotv/programas/expresopm/2021/07/21/angel-abusleme-es-terriblemente-caro-establecer-un-proceso-de-produccion-de-chips-constantesshtml>

Arellano, R., Burki, S., Claro, S., Condo, A., & Figueroa, L. (11 de Octubre de 2014).

THE EMERGENCE OF CHINA: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES FOR

*LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN *}. Recuperado el 18 de Marzo de 2023, de INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK: http://ctrc.sice.oas.org/geograph/caribbean/China_idb.pdf*

Arvind Patil, C. (09 de Enero de 2022). *The Impact Of Testing In Semiconductor Manufacturing*. Recuperado el 06 de Abril de 2023, de chetanpatil: <https://www.chetanpatil.in/the-impact-of-testing-in-semiconductor-manufacturing/>

ASML. (17 de Febrero de 2022). *The basics of microchips*. Recuperado el 26 de Marzo de 2023, de ASML: <https://www.asml.com/en/technology/all-about-microchips/microchip-basics>

Automática e instrumentación. (203 de Enero de 2020). *Microchip facilita el cumplimiento de los requisitos de seguridad funcional*. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de Automática e instrumentación: <https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2734946/microchip-facilita-cumplimiento-requisitos-seguridad-funcional>

Bahukudumbi, S. (27 de Julio de 2018). *WAFER-LEVEL TESTING AND TEST PLANNING FOR INTEGRATED CIRCUITS*. Recuperado el 06 de Abril de 2023, de Duke University: https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/701/D_Bahukudumbi_Sudarshan_a_200808.pdf;sequence=1

Banafa, A. (08 de Septiembre de 2022). *Microchips in humans: consumer-friendly app, or new frontier in surveillance?* Recuperado el 26 de Marzo de 2023, de Bulletin of the Atomic Scientist: <https://thebulletin.org/premium/2022-09/microchips-in-humans-consumer-friendly-app-or-new-frontier-in-surveillance/#:~:text=A%20human%20microchip%20implant%20is,body%20of%20a%20human%20being>.

- Bellis, M. (10 de Enero de 2021). *Who Invented the Microchip?* Recuperado el 26 de Marzo de 2023, de ThoughtCo: <https://www.thoughtco.com/what-is-a-microchip-1991410>
- Bitran, E. (20 22 de Julio de 2014). *Estrategia Nacional de Innovación para la Competitividad*. Recuperado el 19 de Marzo de 2023, de CONSEJO NACIONAL DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD: <https://www.conicyt.cl/wp-content/uploads/2012/10/eduardobitran.pdf>
- Boyle, M., & Beer, K. (27 de Julio de 2022). *The Main Types of Chips Produced by Semiconductor Companies*. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de Investopedia: <https://www.investopedia.com/ask/answers/042115/what-are-main-types-chips-produced-semiconductor-companies.asp>
- CEPAL. (55 de diciembre de 2014). *Global value chains and world trade*. Recuperado el 18 de mazo de 2023, de CEPAL: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37041/S2014061_en.pdf?sequence=1
- Chalmeta, R., & Santor, N. (22 de Marzo de 2020). *MDPI*. Recuperado el 18 de Marzo de 2023, de Sustainable Supply Chain in the Era of Industry 4.0 and Big Data: A Systematic Analysis of Literature and Research: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/10/4108>
- Chepesiuk, R. (11 de Septiembre de 2019). *Where the chips fall: environmental health in the semiconductor industry*. Recuperado el 26 de Marzo de 2023, de National Library of Medicine: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1566445/#:~:text=According%20to%20industry%20critics%2C%20the,of%20the%20semiconductor%20manufacturing%20process.>
- Chon, F., Tura, Y., & Abas, A. (22 de Diciembre de 2019). *A novel analytical filling time chart for design optimization of flip-chip underfill encapsulation process*. Recuperado el 06 de Abril de 2023, de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/336363100_A_novel_analytical_fill

ing_time_chart_for_design_optimization_of_flip-
chip_underfill_encapsulation_process

Curiac, C., & Doboli, A. (17 de Agosto de 2022). *Combining informetrics and trend analysis to understand past and current directions in electronic design automation*. Recuperado el 18 de Marzo de 2023, de SpringerLink: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-022-04481-9>

DatacenterDynamics . (12 de Agosto de 2021). *Los tiempos de espera para la entrega de chips llegan hasta las 20,2 semanas a medida que se prolonga la escasez de semiconductores*. Recuperado el 06 de Abril de 2023, de datacenterdynamics: <https://www.datacenterdynamics.com/es/noticias/los-tiempos-de-espera-para-la-entrega-de-chips-llegan-hasta-las-202-semanas-a-medida-que-se-prolonga-la-escasez-de-semiconductores/>

Diario Concepción. (2022). *Diario Concepción*. Recuperado el 01 de 08 de 2023, de <https://www.diarioconcepcion.cl/ciencia-y-sociedad/2022/02/04/equipo-ubb-fabrica-primer-chip-digital-de-chile-basado-en-herramientas-libres.html>

Electricidad, P. (16 de 09 de 2023). Obtenido de <https://www.revistaei.cl/2023/01/10/ac3e-y-synopsys-chile-desarrollan-programa-de-pasantias-para-formacion-en-diseno-de-circuitos-integrados/#>

europartners. (15 de septiembre de 2021). *Semiconductors' crisis: The great supply chain disruption*. Recuperado el 18 de Marzo de 2023, de europartners: <https://www.europartnersgroup.com/global-motion/semiconductors-crisis-the-great-supply-chain-disruption/>

Fegan, D. (27 de julio de 2020). *Evolution of the microchip*. Recuperado el 26 de Marzo de 2023, de ria: <https://www.ria.ie/news/library-library-blog/evolution-microchip>

GILLES, K., & PHAM-VAN-DIEP, G. (11 de Febrero de 2021). *Encapsulation*. Recuperado el 06 de Abril de 2023, de Semiconductor Digest: <https://sst.semiconductor-digest.com/2004/10/step-10-encapsulation-imaterials-processes-and-equipment-i/>

Hamble, M. (04 de Marzo de 2022). *Broadcom sees more chip backlogs amid record revenues of \$7.7B*. Recuperado el 06 de abril de 2023, de FIERCE ELECTRONICS: <https://www.fierceelectronics.com/electronics/broadcom-sees-more-chip-backlog-amid-record-revenues-77b>

Hipertextual.com. (09 de 2020). Recuperado el 11 de 08 de 2023, de <https://hipertextual.com/2020/09/quien-es-quien-chips-huawei>

<https://ac3e.usm.cl/>. (s.f.). Obtenido de <https://ac3e.usm.cl/proyecto-de-equipo-ac3e-es-seleccionado-para-participar-en-competencia-internacional-de-diseno-de-microchips/>

Huddleston, C. (11 de Abril de 2007). *Intelligent Sensor Design*. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de https://cloudflare-ipfs.com/ipfs/bafykbzacec7a44pykdvoheo47yvseba7rkjnagoye2xjvqx3ke5x576jllwqe?filename=%28Embedded%20technology%20series%29%20Cree%20Huddleston%20-%20Intelligent%20Sensor%20Design%20Using%20the%20Microchip%20dSPIC-Elsevier_Newnes%20%282

Ismail, M. (23 de Febrero de 2021). *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*. Recuperado el 18 de Marzo de 2023, de Springer: <https://www.springer.com/journal/10470>

Jaeger, R. (15 de Septiembre de 2013). *Introduction - To.microelectronic - Fabrication R.C.jaeger*. Recuperado el 18 de Marzo de 2023, de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/168374759/Introduction-to-Microelectronic-fabrication-R-C-jaeger>

Knechtel, J., Patnaik, S., & Sinanoglu, O. (24 de Febrero de 2019). *Protect Your Chip Design Intellectual Property: An Overview*. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de New York University: <https://arxiv.org/pdf/1902.05333.pdf>

Kuo, T.-C., Kuo, C.-Y., & a, L.-W. C. (11 de julio de 2022). *Assessing environmental impacts of nanoscale semi-conductor manufacturing from the life cycle assessment perspective*. Recuperado el 19 de marzo de 2023, de

sciencedirect:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344922001379>

LAPEDUS, M. (20 de Enero de 2022). *200mm Shortages May Persist For Years*.

Recuperado el 06 de Abril de 2023, de Semiconductor Engineering:
<https://semiengineering.com/200mm-shortages-may-persist-for-years/#:~:text=But%20200mm%20is%20a%20different,enough%20capacity%20to%20meet%20demand.>

Lowaton, A., & Bañez, B. (05 de Diciembre de 2019). *ESD protection circuit for V-band RF applications in a 65nm CMOS technology*. Recuperado el 18 de Marzo de 2023, de Materials Science and Engineering:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/600/1/012025/pdf>

Mark, C. (22 de Mayo de 2021). *diffusion*. Recuperado el 26 de Marzo de 2023, de PCMAG: <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/diffusion>

MICROCHIP. (17 de Enero de 2005). *MICROCHIP OVERVIEW, QUALITY SYSTEMS AND CUSTOMER INTERFACE SYSTEMS HANDBOOK*. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de MICROCHIP:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/00169c.pdf>

Microchip. (22 de Mayo de 2021). *Quick Guide to Microchip Development Tools*. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de Microchip:
<https://www.microchip.com/content/dam/mchp/documents/DEV/ProductDocuments/Brochures/50001894J.pdf>

Monge.Ricardo. (22 de marzo de 2017). *Moving Up the Global Value Chain: The case of Intel Costa Rica*. Recuperado el 18 de marzo de 2023, de ILO:
https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/documents/publication/wcms_584208.pdf

N. Weste, K. E. (11 de Diciembre de 2021). *Principles of CMOS VLSI Design: A Systems Perspective*. Recuperado el 18 de Marzo de 2023, de Addison Wesley Publishing Company: <https://book.jobscaptain.com/principles-of-cmos-vlsi-design-a-systems-perspective/>

Niehoff, M. (11 de Enero de 2019). *Calibre DRC, LVS and DFM* . Recuperado el 10 de Abril de 2023, de Mentor: https://maltsystem.ru/images/article/MSU-MENTOR/MENTOR_Calibre_DRC_LVS_DFM.pdf

noticias.usm.cl. (2012). *noticias.usm.cl.* Obtenido de <https://noticias.usm.cl/2012/07/17/sansanos-son-los-primeros-estudiantes-chilenos-en-fabricar-chips-en-ee-uu/>

Penn Today. (16 de Noviembre de 2022). *Novel 'tunneling' design for energy-efficient chips*. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de Penn Today: <https://penntoday.upenn.edu/news/penn-engineering-novel-tunneling-design-energy-efficient-chips>

Prickett Morgan, T. (12 de enero de 2023). *THE HIGHLY PROFITABLE CHIP MAKING MONOPOLY CALLED TSMC*. Recuperado el 06 de Abril de 2023, de The next platform: <https://www.nextplatform.com/2023/01/12/the-highly-profitable-chip-making-monopoly-called-tsmc/>

Revista Electroindustria. (04 de 2013). *Revista Electroindustria*. Obtenido de <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2043&ni=microelectronica-en-chile-tecnologia-de-punta-que-demanda-una-mayor-inversion>

Techwalla. (22 de Abril de 2021). *What Are the Different Types of Microchips?* Recuperado el 26 de Marzo de 2023, de Techwalla: <https://www.techwalla.com/articles/what-are-the-different-types-of-microchips>

Timings, J. (06 de Octubre de 2021). *6 crucial steps in semiconductor manufacturing*. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de ASML: <https://www.asml.com/en/news/stories/2021/semiconductor-manufacturing-process-steps>

USM.cl. (17 de 07 de 2012). *noticias.usm.cl.* Obtenido de <https://noticias.usm.cl/2012/07/17/sansanos-son-los-primeros-estudiantes-chilenos-en-fabricar-chips-en-ee-uu/>

- Valuing Water Initiative. (10 de Febrero de 2022). *Making the microchips for our gadgets – with water in mind*2023. Obtenido de Valuing Water Initiative: <https://valuingwaterinitiative.org/making-the-microchips-for-our-gadgets-with-water-in-mind/>
- Vlasblom, A. (11 de NOVIEMBRE de 2018). *Corporate social responsibility in the global electronics supply chain*. Recuperado el 19 de marzo de 2023, de |RESET: https://electronicswatch.org/reset-corporate-social-responsibility-in-the-global-electronics-sector-_6126.pdf
- Wang, M. (25 de Marzo de 2022). *From scratch, how many steps does it take to make a chip?* Recuperado el 10 de Abril de 2023, de LinkEdin: <https://www.linkedin.com/pulse/from-scratch-how-many-steps-does-take-make-chip-mia-wang/>
- Woordward, M., Waltin, B., & Hamilton, J. (28 de Julio de 2020). *Electric vehicles:Electric vehicles*. Recuperado el 06 de Abril de 2023, de Deloitte: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html>
- Wu, D., Kim, S., & King, I. (24 de noviembre de 2021). *Why the World Is Short of Computer Chips, and Why It Matters*. Recuperado el 06 de Abril de 2023, de Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-02-17/the-world-is-short-of-computer-chips-here-s-why-quicktake?leadSource=uverify%20wall>