



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
ICADE

**LA DISRUPCIÓN DE LOS CHIPS
FOTÓNICOS: UNA OPORTUNIDAD PARA
LA AUTOSUFICIENCIA TECNOLÓGICA
DE ESPAÑA Y EUROPA FRENTE A
ESTADOS UNIDOS**

Autor: Elena Roselló Frasquet
Director: M^a Luisa Blázquez de la Hera

MADRID | Marzo 2025

Resumen ejecutivo: En los últimos años, Europa ha quedado relegada a un segundo plano en relación a la tecnología. Otras potencias como Estados Unidos o China han sabido adaptarse rápidamente a los cambios e invertir en investigación y desarrollo, mientras que Europa ha ido perdiendo productividad con el paso de los años. Actualmente, vivimos en un mundo altamente digitalizado en el que cada avance tecnológico supone una mejora en el resto de sectores de la sociedad y los chips son la base de todas estas tecnologías. Ante este panorama, los chips fotónicos representan una gran oportunidad para España y Europa, en su camino hacia una mayor autosuficiencia tecnológica frente a otras potencias, como Estados Unidos. Si bien no son la única vía para lograr este objetivo, su desarrollo podría suponer una ventaja competitiva importante, contribuyendo a reducir la brecha digital actual.

Este trabajo analiza el sector de los chips fotónicos y su impacto potencial en múltiples industrias. Asimismo, tras analizar la industria, la competencia del sector y las amenazas y oportunidades, se proponen medidas para que España y Europa logren posicionarse como líderes en esta tecnología emergente, potenciando su competitividad en el mercado global y reduciendo la dependencia de terceros.

Palabras clave: Chips fotónicos, ventaja competitiva, innovación, investigación y desarrollo, tecnología, eficiencia.

Executive summary: In recent years, Europe has been relegated to a secondary position in the field of technology. Other global powers, such as the United States and China, have been able to quickly adapt to changes and invest in research and development, whereas Europe has gradually lost productivity over time. Nowadays, we live in a highly digitalized world where each technological advancement drives progress across various sectors of society, with chips serving as the foundation of all these technologies. In this context, photonic chips represent a major opportunity for Spain and Europe on their path toward greater technological self-sufficiency in relation to other global powers, such as the United States. While they are not the only way to achieve this goal, their development could provide a significant competitive advantage, contributing to the reduction of the current digital divide.

This study examines the photonic chip sector and its potential impact across multiple industries. Additionally, after analyzing the industry, market competition, and the associated threats and opportunities, this research proposes a set of strategic measures for Spain and Europe to position themselves as leaders in this emerging technology, strengthening their global competitiveness and reducing their dependence on external players.

Key words: Photonic chips, competitive advantage, innovation, research and development, technology, efficiency.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a ICADE por brindarme las herramientas y el entorno adecuado para llevar a cabo mi formación académica.

Agradecer también a M^a Luisa, mi tutora, por su dedicación y consejos a lo largo de todo el proceso.

A mi madre, por ser mi ejemplo a seguir y apoyarme incondicionalmente. A mi padre, por estar a mi lado en los momentos más difíciles y recordarme que todo esfuerzo tiene su recompensa. A Sandra, por ser una fuente de inspiración y ayudarme y motivarme en todo momento.

A toda mi familia, por ser un pilar fundamental en mi vida, con especial mención a Rafi, por animarme constantemente.

A mis amigos, por todos los momentos y risas compartidas que me han ayudado a desconectar cuando lo he necesitado.

Por último, quería agradecer a Dmitry Rizol y a Carlos G. Triviño por la oportunidad que me ofrecieron para conocer, desde una perspectiva más realista, el sector de los chips fotónicos.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	8
2.	JUSTIFICACIÓN	9
3.	OBJETIVOS	10
4.	METODOLOGÍA	12
5.	MARCO TEÓRICO.....	14
5.1.	Evolución de la industria de semiconductores	14
5.2.	Industria de los chips fotónicos.....	16
5.2.1.	Principales actores en este sector.....	19
5.2.2.	Posicionamiento de los países a nivel mundial.....	25
5.2.3.	Impacto potencial de los chips fotónicos en diferentes industrias.....	29
6.	ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA	32
6.1.	Análisis PESTEL	32
6.2.	Modelo de las 5 Fuerzas de Porter	42
6.3.	Análisis FODA.....	46
7.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	56
8.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	60
9.	DECLARACIÓN DE USO DE HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA EN TRABAJOS FIN DE GRADO	61
10.	BIBLIOGRAFÍA	62
11.	ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estimación del volumen de negocio de los PICs (millones de \$)	19
Figura 2. Mercado global de la fotónica por segmento de aplicación 2019 (miles de millones de \$). 30	
Figura 3. Evolución del número de componentes en un PIC	73
Figura 4. Estado de la tecnología	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los chips fotónicos	17
Tabla 2. Actores de la industria de los chips fotónicos.....	24
Tabla 3. PESTEL	41
Tabla 4. Modelo de las 5 Fuerzas de Porter	46
Tabla 5. Análisis FODA	55

LISTADO DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- AESEMI: Asociación Española de la Industria de Semiconductores
- ASML: Advanced Semiconductor Materials Lithography
- A*STAR: Agency for Science, Technology and Research
- CEO: Chief Executive Officer
- CNM: Centro Nacional de Microelectrónica
- CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- DIANA: Defense Innovation Accelerator North Atlantic
- EPD: Electronic Paper Display
- FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas
- GaAs: Arseniuro de galio
- IA: Inteligencia Artificial
- IBM: International Business Machines
- ICFO: Instituto de Ciencias Fotónicas
- I+D+i: Investigación y Desarrollo e innovación
- IMB: Instituto de Microelectrónica de Barcelona
- IMEC: Centro Interuniversitario de Microelectrónica
- IMRE: Institute of Materials Research and Engineering
- InP: Fosforo de Indio
- LCD: Liquid Crystal Display
- LED: Light Emitting Diode
- MIT: Massachusetts Institute of Technology
- OLED: Organic Light Emitting Diode
- OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte
- PERTE: Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica
- PESTEL: Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico, Legal
- PIC: Circuito Integrado Fotónico
- PPP: Asociación Público-Privada
- PYME: Pequeña y Mediana Empresa
- Si: Silicio
- SME: Semiconductores de Materiales Exóticos
- SoC: System on Chip

- SPIE: Sociedad Internacional de Óptica y Fotónica
- TFE: Tecnología Facilitadora Esencial
- TSMC: Taiwan Semiconductor Manufacturing Company
- UC3M: Universidad Carlos III de Madrid
- UE: Unión Europea
- UPV: Universitat Politècnica de València
- UVigo: Universidad de Vigo
- VaSiC: Valencia Silicon Cluster

1. INTRODUCCIÓN

La transformación digital ha sido el motor de crecimiento y competitividad global en las últimas décadas. Cada región ha avanzado a un ritmo diferente, y como resultado, Europa se enfrenta actualmente a un gran desafío, pues su productividad no crece a la misma velocidad que otras potencias y depende en gran medida de tecnologías extranjeras, especialmente en el sector de semiconductores. En un mundo donde la Inteligencia Artificial (IA) y la gestión de grandes cantidades de datos son clave para el liderazgo económico, la falta de autosuficiencia en chips supone un riesgo estratégico. En el panorama actual, Europa está buscando alternativas para no quedarse atrás en esta nueva era digital, mientras que Estados Unidos y China refuerzan su posición en la industria.

Los chips fotónicos emergen como una solución disruptiva con el potencial de reconfigurar el panorama tecnológico. Se trata de microprocesadores que utilizan fotones (luz) para procesar y transmitir la información, a diferencia de los chips electrónicos convencionales, que utilizan electrones. Esta innovación podría revolucionar la industria informática y de telecomunicaciones, pues este tipo de chip, al utilizar la luz, consume menos energía y es bastante más veloz y óptimo que el habitual (Noticias de la Ciencia y la Tecnología, 2024). Por tanto, la importancia de los chips fotónicos se encuentra en el impacto potencial y revolucionario que ofrece en diversos sectores, pues las tecnologías actuales están llegando a sus límites en términos de capacidad, rapidez y exactitud (Comisión Europea, s.f.-a).

En primer lugar, este tipo de microprocesadores se pueden aplicar en el ámbito de la medicina, ya que la biofotónica (el uso de la fotónica en la rama sanitaria), sería capaz de detectar enfermedades con técnicas no invasivas de manera muy eficiente. Asimismo, la tecnología fotónica serviría para almacenar y procesar grandes cantidades de información en los centros de datos y adquirir Internet de manera más rápida y barata (Comisión Europea, s.f.-a).

En cuanto al sector de defensa y seguridad, esta innovación es clave para emplearla en sistemas de radares avanzados, vigilancia y comunicaciones encriptadas. Igualmente, sería de gran utilidad en el sector energético, pues además de suministrar energía de mayor calidad, sería notablemente más económica. Por último, dichos chips se podrían emplear en un gran número de industrias para incrementar la productividad y convertirlas en áreas más competitivas, desde telecomunicaciones, automoción o aeroespacial hasta en los sectores de entretenimiento o fintechs (industria financiera) (Comisión Europea, s.f.-a).

La industria de semiconductores es un sector estratégico y los chips fotónicos poseen el potencial de cambiar las dinámicas de un mercado que está dominado por un grupo reducido de actores dominantes. En este contexto, España y Europa no deben dejar pasar esta oportunidad estratégica, ya que apostar por los chips fotónicos reforzaría su soberanía tecnológica y ganaría influencia en el mercado tecnológico global. No obstante, para que esta transición sea efectiva, es necesario abordar los desafíos que implican la adopción de esta tecnología. La falta de infraestructura, la escasez de financiación y la necesidad de simplificar la regulación son algunas de las barreras de entrada que podrían atrasar la implementación de los chips fotónicos. Por ello, esta investigación se centrará en evaluar las oportunidades y amenazas que supone la adopción de esta tecnología, con un enfoque especial en cómo pueden convertirse en una ventaja competitiva para España y Europa.

La presente investigación está dividida en varias secciones: en la primera parte se analizará el marco teórico, donde se explicarán los conceptos clave relacionados a esta industria. Asimismo, se realizará un análisis profundo de la literatura existente sobre los chips fotónicos. Seguidamente, se llevará a cabo un análisis utilizando herramientas estratégicas como el análisis PESTEL, que permitirá evaluar el impacto de los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales; el modelo de las 5 Fuerzas de Porter, que analizará la competitividad del sector; y un análisis FODA centrado en España, con el objetivo de identificar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. A través de este estudio, se evidenciará el potencial transformador de los chips fotónicos y su papel en la reconfiguración del equilibrio tecnológico global. Por último, se finalizará con las conclusiones y recomendaciones, resaltando también las posibles líneas de investigación futura.

2. JUSTIFICACIÓN

España y Europa se enfrentan a importantes desafíos relacionados con la falta de productividad y la necesidad de mejorar la competitividad en un entorno global cada vez más digitalizado. En este contexto, la digitalización ha sido un factor clave, pues ha contribuido a aproximadamente a la mitad de las mejoras en productividad en los últimos años, logrando consolidarse como uno de los principales catalizadores de desarrollo económico. A pesar de estos avances, existe una brecha tecnológica considerable que limita la capacidad de Europa para competir al mismo nivel que otras potencias tecnológicas como Estados Unidos y China.

Los chips fotónicos hacen referencia a una tecnología emergente que podría transformar las tecnologías actuales. Su importancia tecnológica es trascendental, dada su influencia significativa en

términos económicos, sociales y sostenibles. En este escenario, la inteligencia artificial (IA) ha revolucionado múltiples sectores. Estados Unidos y China se encuentran en una carrera tecnológica por liderar el mercado de la IA, y la realidad es que dicha carrera está marcada en gran medida en torno a la carrera de los chips. Estos son esenciales para alimentar los centros de datos donde se entrenan los modelos de IA, ya que requieren de una gran capacidad de procesamiento. Por tanto, los chips fotónicos tienen el potencial de marcar la diferencia, pues son bastante más eficientes que los tradicionales. De esta forma, España y Europa se podrían posicionar y ganar influencia en el mercado al adoptar esta tecnología.

Además de encontrar una solución a los problemas de productividad europeos, esta innovación también representa una oportunidad estratégica para mejorar la autosuficiencia tecnológica de Europa. A medida que las grandes potencias tecnológicas lideran el avance en distintas áreas tecnológicas, la implementación de los chips fotónicos podría permitir a Europa mantener su relevancia en la carrera tecnológica global.

No obstante, al tratarse de una innovación que aún se encuentra en las fases iniciales de desarrollo e implementación, los estudios actuales existentes que abordan este tema desde un punto de vista estratégico son escasos. En consecuencia, con este trabajo se pretende abordar las cuestiones relacionadas con la proyección estratégica de los chips fotónicos y su capacidad para convertirse en una fuente de ventaja competitiva. Para ello, se realizará un estudio para entender el impacto completo de dichos chips y así aprovechar su potencial de la manera más eficiente posible, contribuyendo así a posicionar a España y Europa como líderes en la innovación tecnológica global.

3. OBJETIVOS

La finalidad principal de este trabajo es analizar las posibles ventajas competitivas que pueden surgir de la adopción de los chips fotónicos en las tecnologías actuales de múltiples países, con un enfoque especial en España y Europa. A medida que esta tecnología se va desarrollando en un mundo cada vez más tecnológico y digitalizado, es importante comprender cómo su disrupción podría transformar por completo las dinámicas tradicionales del mercado. Por consiguiente, se analizará la manera en la que los chips fotónicos pueden actuar como un impulsor de la innovación que fortalezca la competitividad de las economías, especialmente frente a la creciente carrera tecnológica entre actores como Estados Unidos y China. Asimismo, se explorará cómo su implementación puede reforzar la posición de las empresas y sectores clave, ayudándoles a convertirse en actores más sólidos

y estratégicos en un mercado global cada vez más desafiante.

Respecto a los objetivos específicos, se plantea:

- **Investigar la evolución de la industria de semiconductores, particularmente sobre el desarrollo de los chips fotónicos, comprendiendo sus avances tecnológicos y los hitos clave que han permitido su integración en aplicaciones actuales.** Se pretende comprender los fundamentos que hay detrás de este desarrollo tecnológico y las implicaciones técnicas que va a suponer incorporar esta innovación a la tecnología existente. Es fundamental entender esto para poder integrar estos chips a las tecnologías de vanguardia, como la inteligencia artificial y la computación cuántica. Además, se explorará cómo esta tecnología, aún en fases iniciales de adopción, está abriendo nuevas posibilidades para la creación de infraestructuras más eficientes y sostenibles, ofreciendo de esta forma, una base sólida para la investigación futura.
- **Estudiar cómo los chips fotónicos pueden cambiar las estructuras de mercado existentes y cómo va a afectar a la competitividad de las industrias.** Sectores como las telecomunicaciones, la inteligencia artificial y los centros de datos están experimentando una profunda transformación gracias a los avances tecnológicos. Los chips fotónicos, al ofrecer mayor velocidad, menor consumo energético y mayor capacidad de integración, pueden revolucionar estos sectores. Se trata de investigar los sectores clave que ya están experimentando una transformación en su industria debido a la implementación de esta nueva tecnología.
- **Explorar los factores macroeconómicos que influyen en la industria a través del análisis PESTEL** Las tensiones geopolíticas, las fluctuaciones económicas o las regulaciones legales son algunos ejemplos de factores que afectan a esta tecnología. Por este motivo, se pretende determinar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que impactan en la evolución y desarrollo del sector de los chips fotónicos.
- **Analizar la estructura competitiva a través del modelo de las 5 Fuerzas de Porter.** Se trata de estudiar el entorno competitivo en el que operan los actores de la industria para identificar los factores clave que se necesitan para estar a la vanguardia de esta tecnología. Para ello, se evaluará el poder de negociación de los clientes, el poder de los proveedores, la amenaza de productos sustitutos, la amenaza de nuevos competidores y la rivalidad actual en la industria.

Estos factores ayudarán a identificar los elementos que determinarán la rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

- **Realizar un análisis FODA enfocado en España para determinar el proceso de transición hacia la autosuficiencia tecnológica.** La dependencia que tiene España y Europa respecto a potencias extranjeras en el desarrollo de tecnologías clave y de semiconductores plantean un desafío importante. Por tanto, se analizarán qué acciones se deben llevar a cabo para que España y Europa consigan reducir su dependencia tecnológica y generar una ventaja competitiva en sectores estratégicos, como las telecomunicaciones, la inteligencia artificial y en las industrias de defensa y aeroespacial, entre otros.
- **Evaluar la sostenibilidad de la ventaja competitiva procedente de la adopción de los chips fotónicos al mercado global.** Se espera determinar cuáles son los factores clave de éxito, que permitirán establecer estrategias para consolidar la ventaja competitiva y así poder garantizar su perdurabilidad en el tiempo. Asimismo, se explorarán las barreras potenciales para la adopción masiva de esta tecnología y se propondrán soluciones para superarlas.

4. METODOLOGÍA

Para abordar los objetivos planteados, este trabajo se ha centrado en un enfoque de naturaleza cualitativa, dado el carácter innovador y disruptivo del tema de estudio. Al tratarse de una tecnología emergente como los chips fotónicos, ha sido necesario obtener una visión global que permitiera entender el impacto potencial de esta tecnología. Por ello, se han empleado tanto fuentes primarias como secundarias para ofrecer una perspectiva completa y detallada.

En relación a las fuentes primarias, se han realizado diversas entrevistas con expertos destacados en el ámbito tecnológico. La primera entrevista fue con Dmitry Rizol, responsable europeo de I+D de Samsung Digital Signage, quien, con su amplia experiencia en el desarrollo e implementación de tecnologías avanzadas, proporcionó diferentes perspectivas acerca de los desafíos de estos chips en el sector de las pantallas destinadas al gran consumo. La segunda entrevista fue con Carlos G. Triviño, CEO de Gobernanza Industrial y Secretario de Valencia Silicon Cluster. Su conocimiento sobre el ecosistema tecnológico y los clústeres de innovación en España y Europa ayudaron a comprender el papel estratégico que los chips fotónicos pueden desempeñar en la consolidación de Europa como un actor importante frente a otros competidores globales, como Estados

Unidos y China. Por último, se asistió a una reunión de trabajo sobre el capítulo de semiconductores del Informe Draghi. El evento lo organizaron AESEMI (Asociación Española de la Industria de Semiconductores) y Valencia Silicon Cluster y se discutieron los principales desafíos y oportunidades que presenta el sector, así como la hoja de ruta a seguir para que España logre posicionarse como un actor fuerte en el mercado.

Esta información se complementó con los resultados obtenidos de fuentes secundarias, que proporcionaron un marco más amplio y contextualizado para entender el impacto de esta tecnología. Para ello, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente para comprender el estado actual de la industria de los chips fotónicos.

Respecto a las fuentes secundarias, se ha recurrido a una variedad de fuentes confiables y actualizadas. Entre ellas se incluyen informes de consultoras como McKinsey, Deloitte y KPMG, que ofrecen una visión detallada sobre la evolución de las tecnologías disruptivas y las tendencias globales. También se han consultado informes estratégicos de la Comisión Europea, así como fuentes de actualidad como el Informe Draghi, que aborda los desafíos y propuestas para establecer la estrategia a nivel europeo.

Además, se han utilizado artículos científicos y revistas académicas para profundizar en el estado del arte de los chips fotónicos y sus aplicaciones, cuyos recursos han sido obtenidos de plataformas especializadas del sector, como ICFO (Instituto de Ciencias Fotónicas); Fotónica 21 (la Plataforma Tecnológica Española de Fotónica); SPIE (la Sociedad Internacional de Óptica y Fotónica); y la Sociedad Española para la Transformación Tecnológica. Asimismo, se ha recurrido a libros especializados y universidades de prestigio como la Universidad Politécnica de Valencia, EDEM, y la Universidad de Vigo.

El análisis también incluye fuentes gubernamentales y de ministerios que proporcionan datos sobre políticas y subvenciones tecnológicas, como el PERTE Chip, así como documentos de organismos como el Real Instituto Elcano, que ofrece estudios sobre geopolítica y competitividad económica en el ámbito tecnológico.

Por último, se ha consultado la información proveniente de empresas de renombre en el sector de los semiconductores y fotónica, como iPrionics, SPARC Foundry, Indra y Telefónica, que tienen una participación activa en la investigación, desarrollo y comercialización de tecnologías fotónicas. Estas fuentes complementan el marco teórico, aportando datos relevantes sobre el avance y la adopción de los chips fotónicos en el contexto global.

En relación al análisis realizado, se han utilizado varias herramientas estratégicas ampliamente conocidas. En primer lugar, el análisis PESTEL se ha usado para entender el impacto de los factores macroeconómicos que afectan al entorno global de los chips fotónicos. Este análisis cubre los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales, consiguiendo anticiparse a las alteraciones en el entorno y adaptándose mejor a dichos cambios.

A continuación, se ha utilizado el modelo de las 5 Fuerzas de Porter para evaluar las dinámicas competitivas dentro del sector de los chips fotónicos. Se han analizado las fuerzas que impactan en la industria, que son el poder de los clientes, el poder de los proveedores, la amenaza de productos sustitutos, la amenaza de nuevos competidores y la rivalidad entre los competidores actuales. Esto ha permitido identificar las oportunidades de diferenciación que los países pueden aprovechar para mejorar su competitividad.

Finalmente, se ha desarrollado un análisis FODA centrado en España. Si bien la industria de los chips fotónicos es un sector con implicaciones globales, este análisis FODA se ha centrado en España debido a su creciente interés en potenciar su industria de semiconductores y fotónica. A través de iniciativas como el PERTE Chip y la consolidación de clústeres tecnológicos, España busca posicionarse como un actor relevante en el ecosistema europeo. Por ello, evaluar sus fortalezas y debilidades a nivel interno, y sus amenazas y oportunidades a nivel externo, han permitido comprender mejor su papel dentro del panorama europeo y global, identificando los factores clave que podrían favorecer su competitividad en esta industria emergente.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Evolución de la industria de semiconductores

Los semiconductores son materiales que pueden actuar como conductores o aislantes y sirven, entre otros aspectos, para la fabricación de componentes electrónicos, como los transistores (Mercado, Facio, Flores y Moya, 2016). El germanio fue el primer elemento utilizado como semiconductor en la industria, pero su uso no es abundante, dado que la escasez del material lo convierte en un recurso de coste elevado (Jiménez, 2023). Por tanto, en la actualidad, el elemento más conocido, tanto por su abundancia como por su bajo coste, es el silicio (Mercado et al., 2016).

Existen dos tipos de semiconductores: los intrínsecos y los extrínsecos. Los primeros son materiales que, a temperaturas extremadamente bajas, actúan de manera similar a un aislante. Sin embargo, al alcanzar una temperatura ambiente, su conductividad eléctrica experimenta un incremento notable, sin llegar a igualar la de un conductor en ningún caso. Por otro lado, los semiconductores extrínsecos son versiones mejoradas de los materiales originales, ya que se les puede incorporar átomos adicionales que incrementan su conductividad eléctrica sin necesidad de que se eleve la temperatura. A este proceso se le conoce como dopaje. Estos últimos son los que se utilizan generalmente para la fabricación de los dispositivos tecnológicos en la actualidad. Por consiguiente, los semiconductores hacen referencia a piezas clave para la tecnología de hoy en día, pues sin estos materiales no se hubiera dado la revolución tecnológica ya que están presentes en todo tipo de dispositivos electrónicos (Mercado et al., 2016).

A lo largo de las últimas décadas, Asia ha sido el epicentro de la fabricación de estos dispositivos, dominando el mercado global. No obstante, la llegada de la pandemia de la Covid-19 provocó una crisis adicional relacionada con la escasez de semiconductores, derivada de las medidas impuestas para evitar la propagación del virus. Esto afectó profundamente al comercio mundial, originando una interrupción en la cadena de suministro, especialmente en el sector de la automoción, ya que la ausencia de chips imposibilitó la fabricación de vehículos. Esta situación denotó la importancia de estos materiales en la coyuntura actual (Jiménez, 2023).

En el presente, la demanda de estos materiales no ha hecho más que aumentar, pues son cruciales para el progreso de las inteligencias artificiales. Por ello, las grandes corporaciones están realizando inversiones de capital significativas, destinadas a instaurar fábricas para la producción de dispositivos semiconductores y a expandir la capacidad de los centros de datos. Se estima que se invertirá a nivel global alrededor de un billón de dólares para la construcción de estas plantas para 2030. La elección de localización para estas fábricas estará supeditada no solo por el cumplimiento de condiciones básicas, como una infraestructura sólida y mano de obra cualificada, sino también por elementos estratégicos como la seguridad en la cadena de suministro, la sostenibilidad y la disponibilidad de subsidios (McKinsey & Company, 2024).

Por el momento, la mayor proporción de estas inversiones se centra en Asia y Estados Unidos, si bien también se registra un aumento en la financiación de proyectos en Europa. En efecto, entre los ecosistemas de semiconductores más reconocidos a nivel global, resalta el Parque Científico de Hsinchu en Taiwán, que reúne más de 150 empresas y proveedores de semiconductores y más de 160000 profesionales de alto nivel. Igualmente, el mayor clúster de semiconductores de Europa se

encuentra en Alemania. Conocido como Silicon Saxony, este clúster aglutina a más de 400 actores de la industria, centros de investigación y múltiples universidades (McKinsey & Company, 2024).

Asimismo, en 1965 surgió la denominada Ley de Moore, creada por el cofundador de Intel, Gordon Moore. Esta ley establecía que el número de transistores en un circuito se incrementaría cada 2 años aproximadamente (Optics.org, 2009). Este avance propició el modelo de miniaturización exponencial de los dispositivos electrónicos, preservando al mismo tiempo la estabilidad de costes y consumo energético (Shalf, 2020). Esta premisa se ha cumplido a lo largo de los años gracias a los avances tecnológicos. Sin embargo, la industria electrónica se enfrenta actualmente a nuevos desafíos para poder seguir fabricando circuitos más pequeños, pues aparecen nuevos problemas como la disipación de calor o la fuga de la corriente. Encontrar una solución a dichos retos es fundamental para que no afecte a la capacidad de los circuitos electrónicos para transportar información lo suficientemente rápido (Optics.org, 2009).

Por consiguiente, a medida que los transistores logran escalas atómicas, su fabricación se vuelve cada vez más compleja y costosa. Esto está provocando que el fundamento central de la Ley de Moore deje de ser válido, lo que resultará en una desaceleración del progreso en este ámbito durante el año 2025 (Shalf, 2020). Ante estas nuevas limitaciones, surgen varias propuestas para solucionarlo, entre las que destaca la fotónica (Optics.org, 2009).

5.2. Industria de los chips fotónicos

Los chips fotónicos emergen como un elemento clave para superar las restricciones tecnológicas que afrontan los dispositivos semiconductores convencionales. Estos chips utilizan fotones (partículas de luz), en lugar de electrones, para procesar y transmitir información de manera más eficiente (Optics.org, 2009).

En comparación con los chips electrónicos tradicionales, los chips fotónicos ofrecen numerosas ventajas. En primer lugar, al utilizar la luz para enviar información, son bastante más veloces que los convencionales. Asimismo, son considerablemente más sostenibles porque consumen menos energía, ya que generan menos calor que los electrones. Otro de los beneficios es que poseen la capacidad de enviar más información a mayor distancia sin hacer que la señal se degrade. Por último, los chips fotónicos no se ven afectados por las interferencias electromagnéticas, al contrario que los dispositivos electrónicos. En cuanto a los inconvenientes, el mayor reto es la fabricación a gran escala, pues el coste todavía sigue siendo muy alto para la adopción masiva de estos chips (Herranz, 2024). Por este motivo,

en algunas industrias donde la competencia es muy fuerte y las tecnologías actuales son óptimas, como en el sector de las pantallas, no existe una necesidad urgente para integrar los chips fotónicos en los sistemas actuales (Dmitry Rizol, Ingeniero de Ventas Senior en Samsung Electronics, 28 de febrero de 2025). En la siguiente tabla se observan las principales ventajas y desventajas de esta tecnología:

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los chips fotónicos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor velocidad • Más sostenible • Menor consumo de energía • Mayor ancho de banda • Transmitir información a distancias mayores sin perder la eficiencia • Menos interferencia electromagnética 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de integración muy costoso • Difícil escalabilidad para producir masivamente • En algunos sectores no existe la necesidad de cambiar porque los dispositivos actuales funcionan bien

Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a los materiales, el silicio, tal como se ha señalado previamente, es el principal semiconductor utilizado en la industria de los chips electrónicos (Optics.org, 2009). Su prevalencia ha propiciado el desarrollo de varias técnicas de fabricación que permiten procesarlo en dimensiones reducidas. Además, sus propiedades lo posicionan como el material idóneo para la fabricación a gran escala de dispositivos electrónicos, facilitando la reducción de costes considerablemente (Paniccia, Krutul & Koehl, 2004). No obstante, el silicio no está presente de forma natural en los dispositivos fotónicos, por lo que ha sido necesario desarrollar diversas tecnologías que posibilitasen su adaptación. Esta integración fue fundamental para extender los límites de la Ley de Moore más allá de la electrónica convencional (Optics.org, 2009). Los avances en esta área se han implementado principalmente en centros de datos, ya que es necesario procesar grandes cantidades de información de manera rápida y eficiente. Asimismo, también están surgiendo nuevas oportunidades en áreas como la inteligencia artificial y la computación en la nube, donde la creciente necesidad de conexiones de alta velocidad se hace cada vez más evidente (Margalit et al., 2021).

En las últimas dos décadas, la fotónica de silicio ha transformado por completo el campo de la óptica integrada, abriendo el camino para el desarrollo de circuitos ópticos fabricados a gran escala. Una de sus ventajas principales es la capacidad para producir componentes ópticos extremadamente pequeños, ya que esto permite una integración mucho más eficiente y compacta de los sistemas (Marchetti, Lacava, Carroll, Gradkowski, & Minzioni, 2019).

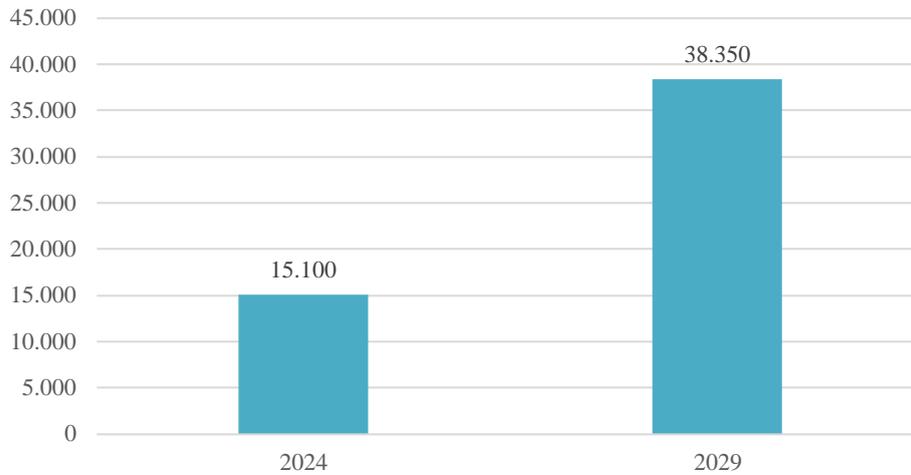
No obstante, el mayor desafío sigue siendo el diseño de interfaces entre la fibra óptica y los chips fotónicos. Estas interfaces pueden clasificarse principalmente en dos tipos: los acopladores en plano y los acopladores fuera de plano. Los primeros destacan por su alta eficiencia de acoplamiento y un amplio ancho de banda, aunque su fabricación implica procesos más complejos. En cambio, los segundos suelen ser más fáciles de producir, pero presentan una eficiencia menor y una mayor sensibilidad a la polarización. Si bien el desarrollo de chips fotónicos avanza gracias a las mejoras en diseño y materiales, su rendimiento óptimo también depende de contar con técnicas adecuadas de empaquetado e integración (Marchetti et al., 2019).

Desde una perspectiva industrial, existen factores que influyen de manera significativa en la estrategia de acoplamiento y empaquetado a implementar; como los costes de materiales, el tiempo de ensamblaje o las variaciones entre chips (Marchetti et al., 2019).

En el ámbito de los cables activos, las soluciones basadas en fotónica de silicio han alcanzado la madurez comercial, con productos que proporcionan acopladores estables y confiables. Este desarrollo demuestra que a pesar de que el sector aún maneja volúmenes de producción relativamente pequeños, se mantiene un alto rendimiento. No obstante, para mercados masivos será necesario desarrollar métodos de prueba y empaquetado a nivel de oblea, similares a los utilizados en la electrónica, lo que abre la puerta a nuevas oportunidades para la expansión. La combinación de acopladores de rejilla (GCs) y micro-lentes se están posicionando como una de las alternativas más prometedoras, ya que permite mejorar la eficiencia de acoplamiento y la integración, y esto facilita a su vez, la fabricación a gran escala (Marchetti et al., 2019).

Por tanto, se prevé que el volumen de negocio en la industria fotónica aumente exponencialmente. En 2024, el mercado de los circuitos integrados fotónicos (PICs), se valoró en 15.110 millones de dólares, mientras que se estima que en 2029 alcanzará los 38350 millones de dólares, como se muestra en el siguiente gráfico (Mordor Intelligence, s.f.).

Figura 1. Estimación del volumen de negocio de los PICs (millones de \$)



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos de Mordor Intelligence, s.f.

5.2.1. Principales actores en este sector

A medida que los chips fotónicos van ganando relevancia en la coyuntura actual, se van sumando nuevos actores al sector. Poseer esta tecnología serviría como herramienta geopolítica para ganar influencia a nivel internacional, y es por esto que las empresas y organizaciones muestran un interés cada vez mayor.

Respecto a los clústeres tecnológicos, se han observado numerosos parques científicos entre los principales países que utilizan la fotónica. En primer lugar, en California (Estados Unidos) se encuentra Silicon Valley, el clúster tecnológico por excelencia, que alberga a varias de las líderes tecnológicas a nivel mundial, como NVIDIA, Intel o Cisco. Estas multinacionales ya han mostrado interés por los chips fotónicos y están invirtiendo en I+D para poder desarrollar esta tecnología (Silicon Valley Journals, s.f.).

En Europa, el mayor clúster tecnológico está situado en Dresde, Alemania. Es conocido como Silicon Saxony, y está completamente financiado por sí mismo. Este clúster conecta a múltiples actores de la industria; desde fabricantes, proveedores, o startups, hasta universidades e instituciones públicas (Silicon Saxony, s.f.). En España, aunque todavía no se posee un clúster tecnológico que aglutine a todos los actores de la industria de chips fotónicos a nivel nacional, a nivel autonómico ha surgido un clúster que impulsa estas innovaciones, conocido como Valencia Silicon Cluster (VaSiC). Esta organización agrupa la principal concentración de talento a nivel nacional en el ámbito de microchips,

y está conformada por un conjunto de empresas tecnológicas, así como por la Universidad de Valencia y la Universidad Politécnica de Valencia (Valencia Silicon Cluster, s.f.). Asimismo, en Francia se encuentra MINATEC, un clúster tecnológico situado en Grenoble que alberga a universidades, startups y centros de investigación para compartir el conocimiento y tecnología para lograr avances tecnológicos (Grenoble INP, s.f.).

En China, *Zhangjiang Hi-Tech Park* es uno de los clústeres industriales de alta tecnología más competitivos del país. Situado en Shanghái, es un ecosistema de ciencia e innovación que cuenta con más de 24000 empresas y 20 universidades, concentrando a más de 400000 profesionales que trabajan en el área (Zhangjiang Group, s.f.).

En Taiwán, el Parque Científico de Hsinchu es un clúster de alta tecnología que cuenta con la sede principal de TSMC, una de las empresas clave del sector de semiconductores. Asimismo, el espacio está repartido entre empresas, universidades e instituciones a nivel nacional que ofrecen formación de talento científico (Hsinchu Science Park, s.f.).

En relación a los centros de investigación, se observa que Estados Unidos es el país que cuenta con el mayor número de los centros principales del sector a nivel mundial. Para empezar, *Albany Nanotech Complex*, situado en el estado de Nueva York, es un centro de investigación y desarrollo de semiconductores, que está gestionado por NY CREATES (una organización sin ánimo de lucro enfocada a la innovación tecnológica). Este complejo es el escenario de una amplia variedad de colaboraciones con las principales empresas de chips del mundo, entre las que se encuentran GlobalFoundries o IBM, que alquila más de 6500 metros cuadrados para oficinas y laboratorios (Wessner & Howell, 2025).

Otro líder mundial en fotónica de silicio es el *Massachusetts Institute of Technology (MIT) Research Laboratory of Electronics*, en Massachusetts, Estados Unidos. Este laboratorio se centra en siete áreas y una de ellas son los materiales y sistemas fotónicos. Se sostienen económicamente a través de varias fuentes de financiación, como el Departamento de Defensa del país, la Fundación Nacional de Ciencia, la industria y las organizaciones sin ánimo de lucro (Research Laboratory of Electronics at MIT, s.f.).

El centro *Ginzton Laboratory*, de la Universidad de Stanford, también se encuentra en Estados Unidos, y se dedica a estudiar la intersección entre la ingeniería y las ciencias, pues al explorar esta combinación se posibilitan la creación de experimentos científicos avanzados. Una de las tres áreas principales de investigación es el desarrollo de la ciencia e ingeniería fotónica (Stanford Ginzton Lab,

s.f.).

En el contexto europeo, se destacan tres centros fundamentalmente. Por un lado, CEA-Leti es un centro de investigación situado en el campus de innovación MINATEC (en Grenoble, Francia) y se especializa en micro y nanotecnologías y fotónica integrada (CEA-Leti, s.f.). Por otro lado, el Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO) de Barcelona (España), es un referente en fotónica cuántica y fotónica integrada. El instituto proporciona programas de formación dirigidos a estudiantes para generar empleos de calidad y profesionales cualificados, una necesidad fundamental del sector (ICFO, s.f.). Por último, frente a las principales funciones del Centro Interuniversitario de Microelectrónica (IMEC), situado en Bélgica, destaca el desarrollo de la fotónica de silicio (IMEC, s.f.).

En Asia, uno de los centros de investigación más relevantes es el *Institute of Materials Research and Engineering (IMRE)*, que es parte de *A*STAR (Agency for Science, Technology and Research)*, el organismo gubernamental de investigación y desarrollo de Singapur. Este centro está enfocado en desarrollar competencias clave en áreas tecnológicas críticas (A*STAR IMRE, s.f.).

Las universidades desempeñan un papel fundamental en la industria, pues colaboran estrechamente con los centros de investigación y clústeres tecnológicos para asegurar el desarrollo de esta tecnología. Algunas de las universidades más reconocidas en este sector son: la Universidad de Stanford, el MIT, la Universidad de California (Berkeley), la Universidad de Cambridge y la Universidad Nacional de Singapur, entre otras.

Respecto al mercado global, se pueden encontrar múltiples empresas líderes en el diseño de chips, como NVIDIA, Qualcomm, AMD, Apple y Broadcom. De hecho, estas compañías siguen el modelo de negocio conocido como “fabless”, por el que se dedican al diseño de los chips pero subcontratan la fabricación a compañías más especializadas, como TSMC (*Taiwan Semiconductor Manufacturing Company*) (Katari, Krishnamoorthy, & Jeyaraman, 2024). Dado el creciente interés por la fotónica de silicio, las compañías líderes de semiconductores como GlobalFoundries, TSMC, Intel e IBM han incorporado procesos de la fotónica de silicio en sus operaciones. De forma paralela, varias *startups* han introducido productos basados en esta innovación, lo que ha elevado su valor de mercado, convirtiéndolas en un actor importante dentro de la industria de semiconductores (Singh, 2024).

Si nos centramos exclusivamente en las compañías especializadas en chips fotónicos, las empresas más influyentes que desarrollan esta tecnología son Intel Corporation, Cisco Systems, Infinera Corporation, II-VI Incorporated y Huawei Technologies. Estas corporaciones buscan crecer orgánicamente y a través adquisiciones estratégicas, con un énfasis particular en la optimización de

sus procesos productivos y en la escalabilidad de la producción. Los avances tecnológicos que se están produciendo en este sector están siendo posibles gracias a las colaboraciones con fundiciones y centros de investigación (Mordor Intelligence, s.f.).

En el ámbito empresarial, la combinación de óptica y electrónica en un solo chip de fotónica de silicio ya es una realidad. Compañías como Luxtera e IBM han desarrollado chips que integran ambos elementos en una misma unidad. Aunque el enfoque que ha prevalecido en el mercado es separar estas dos funciones en chips distintos para poder optimizar con la tecnología más eficiente para su función, ambos se ensamblan en un solo paquete. Esto permite generar dispositivos fotónicos más compactos y aprovechar la electrónica para optimizar el rendimiento de los sistemas ópticos, demostrando así la complementariedad entre ambas tecnologías. Pero sin duda alguna, el potencial más relevante de esta tecnología es la mejora del diseño de chips, que permite aumentar considerablemente la capacidad de transmisión de datos, lo que conlleva a un desarrollo de sistemas bastante más eficiente (Inniss & Rubenstein, 2017).

En lo referente a España, ya se han establecido diversos centros de investigación y universidades que trabajan en I+D+i al explorar nuevas tecnologías fotónicas en empresas *deep-tech*. Del mismo modo, este sector en España está compuesto principalmente por PYMES, que fabrican, en términos generales, instrumentación, dispositivos o sistemas fotónicos. Las compañías líderes son Indra Electro Optics, y las divisiones nacionales de multinacionales relacionadas con la industria oftálmica (Hoya, Essilor, Zeiss), la de maquinaria e instrumentación (Olympus, Trumpf) y la de iluminación (Hella, Signify), de acuerdo a la Plataforma Tecnológica Española de Fotónica (Fotónica 21, 2022).

En cuanto a los países, se están estableciendo diversas leyes con el propósito de incentivar los avances tecnológicos en la industria de semiconductores. En el caso de Estados Unidos, en 2022 se implementó la *CHIPS Act*, por la cual el gobierno intenta atraer a empresas para fortalecer su posición en la industria (Kurilla, 2024).

En el caso de China, el gobierno está siguiendo la estrategia *Made in China 2025* y las “Directrices Nacionales para el Desarrollo y la Promoción de una Industria de Circuitos Integrada”, del Consejo de Estado de 2014. A través de estas iniciativas, el país busca reducir su dependencia de las importaciones en el sector de los chips. Asimismo, ha reunido fondos a nivel nacional y fondos públicos locales a nivel municipal y provincial, por el que han recaudado 150000 millones de dólares entre 2014 y 2020. Además de esta financiación pública, también se han recibido ayudas estatales y beneficios fiscales (Jorge, 2024).

En el contexto de la *European Chips Act*, la Comisión Europea ha lanzado PIXEurope, una nueva línea piloto enfocada en la producción de chips fotónicos. Su propósito es agilizar la adopción industrial de esta tecnología mediante el desarrollo de plataformas de vanguardia y transferencias de procesos innovadores en fotónica integrada. Del mismo modo, busca reforzar la independencia tecnológica de Europa. Esta línea piloto será coordinada por el Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO). El proyecto cuenta con la colaboración de instituciones de Austria, Bélgica, Finlandia, Irlanda, Polonia, Francia, Países Bajos, Reino Unido, Italia, Portugal y España. La iniciativa está financiada por el Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública, con el apoyo de la Generalitat de Cataluña. En cuanto a las entidades españolas participantes, destacan el ICFO, la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), el Instituto de Microelectrónica de Barcelona, IMB-CNM (CSIC), la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) y por último, la Universidad de Vigo (UVigo) (ICFO, 2024).

Los gobiernos también son actores importantes en esta industria. En el caso de España, el Gobierno ha destinado 45 millones de euros para la creación de 17 Cátedras Chip, con el objetivo de formar a un millar de especialistas sobre microelectrónica y semiconductores (Sociedad Española para la Transformación Tecnológica, 2024). Además, a través de los fondos *Next Generation EU*, en España se han promovido proyectos como PERTE Chip (Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica), cuya meta principal es consolidar a España como un referente en el diseño y fabricación de chips (PERTE Chip, s.f.).

En relación a las colaboraciones entre empresas y gobiernos, a finales del año 2025 se va a construir en Vigo la empresa SPARC, una nueva fundición especializada en semiconductores III-V aplicados a la fotónica. Se trata de materiales como el Arseniuro de Galio, Fosfuro de Indio y Nitruro de Galio, los cuales son clave porque son los únicos capaces de producir fuentes de luz y detectores muy compactos y eficientes en un amplio espectro de longitudes de onda. Gracias a esta tecnología, estas innovaciones se podrán aplicar a diferentes industrias, desde comunicaciones ópticas y pantallas, hasta aeroespacial, automoción o biomédica (SPARC Foundry, s.f.). Este proyecto también contará con la colaboración de empresas como Indra, así como con una asignación de los fondos del PERTE Chip, destinados a impulsar su desarrollo (Amoedo, 2024).

Por tanto, la industria de chips fotónicos está formada por una gran variedad de actores, entre los que se encuentran las empresas (tanto multinacionales como PYMES), los países, las universidades, los clústeres tecnológicos y los centros de investigación mencionados. En la siguiente tabla se muestra un resumen de algunos ejemplos representativos de estos actores que influyen en el sector:

Tabla 2. Actores de la industria de los chips fotónicos

Categoría	Descripción	Nombre
Empresas	Empresas que desarrollan esta tecnología	Luxtera, IBM, Indra Electro Optics, Intel, Cisco Systems, Infinera Corporation, II-VI Incorporated, Huawei
	Empresas <i>fabless</i> que diseñan chips pero dependen de terceros para su fabricación	NVIDIA, Qualcomm, AMD, Apple, Broadcom
	Fabricantes de semiconductores (<i>foundries</i>)	TSMC, GlobalFoundries, SPARC (en construcción),
Universidades	Instituciones académicas que investigan y desarrollan tecnologías fotónicas	Universidad de Stanford, MIT, Universidad de California (Berkeley), Universidad de Cambridge, Universidad Nacional de Singapur, Universidad Politécnica de Valencia, Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Vigo, etc.
Centros/Institutos de investigación	Centros dedicados al desarrollo de la fotónica y microelectrónica	Albany Nanotech Complex, MIT Research Laboratory of Electronics, Ginzton Laboratory, CEA-Leti, ICFO, Instituto de Microelectrónica de Barcelona, IMEC, Institute of Materials Research and Engineering, etc.

Categoría	Descripción	Nombre
Clústeres tecnológicos	Agrupaciones que fomenta la colaboración entre empresas y centros de investigación	Parque Científico de Hsinchu, Silicon Saxony, Zhangjiang Hi-Tech Park, Silicon Valley, Valencia Silicon Cluster, MINATEC, etc.
Países y regiones	Unión Europea	European Chips Act, líneas piloto como PIXEurope, etc.
	Estados Unidos	CHIPS Act, entre otros
	España	PERTE Chip, entre otros
	China	Made in China 2025, Directrices Nacionales para el Desarrollo y la Promoción de una Industria de Circuitos Integrada, fondos estatales, entre otros

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2. Posicionamiento de los países a nivel mundial

La digitalización es un componente esencial en la era de la información, siendo responsable de alrededor del 50% de las mejoras en productividad observadas en los últimos años. En este contexto, la fotónica desempeña un papel determinante, especialmente en la transmisión de información a través de redes de fibra óptica, tecnologías láser y codificación óptica, y es vital para su desarrollo futuro. A medida que la conexión a Internet se expande a casi todos los dispositivos electrónicos de consumo y la demanda de velocidades más altas crece, se estima que el ancho de banda disponible necesitará incrementarse hasta mil veces. Esto será viable únicamente mediante la aplicación de tecnologías fotónicas (COTEC, 2014).

En el caso de Europa, Mario Draghi, el ex primer ministro italiano, elaboró en septiembre de 2024 un informe a instancias de la presidenta de la Comisión Europea, Ursula von der Leyen. Este documento se utilizará como guía estratégica para el futuro de la competitividad europea. En este

sentido, una de las tres áreas clave identificadas en el informe es la necesidad de intervención para lograr reducir la disparidad en innovación que separa a la Unión Europea de potencias como China y Estados Unidos (Real Instituto Elcano, 2024).

En términos de productividad, Europa se encuentra notablemente detrás de Estados Unidos, y la causa principal de esta disparidad son los avances alcanzados en las tecnologías digitales. Esta brecha se debe a que, mientras Estados Unidos supo aprovechar la primera revolución digital en la década de los 90, la Unión Europea (UE) no fue capaz de hacerlo. De hecho, si se excluye a la industria tecnológica, el crecimiento de la productividad en la UE durante las últimas dos décadas habría sido prácticamente equivalente al de Estados Unidos (Draghi, 2024a).

En la actualidad, Europa ocupa una posición secundaria en cuanto a tecnologías digitales disruptivas. Un claro ejemplo es el caso de los modelos fundamentales de Inteligencia Artificial, donde Estados Unidos posee más del 65% del mercado mundial, mientras que Europa apenas alcanza el 2% de cuota. Asimismo, en relación a la computación cuántica, que se espera que sea la próxima gran innovación tecnológica, las empresas líderes en inversión en este sector están repartidas entre Estados Unidos y China, pero ninguna está establecida en Europa (Draghi, 2024a).

Por consiguiente, la Comisión Europea ha catalogado a la fotónica como una tecnología facilitadora esencial (TFE), es decir, aquella que requiere de un alto nivel de conocimiento y que está vinculada a intensos procesos de investigación y desarrollo. Estas tecnologías se caracterizan por su rápida evolución, grandes inversiones de capital y la necesidad de contar con una fuerza laboral altamente especializada, además de que establecen la base de las cadenas de valor estratégicas para la economía. Por tanto, la tecnología de los chips fotónicos generará una ventaja competitiva para aquellos países que la adopten y la desarrollen (COTEC, 2014).

En el caso de los semiconductores, Estados Unidos está especializado en el diseño, mientras que Taiwán, Corea del Sur y China son los líderes en la fabricación. Japón y algunos países europeos (como Países Bajos, con la empresa ASML) son cruciales en materiales y equipamiento. Por tanto, la UE tiene una buena posición en sensores, control de potencia y chips para automoción, pero se enfrenta a los riesgos de deslocalización y competencia de bajo coste y depende de China tanto para el suministro de materiales como germanio y galio, como para el diseño, ensamblaje y empaquetado de chips. No obstante, según el informe de Draghi (2024b), Europa va a apostar por la fotónica para poder ganar competitividad.

Este cambio podría reconfigurar el equilibrio de poder tecnológico y económico en los últimos

años, ya que la fotónica reduce la presión sobre la miniaturización al usar la luz para procesar la información, lo que permitiría que más países participasen en su producción. Asimismo, diversificaría las fuentes de materiales, pues además del silicio puro, se pueden utilizar otros semiconductores, como el germanio. En última instancia, los materiales constituyen el fundamento de todas las actividades económicas vinculadas a la producción, por lo que su posesión y control conllevan significantes implicaciones estratégicas y económicas para los actores de la industria (Fotónica 21, 2021).

Por tanto, la UE ya se ha puesto manos a la obra para posicionarse mejor en el mercado y va a invertir cerca de 500 millones de euros en las tecnologías emergentes, entre las que se encuentra la fotónica. Poniendo el énfasis en este sector, se cuenta con un presupuesto de 60 millones de euros para reforzar la posición de Europa en estas tecnologías. Por esta razón, se han seleccionado 12 proyectos en los que participarán más de 25 países, con más de un tercio de ellos siendo PYMES, que trabajarán conjuntamente con universidades y centros de investigación (Comisión Europea, 2024). Uno de los proyectos de colaboración ha sido con Photonics21 (2018), una plataforma que reúne 1700 organizaciones con más de 3000 miembros de la industria, la academia y la política. En 2013, colaboró con la Comisión Europea para crear una Asociación Público-Privada (PPP) con el fin de seguir una estrategia común de investigación e innovación en el ámbito de la fotónica en Europa.

Asimismo, la iniciativa PIXEurope, previamente mencionada, se ha convertido en un proyecto clave para la competitividad europea. De acuerdo al director de esta línea piloto, el Dr. Valerio Pruneri, “PIXEurope es la primera Línea Piloto de Chips Fotónicos en Europa que unifica la diversidad de materiales, procesos, técnicas de integración que permitirán el desarrollo y la demostración de dispositivos y sistemas para todas las aplicaciones donde la Fotónica es una tecnología clave”. De esta forma, se podrá fortalecer la soberanía digital y obtener una mayor autonomía estratégica (ICFO, 2024).

Respecto a la posición de los demás países, Estados Unidos y China se perfilan como los líderes indiscutibles. Actualmente, ambos se encuentran inmersos en una carrera para determinar quién será la principal potencia en el mercado de la fotónica de silicio, dado que las dinámicas podrían cambiar si China logra superar el denominado bloqueo tecnológico liderado por Estados Unidos (Reynolds, 2024).

En consecuencia, para China, adquirir experiencia en este campo significaría una mayor independencia tecnológica y una disminución de su dependencia en las restricciones impuestas por potencias extranjeras. Si el país obtiene la capacidad de producir chips fotónicos de manera interna, ya no dependería de las máquinas de litografía ultravioleta extrema, que son un equipo avanzado de

fabricación de semiconductores que actualmente solo posee la empresa holandesa ASML. En estos momentos, dadas las restricciones comerciales impuestas por Estados Unidos, ASML tiene prohibido la venta de estos equipos a China. Como resultado, si China logra producir los chips fotónicos domésticamente, eliminaría una de sus principales vulnerabilidades actuales, lo que podría modificar considerablemente las dinámicas en el mercado global. No obstante, el estado de la línea de producción de dichos chips es incierto en la actualidad (Reynolds, 2024).

De igual manera, la tecnología fotónica está mencionada en el 14° Plan Quincenal, el documento de política económica más relevante y de mayor autoridad en China. En este texto, se subraya la importancia de fomentar la innovación en este sector para lograr la autosuficiencia en las tecnologías clave y reducir la dependencia de recursos importados. Con el fin de alcanzar dichos objetivos, se van a establecer múltiples laboratorios nacionales que se especializarán en las disciplinas fundamentales, entre las que se encuentra la fotónica. Aunque también es importante señalar que las principales empresas de semiconductores de Estados Unidos están incrementando sus inversiones en fotónica de silicio, lo que desafía la posición de liderazgo de China en este campo. Sin embargo, los avances en fotónica también muestran que Estados Unidos no debe dar por sentadas las restricciones impuestas a China sobre semiconductores de materiales exóticos (SME) avanzados, pues no limitarán permanentemente la capacidad de producción del país (Reynolds, 2024).

En línea con la postura de Estados Unidos, el país ha iniciado diversos proyectos e inversiones estratégicas con el fin de consolidar su posición como líder en el mercado global. En 2022, la Administración de Biden lanzó la conocida *CHIPS Act*. En el marco de esta iniciativa, Intel recibió una subvención de 8500 millones de dólares, además de 11000 millones en préstamos. Del mismo modo, la empresa surcoreana TSMC obtendrá 6600 millones de dólares en subvenciones y 5000 millones en préstamos para la construcción de tres plantas de fabricación en Arizona. Aunque esta ley ha sido diseñada principalmente para impulsar la industria de los chips electrónicos, también influirá en el desarrollo de los chips fotónicos a medida que se intensifiquen las inversiones en investigación y desarrollo en este sector (Kurilla, 2024).

Otro claro ejemplo se remonta a 2021, cuando la gobernadora de Nueva York comunicó la asignación de 321 millones de dólares al Instituto Americano de Fabricación Fotónica. Esta inversión busca asegurar el avance y preparación en la fabricación de fotónica avanzada, una tecnología crucial tanto para la seguridad nacional como para el futuro de la microelectrónica de alto rendimiento (Gobernadora Kathy Hochul, 2021).

En resumen, América del Norte se consolida como la región referente en el mercado de los

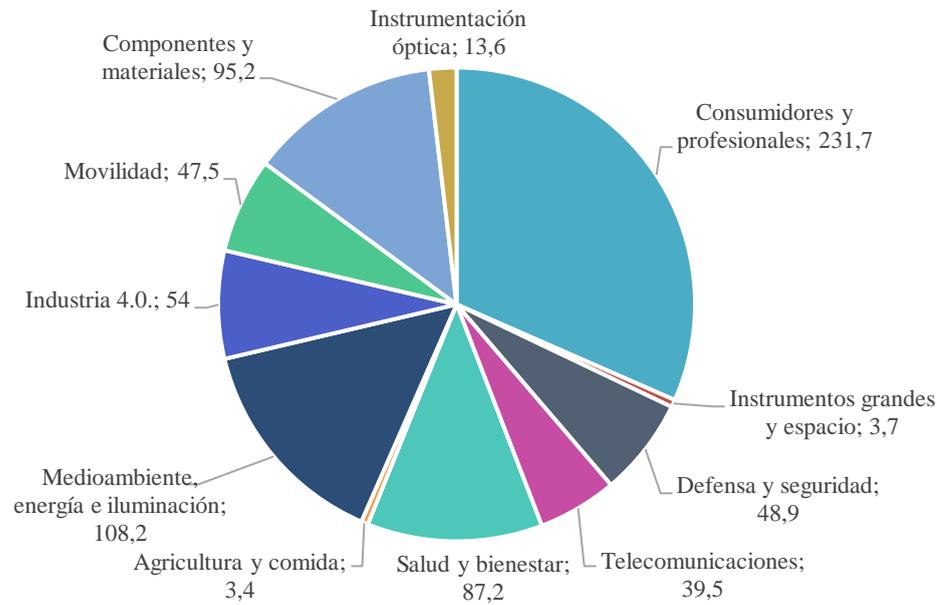
circuitos integrados fotónicos (PICs), logrando dominar el 45% del mercado en 2024. Este liderazgo está respaldado por empresas de renombre mundial, como IBM, Intel y Cisco. Europa, por su parte, ha ido progresando en los últimos cinco años, logrando un crecimiento del 21% gracias a las inversiones de la Comisión Europea. Estas aportaciones han propiciado avances importantes en la adopción de circuitos fotónicos en los sectores de telecomunicaciones y microelectrónica. En la región de Asia-Pacífico, se prevé un crecimiento del 23% entre 2024 y 2029, impulsado por la expansión de los centros de datos, la infraestructura del 5G y la industria de semiconductores en general. Países como China, Taiwán, Corea del Sur y Japón encabezan el desarrollo en esta región, apoyados por gobiernos que fomentan el progreso tecnológico y la creación de ecosistemas de fabricación sólidos. Finalmente, aunque América Latina, Oriente Medio y África cuentan con una presencia más limitada en el mercado, su potencial de crecimiento es elevado, debido especialmente a la transformación digital, la expansión de telecomunicaciones y la adopción de redes 5G (Mordor Intelligence, s.f.).

5.2.3. Impacto potencial de los chips fotónicos en diferentes industrias

Se proyecta que el mercado de los chips fotónicos experimentará un crecimiento superior al 400% en la próxima década. Para el año 2030, se estima que el mercado global de la fotónica superará los 1500 billones de euros, una cantidad equiparable al Producto Interior Bruto anual de España. En estos momentos, los chips fotónicos constituyen únicamente una fracción de esta cantidad, pero se espera que dicha cifra aumente de manera exponencial en los próximos años, impulsada por la creciente demanda de dispositivos destinados a aplicaciones en sectores clave, como se detallará a continuación (ICFO, 2024).

En el siguiente gráfico, se observa el mercado global de la fotónica dividido por los distintos segmentos de aplicación en 2019 (Robin, d'Humières & Cochard, 2022):

Figura 2. Mercado global de la fotónica por segmento de aplicación 2019 (miles de millones de \$)



Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos del artículo de Robin et al., 2022

Los sectores de las telecomunicaciones y los centros de datos están atravesando un periodo de crecimiento significativo en la demanda de transmisión de datos a alta velocidad, lo que ha acelerado la incorporación de circuitos integrados fotónicos en sus infraestructuras. El crecimiento de los servicios móviles, la transmisión de video y la creciente dependencia de las aplicaciones en la nube han generado una demanda cada vez mayor de ancho de banda. Para adaptarse a estos cambios, los proveedores han tenido que incorporar esta tecnología de manera progresiva para adaptarse a las exigencias del mercado. De hecho, la implementación de los chips fotónicos en el sector de telecomunicaciones es esencial para seguir avanzando en la integración de la tecnología 5G y las redes de alta capacidad. Aunque el desarrollo del 5G se ha enfocado fundamentalmente en la tecnología inalámbrica y de radio, la fotónica y la fibra óptica juegan un papel decisivo para transportar señales hacia y desde las estaciones base de próxima generación. En este contexto, el sector ha apostado por innovaciones en *hardware* fotónico rentables, especialmente en centros de datos, donde el tráfico de red ha crecido exponencialmente (Mordor Intelligence, s.f.).

De manera similar, la Inteligencia Artificial emplea grandes volúmenes de datos cuando se ejecuta en sistemas informáticos, por lo que se requiere de un mayor ancho de banda. En este sentido, la fotónica presenta un gran potencial para el progreso de la IA, ya que esta tecnología mejora la eficiencia de los sistemas de IA al permitir el transporte de datos a mayores distancias sin un

incremento en el consumo de la energía. Por otra parte, la fotónica se puede combinar con otras tecnologías como la cuántica o usarse de forma complementaria junto con la micro o nanoelectrónica, con el fin de maximizar sus ventajas y superar sus limitaciones (Ibáñez, 2023).

En el campo de la biomedicina, se distinguen tres áreas principales. En primer lugar, se puede monitorear de manera más precisa la salud de los pacientes y su entorno, además de evaluar los factores ambientales que influyen en el bienestar de un individuo. Este avance es posible gracias a los sensores y dispositivos de imagen de alta resolución. La segunda área aborda el procesamiento de los datos médicos. Con la fotónica, se facilita la recopilación y análisis de la información, al incorporar la IA en el diagnóstico. Por último, están surgiendo innovaciones disruptivas con el potencial de transformar el sector biomédico. Entre ellas, se destaca a los gemelos digitales humanos, que son modelos computacionales diseñados para predecir el estado de salud, basándose en datos reales de cada individuo. De esta forma, se mejoraría el tratamiento médico, pues sería personalizado. Otra de las innovaciones emergentes son los sistemas microfisiológicos, conocidos como órganos en chip, ya que permiten replicar las funciones de tejidos humanos en dispositivos miniaturizados, ofreciendo una alternativa prometedora tanto para la investigación médica como para el desarrollo de nuevos fármacos. Este tipo de innovaciones podrían revolucionar la industria biomédica en un futuro, pero por el momento se encuentran en las fases iniciales de desarrollo (IPSR International, 2024). Asimismo, se prevé que la adopción de la fotónica en el ámbito de la salud podría generar un ahorro de un 20% de los costes de diagnóstico y tratamiento, pues esta tecnología facilitaría el avance de sistemas de detección temprana de enfermedades (COTEC, 2014).

Respecto a los sistemas autónomos, tecnologías como los drones, los coches autónomos y los sistemas de robótica industrial dependen de una combinación de sensores fotónicos y sistemas de visión. En el ámbito de la impresión 3D, se han incorporado innovaciones basadas en fotónica, incluyendo los láseres de alta precisión, la metrología óptica para mediciones detalladas y la robótica guiada por visión. Estos avances están transformando la industria aeroespacial y automovilística (SPIE, 2024). Del mismo modo, la industria manufacturera recurre a la tecnología láser para llevar a cabo diversos procesos, como las operaciones de corte, soldadura o la deposición de recubrimientos, entre otros. Este sector mantiene un crecimiento anual cercano al 10%. Sin la precisión que brindan estos sistemas láser, el desarrollo de productos como los paneles fotovoltaicos no habría sido viable (COTEC, 2014).

En relación al sector de defensa y seguridad, el objetivo central es incrementar la precisión de los ataques y minimizar los daños colaterales. Para ello, se están desarrollando armas basadas en

energía dirigida. En el campo de la vigilancia, gracias a la integración de la IA, se han optimizado los sistemas de monitoreo infrarrojo e hiperespectral, que sirven para el procesamiento y reconocimiento de imágenes (SPIE, 2024).

En lo referente a la fotónica verde, se ha logrado reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, manteniendo al mismo tiempo un nivel de iluminación adecuado. Además, la fotónica también puede utilizarse para supervisar redes de energía y procesos industriales, lo que contribuye a reducir el consumo de energía y disminuir las emisiones de gases perjudiciales que dañan el medio ambiente (COTEC, 2014).

Ya se han puesto en marcha diversas iniciativas que emplean la tecnología fotónica para analizar y atenuar los efectos del cambio climático. La Unión Europea ha decidido financiar un proyecto orientado al desarrollo de una plataforma de detección para monitorear la calidad del aire y el agua. Este dispositivo integrará una fuente de luz, sensores y componentes electrónicos en un microchip. De este modo, gracias a la sensibilidad del chip, se podrá identificar cualquier mínimo cambio en los niveles de contaminación (Comisión Europea, 2024).

En definitiva, la tecnología fotónica ha sido y continuará siendo un motor clave en el desarrollo económico, posibilitando avances significativos en áreas como telecomunicaciones, informática, medicina, seguridad y defensa, entre otros. Tanto las innovaciones incrementales como las disruptivas han fortalecido a las empresas establecidas y han favorecido la creación de nuevas *startups*. Además, las innovaciones disruptivas suelen surgir en ecosistemas donde existe una alta concentración de *startups*, lo que convierte a estas regiones en centros de industrias emergentes. No obstante, la industria fotónica está muy vinculada a los sectores que impulsa, por lo que una crisis en algunos de estos sectores podría suponer un impedimento al crecimiento continuo (Gupta & Ballato, 2018).

6. ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA

6.1. Análisis PESTEL

A través de este análisis, se podrán evaluar los factores macroeconómicos externos que impactan en la industria de los chips fotónicos. El modelo PESTEL hace referencia a los aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales, los cuales influyen en el desarrollo y la adopción de esta tecnología.

Factores políticos (P):

- Las tensiones políticas que surgen de la guerra comercial tecnológica entre Estados Unidos y China impactan directamente en la industria fotónica. Estados Unidos quiere impedir que China lo supere en el ámbito tecnológico, y para ello, le está bloqueando la transferencia de conocimientos y tecnología. Por un lado, el gobierno estadounidense subsidia su producción nacional con el fin de ampliar la distancia tecnológica con China. Al mismo tiempo, estas restricciones impactan directamente en la Unión Europea, pues este impedimento podría provocar un retraso en el desarrollo tecnológico de la región (Feás, 2023).
- Las restricciones impuestas a las exportaciones entre los países son un factor clave en la dinámica global de semiconductores. Estados Unidos ha comenzado a considerar los avances en IA como cuestiones vinculadas a la seguridad nacional. Como respuesta, China ha implementado nuevas restricciones a la exportación de semiconductores, incluidos materiales como el galio y germanio, entre otros. Si la administración de Trump decidiera incrementar finalmente los aranceles a los productos de China, México y Canadá, la cadena de suministro global de semiconductores se vería afectada. Los controles adicionales dificultarían la gestión de la cadena, incrementando los costes, disminuyendo los beneficios y obstaculizando el progreso en la investigación, desarrollo y fabricación (Kusters et al., 2025).
- La inestabilidad geopolítica en regiones clave para la fabricación de semiconductores influye considerablemente en el mercado. Un ejemplo relevante es Taiwán, sede de TSMC, el principal fabricante de chips del mundo. Esta empresa juega un papel esencial en el sector fotónico, pues controla más del 60% del mercado global y produce más del 90% de los chips más avanzados. Sin embargo, las tensiones entre China y Taiwán han suscitado inquietudes sobre posibles interrupciones en el suministro de semiconductores, lo cual podría afectar a múltiples sectores, dada la relevancia de TSMC para la estabilidad económica mundial. Por esta razón, la empresa está optando por la diversificación geográfica, estableciendo fábricas en Estados Unidos, Japón y Alemania, con el fin de garantizar la continuidad operativa (INO, 2024). Asimismo, se evidenció la vulnerabilidad de la cadena de suministro global en el mercado de semiconductores durante la declaración de la ley marcial en diciembre en Corea del Sur. Un suceso así puede alterar de manera significativa el funcionamiento del mercado (Kusters et al., 2025).

- Los conflictos bélicos en Ucrania-Rusia y en Oriente Medio persisten, lo que podría tener repercusiones en el abastecimiento de materias primas esenciales, así como en las cadenas de suministro y en los procesos de fabricación (Kusters et al., 2025).
- El establecimiento de alianzas entre países también podría afectar a las dinámicas de mercado. En marzo de 2022, el presidente Biden propuso la denominada *Chip 4 Alliance*, una colaboración entre Estados Unidos, Japón, Corea del Sur y Taiwán. El objetivo principal es potenciar la cooperación en la producción de semiconductores a través de la diversificación geográfica, con el propósito de garantizar una cadena de suministro más estable a nivel mundial. Además, en el marco de la alianza, también se enfatiza la promoción del concepto de “friend-shoring”, que prioriza los intercambios económicos con los países que comparten principios democráticos, buscando reducir la dependencia de naciones como China, donde existen tensiones geopolíticas (Jung, 2023).
- Las decisiones gubernamentales sobre la distribución de recursos tienen un impacto significativo en este sector. Es fundamental que los gobiernos sean capaces de gestionar los fondos eficientemente para evitar malgastar los recursos disponibles. La fotónica es una tecnología dual, con aplicaciones tanto civiles como militares. Esto dificulta la formulación de políticas claras porque no siempre se posee información precisa acerca de cuáles son verdaderamente críticas para la seguridad y defensa. Como consecuencia, las estrategias en este campo suelen ser generales, priorizando normalmente los proyectos que puedan tener aplicaciones en ambos sectores. En este contexto, la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), ha identificado a la fotónica como una tecnología emergente, y a través del programa *Defense Innovation Accelerator North Atlantic* (DIANA), está promoviendo el desarrollo de tecnologías disruptivas de doble uso, con un fondo de 1000 millones de euros del *NATO Innovation Fund*. Este fondo tiene el objetivo de favorecer a *startups* y fondos de capital riesgo enfocados al desarrollo de estas tecnologías. Este apoyo es relevante para el campo de la fotónica, ya que, a medida que se diversifiquen las fuentes de financiación, se facilitarán los avances en la investigación de esta tecnología (Martí, 2024).
- Otro elemento determinante en la industria fotónica es la agilidad en la asignación de recursos financieros. En la Unión Europea, la demora en la distribución de fondos se ha convertido en un desafío estructural que incide de manera directa en su competitividad. Dado el rápido avance

en la innovación de este sector, esta falta de eficiencia dificulta la capacidad de la región para competir con naciones como Estados Unidos y China, cuyos modelos de financiación permiten una respuesta más dinámica a las exigencias del mercado (Feás, 2023).

Factores económicos (E):

- La incertidumbre económica global afecta a la industria tecnológica. En periodos de inflación, los costes de los materiales utilizados para la fabricación de dispositivos aumentan, y esto se traslada al precio final del producto (Ortez, 2023).
- La competencia y la demanda pueden influir en los precios. Si hay una demanda alta y una oferta limitada, los precios permanecerán elevados. Por el contrario, si existe una competencia considerable entre los diferentes fabricantes, lo más probable es que los precios se mantengan a niveles bajos (Ortez, 2023).
- La tecnología fotónica tiene altos costes de producción y adopción, lo que dificulta su implementación masiva (Dmitry Rizol, Ingeniero de Ventas Senior en Samsung Electronics, 28 de febrero de 2025).
- En muchas industrias todavía no existe una urgencia inmediata de adoptar soluciones fotónicas en lugar de semiconductores tradicionales, ya que estos últimos siguen siendo óptimos y rentables (Dmitry Rizol, responsable europeo de I+D de *Samsung Digital Signage*, 28 de febrero de 2025).
- La relación coste-beneficio es una barrera de entrada importante. Hasta que la tecnología madure y los precios bajen significativamente, la adopción de la fotónica seguirá siendo limitada en algunos sectores (Dmitry Rizol, responsable europeo de I+D de *Samsung Digital Signage*, 28 de febrero de 2025).
- Las pandemias globales interrumpen las cadenas de suministro y elevan los costes operativos. Un claro ejemplo de ello fue la crisis de la COVID-19, que planteó numerosos desafíos al alterar las cadenas de suministro y causar retrasos en los plazos de entrega, lo que generó un aumento significativo de los costes (KPMG, 2020).

Factores sociales (S):

- La escasez de profesionales capacitados presenta un desafío significativo para el desarrollo del sector, pues los países no están formando el suficiente talento especializado para satisfacer las demandas de su mercado laboral (Kusters et al., 2025).
- La captación y retención de talento supondrá un reto considerable. Un aspecto determinante en esta problemática es el envejecimiento de la fuerza laboral, especialmente en Europa y Estados Unidos. La disponibilidad limitada de personal capacitado puede conllevar a retrasos en aperturas de nuevas plantas (Kusters et al., 2025).
- Uno de los factores que contribuyen a la disparidad entre países es la desigualdad en los avances tecnológicos, lo que podría obstaculizar la adopción de la fotónica en el mercado global (IESEI, 2023).
- El incremento sostenido en el consumo de datos y la expansión de la conectividad han adquirido mayor relevancia en los últimos años. Esta tendencia se intensificó con la pandemia y el confinamiento, pues se impulsó una mayor digitalización. En este contexto, los chips fotónicos emergen como una solución a esta demanda (IESEI, 2023).

Factores tecnológicos (T):

- La revolución digital ha acelerado la automatización en distintos sectores, incrementando la demanda de chips más potentes. En este contexto, la fotónica podría convertirse en un elemento esencial con el potencial de transformar diversas industrias (IESEI, 2023).
- Los avances en el desarrollo de los materiales influyen en la fabricación de chips fotónicos. En función del material utilizado para la oblea, existen tres opciones principales: fosforo de indio (InP), silicio (Si) y arseniuro de galio (GaAs). Mientras que inicialmente se utilizó fosforo de indio para fabricar los circuitos fotónicos, desde 2015 ha sido el silicio el material predominante en esta área (véase Anexo 3). Este cambio ha colocado a la fotónica de silicio en el centro de atención, pues ha permitido una mayor adopción de esta tecnología. Por consiguiente, la mejora continua de estos materiales impacta en la competitividad del mercado fotónico (Carlos G.

Triviño, CEO de Gobernanza Industrial y Secretario de Valencia Silicon Cluster, 4 de marzo de 2025).

- La infraestructura actual está basada en chips electrónicos, por lo que la tecnología de los chips fotónicos debe ser compatible con los sistemas existentes, que permitan la integración híbrida (Inniss & Rubenstein, 2017).
- Actualmente hay una escasa aplicabilidad de la fotónica en las pantallas. Los chips fotónicos presentan ciertas limitaciones en este ámbito, ya que la electrónica actual funciona de manera óptima. Por ejemplo, Samsung emplea SoCs (*System on Chip*) basados en semiconductores para el procesamiento de imágenes en LCD (*Liquid Crystal Display*), OLED (*Organic Light Emitting Diode*), LED (*Light Emitting Diode*) Y EPD (*Electronic Paper Display*), los cuales son muy eficientes y rentables. Por ello, no existe una necesidad urgente de reemplazarlos, ya que no se identifican cuellos de botella que la fotónica pueda resolver de manera más eficaz. En consecuencia, los chips fotónicos no ofrecen una ventaja significativa en este campo (Dmitry Rizol, responsable europeo de I+D de *Samsung Digital Signage*, 28 de febrero de 2025).
- La fabricación a gran escala de chips fotónicos todavía enfrenta varios desafíos, ya que las técnicas actuales aún no han alcanzado el mismo nivel de escalabilidad y optimización de costes que la microelectrónica tradicional, lo que refleja una menor madurez de esta tecnología (Carlos G. Triviño, CEO de Gobernanza Industrial y Secretario de Valencia Silicon Cluster, 4 de marzo de 2025).
- Los circuitos integrados juegan un papel fundamental en el desarrollo tecnológico, pues constituyen la base crítica de la inteligencia tecnológica y son el fundamento sobre el cual se apoya el desarrollo de todas las demás tecnologías. Por este motivo, fortalecer el sector de los circuitos integrados fotónicos es imprescindible para el futuro de la tecnología, ya que permitirá impulsar nuevas innovaciones en áreas clave como la inteligencia artificial (Carlos G. Triviño, CEO de Gobernanza Industrial y Secretario de Valencia Silicon Cluster, 4 de marzo de 2025).

Factores ecológicos (E):

- Los fenómenos climáticos extremos, tales como inundaciones, sequías, huracanes o terremotos, pueden interrumpir significativamente las cadenas de suministro y su frecuencia e intensidad continúan en ascenso (Kusters et al., 2025):
 - Un claro ejemplo fue el huracán Helene de 2024, que afectó en Carolina del Norte, teniendo que cerrar brevemente dos minas que son fuentes de casi todo el cuarzo de ultra alta pureza del mundo. Esto es esencial para el proceso de fabricación de chips (Kusters et al., 2025).
 - Otro caso significativo tuvo lugar en 2021, cuando Taiwán se enfrentó a la peor sequía que había tenido en los últimos cincuenta años. El agua es un recurso esencial en la industria de los chips. Ya solo TSMC consume diariamente el equivalente a 60 piscinas olímpicas para sus procesos de fabricación, por lo que la escasez de agua representó un desafío para la continuidad de la producción (elEconomista, 2021).
- La demanda de las tierras raras excede con creces la disponibilidad de estos recursos en el mundo. Dado que estos materiales son necesarios para la producción de chips fotónicos, si se vuelven más difíciles de obtener, los costes de fabricación aumentarían considerablemente (Olivera, Tornel y Azamar, 2022).
- Las empresas han identificado que mejorar la sostenibilidad no solo favorece el cumplimiento de sus objetivos comerciales, sino que en muchos casos también conlleva una disminución de costes. Esto ha hecho que las prácticas sostenibles sean una opción cada vez más atractiva para el sector empresarial (Deloitte, 2024).
- La capacidad de utilizar la luz como medio de transmisión de la información, permite una reducción significativa en el consumo de energía que requieren los chips fotónicos en comparación con los chips electrónicos tradicionales (Herranz, 2024). Esta propiedad representa una oportunidad para la industria, ya que puede facilitar el acceso a incentivos y a financiación en las iniciativas enfocadas a la sostenibilidad.

Factores legales (L):

- Se han establecido diversas leyes en diferentes países para promulgar la adopción y el desarrollo de la fotónica:
 - Estados Unidos implementó en 2022 la *CHIPS Act*, con el objetivo de potenciar su industria de semiconductores. Por ello, mediante incentivos y subvenciones, el país busca atraer a empresas para reforzar su autonomía en este mercado (Kurilla, 2024).
 - En 2023, el Parlamento Europeo aprobó la Ley Europea de Chips, una iniciativa destinada a fortalecer la competitividad de Europa en el sector de semiconductores. Además, esta ley favorece la doble transición digital y ecológica, y se asignarán más de 43000 millones de euros de inversiones públicas y privadas para poder responder con agilidad a cualquier futura interrupción en la cadena de suministro (Comisión Europea, s.f.-b).
- Se está produciendo un incremento en las disputas comerciales y de regulación internacional en la industria fotónica. En respuesta al programa de subvenciones implementado por Estados Unidos a través de la *CHIPS Act*, China recurrió a la Organización Mundial del Comercio (OMC), argumentando que las restricciones impuestas por el país norteamericano a las exportaciones tecnológicas podrían no ser compatibles con las normativas internacionales. Si bien la OMC permite incentivos generales para I+D, las ayudas dirigidas a sectores específicos o que están condicionadas a la producción dentro del propio país suelen entrar en conflicto con sus regulaciones. A pesar de ello, es improbable que este conflicto avance de manera significativa, ya que tras la resolución de la OMC en diciembre de 2022, Estados Unidos reafirmó su postura de no aceptar que organismos externos definan los límites de su seguridad nacional (Feás, 2023).

Tras realizar el análisis, se observa que la industria de los chips fotónicos está muy influenciada por factores geopolíticos, económicos y tecnológicos. El factor político es muy relevante porque las tensiones entre países afectan a las dinámicas del mercado y al acceso a materias primas esenciales para la producción de los chips. Respecto al factor económico, al estar todavía en la fase de desarrollo, la industria necesita una inversión sustancial en I+D para avanzar en la innovación y superar las barreras técnicas. El factor tecnológico es igual de importante, pues la revolución digital ha impulsado una demanda masiva de chips más potentes y eficientes. Este hecho coloca a los chips fotónicos como

una tecnología clave para el futuro tecnológico.

Por consiguiente, la industria de los chips fotónicos se enfrenta a un entorno desafiante donde las tensiones geopolíticas, la necesidad de grandes inversiones y la presión por innovar son factores determinantes. Para poder consolidarse como una tecnología fundamental en el futuro, será imprescindible fortalecer las cadenas de suministro, garantizar una inversión constante en I+D y reducir la dependencia de terceros países.

A continuación, se muestra una tabla resumen del análisis PESTEL:

Tabla 3. PESTEL

		PESTEL					
		Políticos	Económicos	Sociales	Tecnológicos	Ecológicos	Legales
Amenazas	<p>La guerra comercial tecnológica entre EE.UU. y China impacta en la industria fotónica.</p> <p>Restricciones impuestas a las exportaciones entre países.</p> <p>Inestabilidad geopolítica en las regiones de fabricación de semiconductores.</p> <p>Los conflictos bélicos afectan al abastecimiento de materias primas.</p> <p>La agilidad en la asignación de recursos financieros.</p>	<p>La incertidumbre económica global eleva los costes de materiales, lo que impacta en el precio final de los productos.</p> <p>La competencia y la demanda afectan a los precios: alta demanda y oferta limitada elevan los precios.</p> <p>La alta inversión requerida para la producción y adopción de la fotónica dificulta su implementación masiva.</p> <p>Varias industrias no sienten la urgencia de adoptar soluciones fotónicas, ya que los semiconductores tradicionales siguen siendo óptimos y rentables.</p> <p>La relación coste-beneficio es una barrera clave; mientras la tecnología no madure y los precios bajen, la adopción de la fotónica seguirá siendo limitada.</p> <p>Las pandemias globales interrumpen las cadenas de suministro y elevan los costes operativos, como se vio con la crisis de la Covid-19.</p>	<p>Escasez de profesionales capacitados.</p> <p>La captación y retención de talento es un desafío importante.</p> <p>La brecha tecnológica entre países puede dificultar la adopción global de la fotónica.</p>	<p>Los chips fotónicos deben de ser compatibles con la infraestructura electrónica para una integración híbrida.</p> <p>Actualmente hay una escasa aplicabilidad de la fotónica en las pantallas.</p> <p>La producción masiva de chips fotónicos se enfrenta a desafíos de escalabilidad y costes debido a su menor madurez tecnológica.</p>	<p>Los fenómenos climáticos extremos interrumpen las cadenas de suministro.</p> <p>La demanda de tierras raras excede la disponibilidad de estos recursos en el mundo.</p>	<p>Establecimiento de leyes en distintos países para fomentar esta tecnología.</p> <p>Incremento de disputas comerciales y regulatorias a nivel internacional.</p>	
	Oportunidades	<p>Las alianzas entre determinados países afectan a las dinámicas del mercado.</p> <p>Las decisiones gubernamentales sobre la distribución de recursos afectan al sector.</p>	<p>La competencia y la demanda afectan a los precios: más competencia mantiene los precios bajos.</p>	<p>La creciente digitalización y demanda de datos potencian a los chips fotónicos como una solución clave.</p>	<p>La revolución digital ha acelerado la automatización en distintos sectores.</p> <p>La mejora continua de los materiales impacta en la competitividad del mercado fotónico.</p> <p>Los circuitos integrados son la base del desarrollo tecnológico, y fortalecer la fotónica es esencial para impulsar la innovación en IA y otras áreas.</p>	<p>La sostenibilidad lleva, en muchos casos, a la reducción de costes.</p> <p>Eficiencia energética como ventaja competitiva.</p>	<p>Establecimiento de leyes en distintos países para fomentar esta tecnología.</p>

Fuente: Elaboración Propia.

6.2 Modelo de las 5 Fuerzas de Porter

Este modelo sirve para analizar el entorno competitivo de la industria de los chips fotónicos y su valor a largo plazo. Se valorarán cinco fuerzas:

Poder de los clientes:

Debido al gran potencial que tienen los chips fotónicos, los clientes de esta industria son muy diversos. Por el momento, los clientes que están adoptando esta tecnología son: los centros de datos, el campo de la inteligencia artificial, el sector de la automoción y las empresas de telecomunicaciones (Carlos G. Triviño, CEO de Gobernanza Industrial y Secretario de Valencia Silicon Cluster, 4 de marzo de 2025).

En el ámbito de los chips fotónicos, destacan los circuitos fotónicos integrados (PICs) y la fotónica de silicio, pues son los que poseen un gran potencial de aplicación a las diferentes industrias. Esto se ve reflejado en sectores como la inteligencia artificial y los centros de datos, donde la creciente demanda de ancho de banda ha impulsado el desarrollo de transceptores de alto rendimiento con la capacidad de soportar el elevado volumen de datos exigido en estos sectores (IDTechEx, s.f.). Asimismo, se prevé que en los próximos cinco años, las empresas de telecomunicaciones alcanzarán la segunda mayor cuota de mercado de la fotónica de silicio (MarketsandMarkets, 2025). Un aspecto clave en esta evolución es la integración entre los sistemas electrónicos que almacenan la información, y los sistemas fotónicos, que la transmiten. Para ello, es necesario un tratamiento intermedio a través de un transceptor, que es la pieza tecnológica que lleva a cabo la conversión de la señal electrónica en una señal óptica y viceversa. A medida que aumente el tamaño y la necesidad del tráfico de datos, se requerirá de mecanismos más sofisticados, y será en ese momento cuando la fotónica se consolide como la tecnología dominante en este ámbito (Carlos G. Triviño, CEO de Gobernanza Industrial y Secretario de Valencia Silicon Cluster, 4 de marzo de 2025).

En el sector de la automoción, la fotónica tiene la capacidad de brindar rendimientos enormemente relevantes. Los chips fotónicos pueden aportar una gran utilidad práctica a través de la sensorización, la detección de movimientos y el cálculo de distancias y velocidades, entre otros (Carlos G. Triviño, CEO de Gobernanza Industrial y Secretario de Valencia Silicon Cluster, 4 de marzo de 2025).

Como resultado, al tratarse de una tecnología emergente y fundamental para el progreso de ciertos sectores, los clientes actualmente poseen un poder de negociación **bajo**.

Poder de los proveedores:

Los principales materiales utilizados en la fabricación de PICs son el arseniuro de galio, el fósforo de indio y el silicio, siendo este último el más utilizado debido a su abundancia y bajo coste. El arseniuro de galio y el fósforo de indio no son materiales escasos en términos absolutos, pero su producción especializada y los procesos de purificación necesarios son altamente complejos. Estos procesos son los que hacen a dichos elementos aptos para operar bajo precisión nanométrica. De modo que el verdadero desafío no está en el acceso a la materia prima, sino en disponer de los equipamientos, maquinarias y procesos industriales que permitan llevar a cabo esa purificación (Carlos G. Triviño, CEO de Gobernanza Industrial y Secretario de Valencia Silicon Cluster, 4 de marzo de 2025).

Respecto a los equipos de fabricación, la dependencia de proveedores especializados es un factor determinante. Por ejemplo, la empresa ASML roza el monopolio en el mercado de chips de última generación, pues es el único proveedor de sistemas de litografía ultravioleta extrema. Estas máquinas tienen dimensiones comparables a las de un camión y un peso de 180 toneladas, alcanzado un coste cercano a 150 millones de euros. Además, el coste de estos equipos genera otra barrera de entrada importante, ya que solo un número reducido de proveedores cuenta con la capacidad financiera para realizar semejantes inversiones, consolidando así su poder en el sector (Tejedor, 2024).

Por consiguiente, el poder de negociación de los proveedores es **elevado** debido a la limitada cantidad de empresas que son capaces de suministrar los materiales esenciales y los equipos de fabricación necesarios para la producción de estos chips.

Amenaza de productos sustitutos:

Los semiconductores electrónicos tradicionales pueden representar una amenaza a los chips fotónicos si continúan mejorando en velocidad y eficiencia, reduciendo así la necesidad de la fotónica en diversos sectores (Dmitry Rizol, responsable europeo de I+D de *Samsung Digital Signage*, 28 de febrero de 2025).

No obstante, la fotónica sigue teniendo ventajas esenciales, tales como la capacidad para gestionar un mayor flujo de información sin aumentar el tamaño del chip, su menor generación de calor, y su eficiencia energética y velocidad significativamente mayor. Igualmente, vivimos en un mundo cada vez más digitalizado, donde la dependencia y la necesidad de procesar datos van en aumento, especialmente con el auge de la inteligencia artificial. Esto es una ventaja

competitiva frente a productos sustitutivos, pues los chips fotónicos destacan por procesar grandes volúmenes de información. Por ello, resulta improbable que los semiconductores electrónicos reemplacen a la fotónica en aquellos sectores donde esta desempeña un papel esencial (Noticias de la Ciencia y la Tecnología, 2024).

En el ámbito de la computación cuántica, la tecnología fotónica es necesaria al reducir las pérdidas de información, uno de los principales desafíos del sector. De esta forma, ambas tecnologías se complementan en lugar de competir entre sí, por lo que no supone un riesgo (El Economista, 2024).

En definitiva, la amenaza de los productos sustitutivos para los chips fotónicos es **moderada**, ya que, aunque los semiconductores electrónicos mejoren y actualmente sean más rentables, las ventajas de la fotónica siguen siendo superiores.

Amenaza de nuevos competidores:

La industria fotónica enfrenta importantes barreras de entrada por estar al inicio de la curva de adopción de la tecnología (véase Anexo 4). Esta situación conlleva a que los costes de investigación, desarrollo e integración de estos chips sean muy altos. Por este motivo, es imprescindible que haya un impulso específico en I+D que permita generar plataformas tecnológicas de fabricación. En respuesta a esta necesidad, diversos gobiernos han puesto en marcha iniciativas estratégicas, como el PERTE Chip en España, por ejemplo (Muñoz, 2023).

Asimismo, se requiere de una experiencia tecnológica elevada. Prueba de ello es que muchas empresas emergentes son *spin-offs* universitarias, lo que refleja la vinculación tan fuerte que existe entre el desarrollo académico y la innovación en fotónica. En el contexto español, se está considerando la creación de un fondo de capital centrado en los chips destinado a financiar startups y PYMES innovadoras del mercado (Muñoz, 2023).

Por tanto, la amenaza de nuevos competidores en esta industria es **limitada**, ya que se requiere de una inversión sustancial de capital, un alto grado de especialización tecnológica y el acceso a subvenciones que faciliten su desarrollo (Muñoz, 2023).

Rivalidad entre competidores actuales:

El auge en la demanda de tecnologías avanzadas ha impulsado el desarrollo de los chips fotónicos, donde la geopolítica desempeña un papel clave en esta industria, pues la investigación

en este campo se ha convertido en una herramienta estratégica para obtener ventajas en la economía global (Ortega, 2023).

Estados Unidos lidera el diseño y la comercialización de chips avanzados a través de empresas como Intel, Qualcomm y NVIDIA. Por otro lado, la fabricación se concentra en fundiciones asiáticas, particularmente en Taiwán y Corea del Sur, que en conjunto abarcan el 81% del mercado mundial. Esta dependencia ha incentivado a empresas y gobiernos occidentales a reforzar sus capacidades de producción locales, intensificando la competencia en la industria. En Europa, la empresa holandesa ASML se ha consolidado como el proveedor clave de equipos avanzados necesarios para la fabricación de chips. En términos de producción de tierras raras, China sigue siendo el principal productor, mientras que Japón suministra gases industriales esenciales. Esta interdependencia global añade complejidad a la cadena de suministro (Ortega, 2023).

Además, las startups también son relevantes, ya que muchas surgen de universidades y centros de investigación. De esta forma, aprovechan el conocimiento académico para desarrollar innovaciones en la fotónica. Estas startups buscan colaborar con grandes corporaciones o gobiernos para asegurar financiamiento en sus proyectos de I+D, contribuyendo así a una mayor competitividad en el mercado (Muñoz, 2023).

Por ende, la rivalidad entre los competidores actuales es **alta** debido a que el número de empresas con poder es limitado y como consecuencia, existe mucha rivalidad por conseguir el control y poder de negociación. A esto se añade la alta competencia tecnológica, tanto de grandes empresas como de startups, así como el interés estratégico de diferentes países para consolidarse como líderes en esta tecnología emergente.

Tras este análisis, se concluye que la industria de los chips fotónicos muestra un panorama competitivo mixto. En cuanto a los productos sustitutos, su amenaza es moderada, pues aunque existen tecnologías alternativas, los chips fotónicos siguen siendo la mejor opción en diversos sectores. Respecto a los clientes, su poder es bajo, ya que no tienen la capacidad de influir en los precios del mercado. La amenaza de nuevos competidores también es baja debido a las elevadas barreras de entrada de la industria. Por el contrario, el poder de los proveedores y la rivalidad de la industria son elevados. Al tratarse de una industria tecnológica altamente especializada, se depende en gran medida de proveedores especializados y materiales avanzados, lo que les otorga un gran poder en el mercado. De igual manera, la carrera tecnológica de las principales potencias mundiales genera una urgencia por innovar rápidamente para obtener una

ventaja estratégica, lo que ha intensificado la rivalidad entre los competidores actuales del sector. Como resultado, esta industria se caracteriza por una fuerte competencia interna y una dependencia significativa de proveedores clave, que obliga a los actores a invertir constantemente en innovación y a gestionar estratégicamente sus relaciones con los proveedores.

En la siguiente tabla se muestra un resumen del análisis realizado:

Tabla 4. Modelo de las 5 Fuerzas de Porter

		Fuerzas				
		Clientes	Proveedores	Sustitutos	Nuevos competidores	Rivalidad de la industria
Nivel de competencia	Bajo					
	Moderado					
	Elevado					

Fuente: Elaboración Propia.

6.3 Análisis FODA

Tras realizar el análisis PESTEL y desarrollar el modelo de las 5 Fuerzas de Porter, se ha establecido que los factores clave de éxito son la eficiencia en los costes de producción, la escalabilidad de la producción, la inversión constante en I+D, la desregulación y contar con equipos de fabricación avanzados. Por ello, a través del análisis FODA se va a estudiar si España cumple o tiene el potencial de alcanzar dichos factores de éxito para posicionarse en esta industria.

El análisis FODA es una herramienta estratégica que permite identificar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de un sector. Al aplicarlo al contexto de España, se puede determinar qué aspectos se pueden mejorar, cuáles deben reforzarse y los que requieren cambios para impulsar el desarrollo del sector. Este enfoque aborda tanto factores internos como externos, ofreciendo una visión global de los desafíos y oportunidades que enfrenta la industria (EDEM, s.f.).

Análisis interno:

DEBILIDADES

- **Falta de coordinación:** en España hay una carencia de una estrategia clara y coordinada tanto a nivel nacional como europeo. Si bien existen iniciativas orientadas a la investigación y desarrollo, la falta de integración entre las políticas nacionales y las europeas impide aprovechar de manera eficiente las oportunidades. En comparación con otros países europeos, como Alemania y Francia, es evidente que estos han logrado una integración más eficaz en este ámbito. Un ejemplo claro es Alemania, que ha acogido a la empresa taiwanesa TSMC con los brazos abiertos para construir una fábrica de chips (Mallol, 2024). En el caso francés, STMicroelectronics y GlobalFoundries han colaborado para establecer una megafábrica en el país con una inversión de 5.700 millones de euros. La iniciativa se enmarca en la Ley Europea de Chips y las empresas han recibido apoyo del Estado a través de financiación pública (Velloso, 2022).
- **Falta de un marco legislativo común para no perder competitividad:** en el mercado de la fotónica, España no actúa de manera independiente, sino que se encuentra bajo el marco regulatorio de la Unión Europea, que representa a todos sus miembros. Sin embargo, España compite intensamente con naciones como los Países Bajos, y la falta de regulación uniforme a nivel europeo obstaculiza el crecimiento del sector, ya que impide que se colabore con facilidad dentro de un marco normativo común (Mallol, 2024). Ante la falta de este marco legislativo común europeo en materia de chips fotónicos, si la legislación española no favorece tanto al desarrollo del sector como en otros países europeos (como Países Bajos, Alemania o Francia), ello provocará que el sector fotónico español pierda competitividad.
- **Falta de materialización de la financiación:** aunque existen fondos europeos y programas como la *Chips Act*, no está claro cuál debe ser la procedencia de las subvenciones, si de fondos nacionales o europeos. Esta falta de claridad crea incertidumbre y demora el proceso de toma de decisiones (Mallol, 2024).
- **Tamaño y facturación de las empresas:** según la Plataforma Tecnológica Española de Fotónica (Fotónica 21) (2022), las PYMEs españolas prevén un crecimiento alrededor del 7% y una inversión en I+D parecida a otras empresas europeas (14%). No obstante,

el tamaño y facturación de estas empresas es aproximadamente la mitad de sus competidoras europeas, lo que supone un gran desafío para el país.

- **Falta de personal cualificado:** Hay un desajuste entre la formación y la demanda laboral, lo que limita la capacidad de la industria para convertir la investigación y el desarrollo en productos comerciales (Grupo de trabajo sobre el Informe Draghi, capítulo de semiconductores, 2ª reunión, AESEMI & Valencia Silicon Cluster, comunicación personal, 14 de marzo de 2025).
- **Instrumentos ineficaces para atraer inversiones:** Aunque Europa ya reconoce a esta tecnología como un sector estratégico, y ya hay dotaciones presupuestarias, los mecanismos no son lo suficientemente efectivos para atraer inversiones (Grupo de trabajo sobre el Informe Draghi, capítulo de semiconductores, 2ª reunión, AESEMI & Valencia Silicon Cluster, comunicación personal, 14 de marzo de 2025).
- **Tecnología en fase de desarrollo:** Los chips fotónicos todavía se encuentran en la fase de *early adopters*, lo que implica una inversión considerable de capital destinada a la investigación y desarrollo.
- **Poder de negociación bajo:** el poder de negociación de las empresas españolas es muy inferior en comparación con el de otros competidores, debido al tamaño de estas. Por ejemplo, Países Bajos posee un poder de negociación muy alto gracias a la empresa ASML, que posee casi un monopolio al ser la única empresa del mundo en contar con máquinas de litografía ultravioleta extrema.

FORTALEZAS

- **Desarrollo en I+D:** España cuenta con una capacidad sólida en investigación y desarrollo en el sector gracias a las diferentes instituciones y empresas innovadoras:
 - **iPronics:** se trata de una startup surgida de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), que es pionera en el desarrollo de chips fotónicos programables, una tecnología que se volverá esencial en el ámbito de la inteligencia artificial (iPronics, s.f.).

- **ICFO:** el Instituto de Ciencias Fotónicas está situado en Barcelona y es líder en investigación en fotónica. Además, ofrece oportunidades de crecimiento profesional, lo que permite formar y atraer talento, algo necesario para que se produzcan avances en la industria (ICFO, s.f.).
 - **Valencia Silicon Cluster:** agrupa a múltiples centros de investigación y empresas con el objetivo de impulsar la industria fotónica en el país (Valencia Silicon Cluster, s.f.).
 - **SPARC:** es la primera fundición comercial de semiconductores III-IV de España que va a estar dedicada a la fotónica integrada, por lo que va más allá del uso tradicional del silicio (SPARC Foundry, s.f.).
- **Colaboraciones europeas:** la Comisión Europea ha seleccionado a España para liderar PIXEurope, la línea piloto europea de chips fotónicos. Representa una inversión de 400 millones de euros y participan varias comunidades autónomas, lo que favorece al fortalecimiento del ecosistema nacional y posiciona a España como un actor clave en esta industria (ICFO, 2024).
 - **Industria de telecomunicaciones consolidada:** grandes corporaciones como Telefónica se han convertido en un referente mundial en las redes de transporte fotónicas (Telefónica, 2015).
 - **Alianzas estratégicas sólidas:** Indra y el Grupo Oesía han establecido un acuerdo estratégico para desarrollar sistemas de defensa de vanguardia. La colaboración se basa en la inversión en tecnologías disruptivas, y como primer proyecto, ambas empresas trabajarán en el diseño de soluciones de guerra electrónica basadas en fotónica. Como resultado, se mejorará la eficiencia de los sistemas de defensa, generando una tecnología innovadora con alto valor añadido que reforzará el ecosistema tecnológico español (Indra, 2023).
 - **Creciente interés en la digitalización:** en 2021, España puso en marcha el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, una iniciativa financiada por los fondos Next Generation EU. Dicho plan creó un entorno favorable para adoptar tecnologías emergentes y estará vigente hasta el 2026 (Ministerio de Hacienda y Función Pública, 2024). El PERTE Chip se financió con los fondos europeos de este plan y resultó un éxito

al incentivar el desarrollo en diferentes regiones de España, pues cobraron conciencia de sus capacidades de desarrollo. Antes de la implementación del PERTE, la colaboración entre empresas era inestable, pero a partir de su adopción, se establecieron objetivos estratégicos comunes con el objetivo de mejorar la situación del sector a nivel nacional (Carlos G. Triviño, CEO de Gobernanza Industrial y Secretario de Valencia Silicon Cluster, 4 de marzo de 2025).

- **Sostenibilidad:** los chips fotónicos permiten una reducción significativa del consumo energético en comparación con la electrónica, favoreciendo así la adopción de tecnologías avanzadas más sostenibles (Universitat Politècnica de València, 2024).
- **Fondo de competitividad europeo:** a nivel europeo, tanto el fondo financiero plurianual como los fondos Next Generation han sido las dos vías de financiación fundamentales durante los años 2021-2027. El fondo de competitividad se ha creado con el propósito de intentar solucionar los problemas de solapamiento financiero e incluso solapamiento por los requisitos que se pedía a las empresas a la hora de acceder a esa financiación (Grupo de trabajo sobre el Informe Draghi, capítulo de semiconductores, 2ª reunión, AESEMI & Valencia Silicon Cluster, comunicación personal, 14 de marzo de 2025).

Análisis externo:

AMENAZAS

- **Competencia internacional:** Estados Unidos y Asia lideran el desarrollo y la comercialización de tecnologías fotónicas, pues cuentan con mayores recursos financieros, incentivos fiscales y con la presencia de las grandes tecnológicas del sector (Feás, 2023).
- **Dependencia tecnológica:** la dependencia de regiones como Asia y Estados Unidos amenaza a la competitividad española a largo plazo. Por este motivo, es fundamental que se establezca una estrategia clara y coherente en la Unión Europea, para poder liderar las innovaciones en el campo de la fotónica (Feás, 2023).
- **Retraso tecnológico:** El PERTE Chip se mantendrá en vigor hasta 2026. No obstante, si la Unión Europea no refuerza de manera sustancial las inversiones en I+D, España se

podría quedar atrás en comparación con otros países que apuestan por estrategias de inversión más ambiciosas (ICFO, 2024).

- **Tensiones geopolíticas:** los desacuerdos políticos tienen un impacto en el comercio internacional y en las cadenas de suministro. Por ejemplo, la guerra comercial entre Estados Unidos y China podría ralentizar el avance tecnológico de la Unión Europea (Feás, 2023).
- **Altos costes de integración:** Actualmente, la industria de los chips está diseñada para los chips electrónicos, por lo que el coste de integración de los chips fotónicos es muy elevado. Este aspecto es relevante porque como la tecnología aún no ha madurado, los primeros adoptantes serán únicamente aquellos mercados en los que el resultado compense la inversión tan elevada.
- **Necesidad de crear una cadena de valor desde cero:** Dado que la industria actual no está diseñada para los chips fotónicos, existe una barrera de entrada al sector muy elevada. En España la actividad se concentra principalmente en la investigación, sin una presencia significativa en el resto de la cadena de valor, lo que constituye una desventaja competitiva frente a otros países donde sí está más establecida. No obstante, aunque se tenga que crear desde cero, ya se están tomando medidas para diseñar la cadena de valor. Un claro ejemplo es la construcción de SPARC Foundry en Vigo, que servirá para disponer de una nueva fundición de última generación para fotónica basada en semiconductores III-V (SPARC Foundry, s.f.).

OPORTUNIDADES

- **Búsqueda de liderazgo en el mercado europeo:** según Óscar López, el Ministro para la Transformación Digital y de la Función Pública, España está promoviendo un proceso de reindustrialización con un enfoque centrado en la digitalización. El chip es la base fundamental de la digitalización y en esta ocasión, España no se quedará atrás en esta transformación, sino que será la protagonista y el motor de su avance (ICFO, 2024).
- **Creación de empleos de calidad:** la industria fotónica europea generará más de 300000 puestos de trabajo altamente cualificados, como ingenieros químicos, físicos, científicos

de datos, entre otros. Los proyectos europeos de H2020 basados en fotónica crearán aproximadamente 3500 empleos de alta tecnología (Fotónica 21, 2019).

- ***Políticas de apoyo e incentivos:*** la segunda convocatoria del PERTE Chip ha permitido que empresas como iPronics reciban más de 10 millones de euros con el fin de innovar en el campo de la fotónica y posicionar a España en el mercado (Ministerio de Industria y Turismo, 2025).
- ***Mercado en crecimiento:*** debido al potencial revolucionario de los chips fotónicos, hay una gran demanda en sectores clave, como el sector de seguridad y defensa, de telecomunicaciones y de medicina, entre otros (COTEC, 2014).
- ***Fortalecimiento del ecosistema de I+D:*** gracias al proyecto PIXEurope, España podría servir como polo de atracción para la industria si se construye una planta piloto de entre 3000 y 6000 metros cuadrados (Fernández, 2024).
- ***Explotación comercial de patentes:*** En la cuota de patentes, se está en línea con lo que se podría esperar en términos de patentes per cápita a nivel europeo. No obstante, únicamente 1/3 de dichas patentes se explotan comercialmente, por lo que si España incide para que las patentes que salgan como resultado del I+D acaben en el tejido productivo, se generaría una oportunidad para mejorar su posición en la industria (Grupo de trabajo sobre el Informe Draghi, capítulo de semiconductores, 2ª reunión, AESEMI & Valencia Silicon Cluster, comunicación personal, 14 de marzo de 2025).
- ***Plan de financiamiento sostenible en el tiempo:*** A nivel de materiales, Europa tiene una gran cantidad de infraestructuras y aunque ya se han implementado diversas líneas piloto, es necesario que se generen nuevas. No obstante, estas deben ir acompañadas de un plan a medio/largo plazo para que todos estos proyectos obtengan financiación, y que las empresas tengan un acceso fácil y rápido a estas (Grupo de trabajo sobre el Informe Draghi, capítulo de semiconductores, 2ª reunión, AESEMI & Valencia Silicon Cluster, comunicación personal, 14 de marzo de 2025).
- ***Posibilidad de formalización del clúster del chip fotónico español:*** La creación de un clúster nacional impulsaría la atracción de inversión, tanto pública como privada. Además, favorecería la colaboración entre empresas, centros de investigación y universidades.

- ***Papel estratégico de los semiconductores en defensa y espacio:*** Desde la perspectiva de los sectores de defensa y de espacio, los semiconductores son un elemento clave. La defensa cada vez requiere mayor inversión y eso implica, además de la compra de sistemas, la creación de una estrategia a medio/largo plazo en la que se destaque el papel de los semiconductores. El PERTE Chip no va a solucionar el problema de desinversión en semiconductores en España durante las últimas dos o tres décadas, por lo que es necesario definir desde la posición de España en la UE, una estrategia que permita al país poder tener una contribución relevante en este ámbito. Del mismo modo, cualquier inversión en temas de defensa y espacio, acaba teniendo un impacto más comercial, es decir, acaban convirtiéndose en tecnologías duales. Los semiconductores aportan un valor añadido significativo por su transversalidad, su presencia en todos los sistemas y por su impacto en la soberanía tecnológica y seguridad nacional. Por consiguiente, el análisis no se debe centrar únicamente en el coste, sino en una estrategia integral que evalúe cómo la implementación de estas tecnologías podría afectar a la soberanía de España respecto a los demás países (Grupo de trabajo sobre el Informe Draghi, capítulo de semiconductores, 2ª reunión, AESEMI & Valencia Silicon Cluster, comunicación personal, 14 de marzo de 2025).
- ***Reducción de la dependencia con terceros países:*** A raíz de la crisis de semiconductores, se evidenció la importancia de esta industria, que pasó a ser considerada como un sector estratégico, por lo que lograr independencia en este sector es de vital importancia. Los chips fotónicos se convertirán en un futuro en un producto crítico por la creciente demanda de procesamiento de datos. Asimismo, a medida que la tecnología y los datos se integran cada vez más en todos los aspectos de la vida cotidiana, asegurar el suministro nacional de estos chips es un aspecto clave en la estrategia del país. Esta situación representa una oportunidad para España porque le permitirá reducir su dependencia externa.
- ***Seguridad y resiliencia:*** en tiempos de altos niveles de incertidumbre, proteger el suministro de productos críticos se ha convertido en una prioridad estratégica para los países. En este sentido, formalizar y potenciar este sector es estratégico para España, pues conseguiría garantizar el abastecimiento de un producto clave en tiempos de crisis. La soberanía en el suministro de este tipo de productos proporcionaría estabilidad durante períodos de crisis económicas, incrementando a su vez la resiliencia del país.

Tras haber analizado las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas en el contexto español, se pone de manifiesto que aunque actualmente España no está lo suficientemente capacitada para posicionarse como un actor clave en la industria, sí que tiene el potencial para hacer frente a los factores de éxito. En cuanto a las fortalezas, España cuenta con una sólida comunidad de I+D, con una creciente cuota de patentes y el impulso de iniciativas como el PERTE Chip. No obstante, una de las principales debilidades es la falta de personal cualificado y la incoherencia en la regulación europea. Además, hay una competencia internacional muy fuerte y se depende en exceso de tecnologías y sistemas de otras potencias extranjeras. Aunque Europa tiene un grave problema por la falta de productividad, invertir en la tecnología fotónica puede ser una posible solución, pues a través de la inversión en formación e investigación y desarrollo, puede consolidar su posición en el mercado. Una vez establecido el plan de acción a seguir, es fundamental que se implemente cuanto antes para garantizar el progreso tecnológico. La colaboración entre los países europeos es de gran importancia para poder actuar como una región cohesionada y fortalecida, capaz de consolidar su posición en los espacios de toma de decisiones a nivel global.

A continuación se muestra una tabla resumen de los puntos principales del análisis FODA realizado:

Tabla 5. Análisis FODA

FODA	
FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo en I+D • Colaboraciones europeas • Industria de telecomunicaciones consolidada • Alianzas estratégicas sólidas • Creciente interés en la digitalización • Sostenibilidad • Fondo de competitividad europeo 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de coordinación • Falta de un marco legislativo común para no perder competitividad • Falta de materialización de la financiación • Tamaño y facturación de las empresas • Falta de personal cualificado • Instrumentos ineficaces para atraer inversiones • Tecnología en fase de desarrollo • Poder de negociación bajo
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de liderazgo en el mercado europeo • Creación de empleos de calidad • Políticas de apoyo e incentivos • Mercado en crecimiento • Fortalecimiento del ecosistema de I+D • Explotación comercial de patentes • Plan de financiamiento sostenible en el tiempo • Posibilidad de formalización del clúster del chip fotónico español • Papel estratégico de los semiconductores en defensa y espacio • Reducción de la dependencia con terceros países • Seguridad y resiliencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Competencia internacional • Dependencia tecnológica • Retraso tecnológico • Tensiones geopolíticas • Altos costes de integración • Necesidad de crear una cadena de valor desde cero

Fuente: Elaboración Propia.

7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una vez realizado el análisis estratégico de la industria de los chips fotónicos, se pone de manifiesto el potencial de esta tecnología, que se erige como la base de cualquier tecnología actual.

Del análisis del sector, se determina que:

- A raíz de la crisis de semiconductores, los países reconocen que la industria de los chips es un sector estratégico.
- Los chips fotónicos utilizan la luz para transmitir información, en vez de la electricidad, lo que conlleva numerosas ventajas:
 - Mayor eficiencia de los chips
 - Velocidades significativamente superiores al procesar datos
 - Mayor sostenibilidad, pues consumen menos energía
 - Ancho de banda mayor, permitiendo transmitir más información sin perder la calidad de esta, con el mismo tamaño del chip
 - Mayor alcance en la transmisión de datos, posibilitando la comunicación a largas distancias sin perder información, como ocurre con los cables de fibra óptica
- No obstante, el mercado de los chips está diseñado para los microelectrónicos tradicionales, por lo que el coste de integración de los fotónicos es alto.
- Su potencial para aplicarlo a las distintas industrias es disruptivo. Actualmente, esta tecnología ya se está implementando en los centros de datos debido a su capacidad para procesar grandes cantidades de información, algo esencial con el surgimiento de la inteligencia artificial.

Del análisis PESTEL se ha concluido que la industria de los chips fotónicos está muy influenciada por:

- *Factores geopolíticos:* ante los tiempos de incertidumbre que se están viviendo actualmente, las tensiones y las disputas entre países tienen un impacto en las fuerzas del mercado y en las cadenas de suministro, afectando a toda la cadena de valor.
- *Factores económicos:* el hecho de que la tecnología todavía se encuentre en las primeras fases de adopción provoca que la inversión necesaria sea muy alta, tanto por costes de investigación, como de infraestructuras. Este factor genera una barrera de entrada considerable.

- *Factores tecnológicos:* la demanda de chips continuará en constante crecimiento gracias a la digitalización de la sociedad. Este hecho representa una oportunidad clave para los chips fotónicos, pues la presión por innovar y obtener chips más eficientes la han convertido en una tecnología facilitadora esencial.

De las 5 Fuerzas de Porter, se observa una estructura competitiva mixta:

- El poder de los clientes es bajo porque no pueden influir en los precios del mercado.
- La amenaza de nuevos competidores es muy limitada debido a las barreras de entrada tan elevadas.
- Aunque por ahora los chips electrónicos sí pueden ser los sustitutos de los fotónicos porque ya están integrados en el mercado, a largo plazo, cuando la tecnología haya madurado, los chips electrónicos no representarán una amenaza para los chips fotónicos.
- El poder de los proveedores es bastante alto porque se depende de su especialización y materiales avanzados.
- La rivalidad de la industria es muy elevada al tratarse de un sector estratégico. La urgencia por lograr avances tecnológicos para obtener una ventaja competitiva ha conllevado a que se intensifique la competencia entre los actores del sector.

Los factores clave de éxito son los siguientes:

- Eficiencia en los costes de producción
- Escalabilidad de la producción
- Inversión constante en I+D
- Desregulación
- Contar con equipos de fabricación avanzados

Del análisis FODA en el contexto español se establece que:

- España actualmente no está capacitada para convertirse en un actor clave, pues está diseñando toda la cadena de valor desde cero, y algunos países ya poseen estructuras más consolidadas.
- No obstante, sí que tiene el potencial para afrontar los factores de éxito y consolidar su posición en un futuro.

- El país cuenta con una comunidad fuerte en I+D, pero también resulta necesario fortalecer otros eslabones de la cadena de valor, como la fabricación.
- Reducir la dependencia de terceros es un factor imprescindible, pues los chips fotónicos se convertirán en un producto crítico y si España cuenta con esta tecnología, poseerá una ventaja competitiva, que, en estos tiempos de incertidumbre, garantizará estabilidad durante crisis e incrementará la resiliencia del país.
- Si la Unión Europea simplificara y optimizara la legislación, sería mucho más fácil actuar conjuntamente. La colaboración entre los países miembros permitiría a Europa actuar como una región cohesionada y unida y además de mejorar la cadena de valor, se mejoraría su posición respecto a las demás potencias extranjeras.

Por consiguiente, este trabajo ha logrado responder al objetivo principal de la investigación al haber analizado las ventajas competitivas que la adopción de los chips fotónicos puede ofrecer, con un enfoque especial en España y Europa. Por un lado, España cuenta con centros de investigación de primer nivel, como el Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO), empresas innovadoras del sector como iPronics, y un ecosistema cada vez más alineado con el desarrollo tecnológico. Sin embargo, también enfrenta desafíos significativos, como la dependencia de tecnologías de terceros, la falta de una estrategia industrial clara y la escasez de inversión en I+D. En este aspecto, el informe de Draghi, publicado en septiembre de 2024, subraya la necesidad de que Europa transforme sus políticas para hacer frente a estos problemas.

Aunque el mercado esté liderado por Estados Unidos y Asia, los chips fotónicos siguen siendo un sector emergente en el que aún es posible competir con inversiones bastante menores, generando empleo altamente cualificado. Este último aspecto es muy importante, ya que el talento humano es un factor determinante de la competitividad, pues condiciona a los demás factores.

Los chips fotónicos son una innovación disruptiva capaz de superar las limitaciones críticas de los chips actuales. Sin embargo, esta tecnología todavía se encuentra en las fases de desarrollo, por lo que aún no ha alcanzado su madurez tecnológica. Mientras esto continúe así, la fabricación de estos chips será demasiado costosa, lo que dificultará su adopción masiva.

En definitiva, la fotónica posee el poder de transformar múltiples industrias y mejorar la competitividad global. La creciente competencia por la soberanía tecnológica y el control de las cadenas de suministro hace que los chips fotónicos sean un activo geopolítico clave. Para que España se consolide como un actor decisivo en esta industria, es esencial que continúe invirtiendo

en I+D, así como formando a los diferentes profesionales. Como resultado, se podrá crear un ecosistema de innovación que asegure una ventaja competitiva.

8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A pesar de la relevancia de los chips fotónicos como tecnología emergente, hay pocos estudios enfocados a las dinámicas del mercado global, sobre todo desde una perspectiva estratégica. Por ello, este estudio busca llenar ese vacío en la literatura actual, aportando una visión más global de cómo los chips fotónicos pueden generar ventajas competitivas a las economías nacionales en el futuro.

Respecto a las futuras líneas de investigación, es imprescindible profundizar en el estudio los impactos de esta tecnología en otros sectores clave. Se han visto innovaciones en el sector de telecomunicaciones e inteligencia artificial, pero también sería interesante evaluar su repercusión en otras áreas clave, como en el ámbito médico, de seguridad y defensa o aeroespacial.

En relación a los chips, una de sus principales debilidades es el problema de escalabilidad debido al alto coste que supondría, por lo que se podría estudiar qué tipo de infraestructura sería necesaria para que España pudiese fabricarlos en masa.

Otro aspecto determinante que se debe considerar es la formación de puestos de trabajo de alto valor añadido, como físicos, científicos de datos o ingenieros químicos, entre otros. Este factor es imprescindible para poder crear un ecosistema de innovación que apoye el crecimiento de la industria fotónica en España.

Finalmente, además de estos factores, un elemento relevante para futuras investigaciones sería analizar cómo España puede pasar de ser un consumidor de esta tecnología a un líder a través de la investigación y producción. Para ello, se deberá fomentar más la colaboración público-privada, establecer estrategias para atraer inversiones y aliarse con otros países para fortalecer la cadena de valor europea. En conclusión, la disrupción de los chips fotónicos es una oportunidad excepcional para España y Europa para lograr autosuficiencia tecnológica frente a otras potencias.

9. DECLARACIÓN DE USO DE HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA EN TRABAJOS FIN DE GRADO

ADVERTENCIA: Desde la Universidad consideramos que ChatGPT u otras herramientas similares son herramientas muy útiles en la vida académica, aunque su uso queda siempre bajo la responsabilidad del alumno, puesto que las respuestas que proporciona pueden no ser veraces. En este sentido, NO está permitido su uso en la elaboración del Trabajo fin de Grado para generar código porque estas herramientas no son fiables en esa tarea. Aunque el código funcione, no hay garantías de que metodológicamente sea correcto, y es altamente probable que no lo sea.

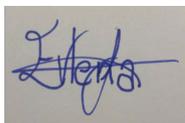
Por la presente, yo, Elena Roselló Frasquet, estudiante del doble grado de ADE y Relaciones Internacionales de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "La disrupción de los chips fotónicos: una oportunidad para la autosuficiencia tecnológica de España y Europa frente a Estados Unidos", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. **Brainstorming de ideas de investigación:** Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.
2. **Crítico:** Para encontrar contra-argumentos a una tesis específica que pretendo defender.
3. **Estudios multidisciplinares:** Para comprender perspectivas de otras comunidades sobre temas de naturaleza multidisciplinar.
4. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
5. **Sintetizador y divulgador de libros complicados:** Para resumir y comprender literatura compleja.
6. **Generador de problemas de ejemplo:** Para ilustrar conceptos y técnicas.
7. **Revisor:** Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
8. **Generador de encuestas:** Para diseñar cuestionarios preliminares.
9. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 25-03-2025

Firma: _____



10. BIBLIOGRAFÍA

- Amoedo, A. (24 de abril de 2024). Indra se une a la planta de chips fotónicos viguesa, que logra casi 2 millones del Perte. *Universidade de Vigo*. Recuperado de <https://www.uvigo.gal/sites/uvigo.gal/files/contents/clipping/2024-04/f240424.pdf>
- A*STAR IMRE. (s.f.). *A*STAR Institute of Materials Research and Engineering (A*STAR IMRE)*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://www.a-star.edu.sg/imre>
- CEA-Leti. (s.f.). *Missions and organization*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://www.leti-cea.com/cea-tech/leti/english/Pages/Leti/About-Leti/mission-organization.aspx>
- Comisión Europea. (s.f.-a). *Fotónica*. Recuperado el 17 de octubre de 2024 de <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/policies/photronics>
- Comisión Europea. (s.f.-b). *Ley Europea de Chips*. Recuperado el 10 de febrero de 2025 de https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act_es
- Comisión Europea. (19 de noviembre de 2024). *La UE invertirá cerca de 500 millones de euros en tecnologías e investigación de vanguardia – Proyectos Parte 1*. Recuperado el 26 de diciembre de 2024 de <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/activities/invest-close-half-billion-euro-part-one>
- COTEC. (2014). *Informe COTEC – Tecnología e innovación en España*. Recuperado de https://mcyt.educa.madrid.org/empleo/documentos/doc/Informe_COTEC_2014-Tecnologia_e_Innovacion_en%20Espana.pdf
- Deloitte. (febrero de 2024). *Semiconductor sustainability trends – Article 2 in a series of 7*. Recuperado de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/consulting/us-semiconductor-sustainability-trends-article2.pdf>
- Draghi, M. (septiembre de 2024). *The future of European competitiveness (Part A): A competitiveness strategy for Europe*. Comisión Europea. https://commission.europa.eu/document/download/97e481fd-2dc3-412d-be4c-f152a8232961_en?filename=The%20future%20of%20European%20competitiveness%20-%20A%20competitiveness%20strategy%20for%20Europe.pdf

- Draghi, M. (septiembre de 2024). *The future of European competitiveness (Part B): A competitiveness strategy for Europe*. Comisión Europea. https://commission.europa.eu/document/download/ec1409c1-d4b4-4882-8bdd-3519f86bbb92_en?filename=The%20future%20of%20European%20competitiveness%20In-depth%20analysis%20and%20recommendations_0.pdf
- EDEM. (s.f.). *Cómo hacer un DAFO (guía + ejemplos)*. Recuperado el 26 de febrero de 2025 de <https://edem.eu/como-hacer-un-dafo-guia-ejemplos/>
- El Economista. (24 de marzo de 2024). *La computación cuántica se acerca: diseñan un procesador basado en luz que dispara las posibilidades*. Recuperado de <https://www.eleconomista.es/tecnologia/noticias/12701798/03/24/la-computacion-cuantica-se-acerca-disenan-un-procesador-basado-en-luz-que-dispara-las-posibilidades.html>
- El Economista. (11 de junio de 2021). *La peor sequía de Taiwán en 50 años es la última maldición para el suministro mundial de chips*. Recuperado el 3 de febrero de 2025 de <https://www.eleconomista.es/economia/noticias/11267109/06/21/La-peor-sequia-en-50-anos-en-Taiwan-la-ultima-maldicion-para-el-suministro-mundial-de-chips.html>
- Feás, E. (2 de febrero de 2023). *La guerra tecnológica EEUU-China y sus efectos sobre Europa*. Real Instituto Elcano. Recuperado de <https://www.realinstitutoelcano.org/analisis/la-guerra-tecnologica-eeuu-china-y-sus-efectos-sobre-europa/>
- Fernández, J. G. (12 de diciembre de 2024). *La última oportunidad de España para fabricar chips: “No podemos dejar pasar este tren”*. *Expansión*. Recuperado el 28 de febrero de 2025 de <https://www.expansion.com/economia-digital/2024/12/12/6759c532468aebb7698b4576.html>
- Fotónica 21. (2022). *Agenda estratégica de Investigación e Innovación de la Fotónica en España*. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/384441/Fotonica21_Agenda-Estrategica-2022.pdf?sequence=1
- Fotónica 21. (11 de noviembre de 2019). *La investigación europea en Fotónica como fuente de riqueza y empleo*. Recuperado de <https://www.fotonica21.org/la-investigacion-europea-en-fotonica-como-fuente-de-riqueza-y-empleo/>

- Fotónica 21. (2021). *Priorización de Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación en el ámbito de la Fotónica*. Recuperado de <https://fotonica21.org/wp-content/uploads/2021/02/priorizacion-lineas-idi-fotonica.pdf>
- Gobernadora Kathy Hochul. (25 de octubre de 2021). *La gobernadora Hochul anuncia el otorgamiento de \$321 millones a Aim Photonics para seguir construyendo un sólido ecosistema de fotónica de silicio en los estados unidos* [Comunicado de prensa]. https://www.governor.ny.gov/sites/default/files/2021-10/10.25.21.rel_AIM_Spanish.pdf
- Grenoble INP. (s.f.). *MINATEC*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://www.grenoble-inp.fr/en/about/minatec>
- Gupta, M.C., & Ballato, J. (3 de octubre de 2018). *The Handbook of Photonics*. En *CRC Press eBooks*. <https://doi.org/10.1201/9781315222103>
- Herranz, F. (2 de noviembre de 2024). *La industria de chips fotónicos, un campo prometedor y disruptivo para mejorar la competitividad*. *Industry Talks*. Recuperado el 28 de enero de 2025 de <https://industrytalks.es/la-industria-de-chips-fotonicos-un-campo-prometedor-y-disruptivo-para-mejorar-la-competitividad/>
- Hsinchu Science Park. (s.f.). *Innovative R&D*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://web.sipa.gov.tw/english/InnovativeRD>
- Ibáñez, J. M. (2023). Algunas consideraciones sobre la fotónica como tecnología habilitadora clave. *Economía industrial*, (428), 97-116. Recuperado de <https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/428/IBA%C3%91EZ%20DE%20ALDECOA%20QUINTANA.pdf>
- ICFO. (s.f.). *Estudios*. Recuperado el 26 de febrero de 2025 de <https://www.icfo.eu/es/estudios/>
- ICFO. (24 noviembre de 2024). *La Comisión Europea confía en España para liderar la Línea Piloto Europea de Chips Fotónicos*. Recuperado 2 de enero de 2025, de <https://www.icfo.eu/es/noticias/2436/la-comision-europea-confia-en-espana-para-liderar-la-linea-piloto-europea-de-chips-fotonicos/>
- IDTechEx. (s.f.). *Silicon Photonics and Photonic Integrated Circuits 2025-2035: Technologies, Market, Forecasts*. Recuperado de <https://www.idtechex.com/en/research-report/silicon-photonics-and-photonic-integrated-circuits-2025/1067>

- IESEI. (mayo de 2023). *La digitalización, la innovación, la inteligencia artificial y sus efectos en el empleo*. Recuperado de <https://industria.ccoo.es/2296fed7b5a09510173a8bec8ef35310000060.pdf>
- IMEC. (s.f.). *Integrated photonics*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://www.imec-int.com/en/integrated-photonics>
- Indra. (18 de julio de 2023). Indra y Grupo Oesía firman un acuerdo estratégico de colaboración para el desarrollo de sistemas de defensa de vanguardia [Comunicado de prensa]. https://www.indracompany.com/sites/default/files/230718_np_indra_grupo_oesia_acuerdo_colaboracion.pdf
- Inniss, D. & Rubenstein, R. (2017). *Silicon Photonics: Fueling the Next Information Revolution*. Cambridge, MA: Morgan Kaufmann.
- INO. (18 de diciembre de 2024). *Geopolitical Tensions and the 'Silicon Shield': Why Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSM) Remains a Tech Titan*. Recuperado de <https://www.ino.com/blog/2024/12/geopolitical-tensions-and-the-silicon-shield-why-taiwan-semiconductor-manufacturing-company-tsm-remains-a-tech-titan/>
- iPronics. (s.f.). *How does iPronics technology work?*. Recuperado el 26 de febrero de 2025 de <https://ipronics.com/technology/>
- IPSR International. (marzo de 2024). *Biomedical Applications*. Recuperado de https://photonicsmanufacturing.org/sites/default/files/documents/biomedical_application_guide_-_iprsr_i_2024.pdf
- Megias, J. (18 de diciembre de 2012). *Early adopters: la clave al lanzar un nuevo modelo de negocio*. Recuperado el 20 de marzo de 2025 de <https://javiermegias.com/blog/2012/12/early-adopters-clave-nuevo-modelo-de-negocio-curva-adopcion-tecnologia/>
- Jiménez Pérez, A. (2023). Semiconductores. ¿qué son y por qué son importantes?. *Cuadernos Fronterizos*, 19(59), 22–24. <https://doi.org/10.20983/cuadfront.2023.59.6>
- Jorge, R. (1 de marzo de 2024). Orientaciones políticas sobre las relaciones UE-China en materia de semiconductores: una perspectiva sobre la agenda bilateral y multilateral. *Real Instituto Elcano*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://www.realinstitutoelcano.org/analisis/orientaciones-politicas-sobre-las-relaciones-ue-china-en-materia-de-semiconductores-una-perspectiva-sobre-la-agenda->

[bilateral-y-multilateral/](#)

- Jung, E. (20 de septiembre de 2023). The “Chip 4 Alliance” and Taiwan-South Korea Relations. *Global Taiwan Institute*, 8(18). Recuperado de <https://globaltaiwan.org/wp-content/uploads/2023/09/GTB-8.18-PDF-Final.pdf>
- Katari, M., Krishnamoorthy, G. & Jeyaraman, J. (March 2024). Novel Materials and Processes for Miniaturization in Semiconductor Packaging. *Journal of Artificial Intelligence General Science JAIGS*, 2(1), 252-271. Recuperado de <https://ojs.boulibrary.com/index.php/JAIGS/article/view/112/80%20p%C3%A1gina%209>
- KPMG. (2020). *El impacto de la COVID-19 en la industria de semiconductores*. Recuperado de <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/co/sac/pdf/2020/06/el-impacto-de-la-covid19-en-la-industria-de-semiconductores.pdf>
- Kurilla, M. (29 de abril de 2024). What Is the CHIPS Act? *Council On Foreign Relations*. Recuperado de <https://www.cfr.org/in-brief/what-chips-act>
- Kusters, J., Bhattacharjee, D., Bish, J., Nicholas, J. T., Stewart, D., & Ramachandran, K. (4 de febrero de 2025). 2025 global semiconductor industry outlook. *Deloitte*. Recuperado de <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-telecom-outlooks/semiconductor-industry-outlook.html>
- Mallol, E. (22 de septiembre de 2024). Con el chip de 2nm de TSMC, China estará cuatro generaciones por detrás de EEUU. *Atlastech Review*, (29). Recuperado de <https://atlastecnologico.com/wp-content/uploads/2024/09/ATLASTECH-REVIEW-No-29.pdf>
- Marchetti, R., Lacava, C., Carroll, L., Gradkowski, K., & Minzioni, P. (febrero de 2019). Coupling strategies for silicon photonics integrated chips (Invited). *Photonics Research*, 7(2), 201-239. <https://doi.org/10.1364/PRJ.7.000201>
- Margalit, N., Xiang, C., Bowers, S. M., Bjorlin, A., Blum, R., & Bowers, J. E. (2021). Perspective on the future of silicon photonics and electronics. *Applied Physics Letters*, 118, 1-10. <https://doi.org/10.1063/5.0050117>
- MarketsandMarkets. (enero de 2025). *Silicon Photonics Market Size, Share and Growth Analysis*. Recuperado de <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/silicon-photonics-116.html>

- Martí, C. (22 de octubre de 2024). Estrategias industriales de defensa y tecnologías duales. *Real Instituto Elcano*. Recuperado de <https://www.realinstitutoelcano.org/analisis/estrategias-industriales-de-defensa-y-tecnologias-duales/>
- McKinsey & Company. (2024). *McKinsey on Semiconductors (número 9)*. Recuperado de https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/semiconductors/our%20insights/mckinsey%20on%20semiconductors%202024/mck_semiconductors_2024_webpdf.pdf
- Mercado, A. M., Facio, M. M., Flores, F. F., & Moya, A. G. (29 de junio de 2016). Historia y evolución de la industria de semiconductores y la integración de México en el sector. *European Scientific Journal ESJ*, 12(18), 65. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p65>
- Ministerio de Hacienda y Función Pública. (24 de enero de 2024). *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*. Recuperado el 27 de febrero de 2025 de <https://www.fondoseuropeos.hacienda.gob.es/sitios/dgpmrr/es-es/paginas/plan.aspx>
- Ministerio de Industria y Turismo. (5 de febrero de 2025). El Ministerio de Industria adjudica 40,6M€ a siete proyectos del PERTE Chip [Comunicado de prensa]. <https://www.mintur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/2025/documents/20250205%20np%20adjudicaciones%20perterechip%20ii.pdf>
- Mordor Intelligence. (s.f.). *Análisis de participación y tamaño del mercado de circuitos integrados fotónicos: tendencias y pronósticos de crecimiento (2025 - 2030)*. Recuperado 4 de enero de 2025, de <https://www.mordorintelligence.ar/industry-reports/hybrid-photonic-integrated-circuit-market>
- Muñoz, P. (14 de marzo de 2023). *España ante los desafíos en chips fotónicos*. Agencia SINC. Recuperado de <https://www.agenciasinc.es/Opinion/Espana-ante-los-desafios-en-chips-fotonicos>
- Noticias de la Ciencia y la Tecnología. (15 de noviembre de 2024). *Chips fotónicos: La revolución silenciosa en el mundo de la computación*. Recuperado 19 de noviembre de 2024 de <https://noticiasdelaciencia.com/art/52560/chips-fotonicos-la-revolucion-silenciosa-en-el-mundo-de-la-computacion>

- Olivera, B., Tornel, C., y Azamar, A. (diciembre de 2022). *Minerales críticos para la transición energética*. *Fundación Heinrich Böll*. Recuperado de <https://mx.boell.org/sites/default/files/2022-12/minerales-criticos-e-book-ok.pdf>
- Optics.org. (22 de octubre de 2009). *Intel turns to photonics to extend Moore's law*. Recuperado 4 de noviembre de 2024 de <https://optics.org/article/40732>
- Ortega, A. (10 de enero de 2023). *La carrera por el control de los chips avanzados se acelera*. *Política Exterior*. Recuperado de <https://www.politicaexterior.com/la-carrera-por-el-control-de-los-chips-avanzados-se-acelera/>
- Ortez Alvarado, A. (6 de junio de 2023). *Inflación tecnológica: impacto económico y recomendaciones prácticas*. *Qualoom*. Recuperado de <https://www.qualoom.es/inflacion-en-el-sector-tecnologico/>
- Paniccia, M., Krutul, V., & Koehl, S. (febrero de 2004). *Introducing Intel's Advances in Silicon Photonics*. *Intel*. Recuperado de https://www.intel.la/content/dam/www/public/us/en/documents/intel-research/Intel_Advances_Silicon_Photonics.pdf
- PERTE Chip. (s. f.). *El proyecto para convertir a España en un referente en el diseño y fabricación de Chips*. Recuperado el 11 de octubre de 2024 de <https://www.pertechip.com/perte-chip-que-es>
- Photonics21. (2018). *Photonics – a critical Key Enabling Technology for Europe: Role and impact of Photonics in H2020*. Recuperado de <https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Photonics-in-Horizon-2020-finaldigital-C1.pdf>
- Real Instituto Elcano. (5 de diciembre de 2024). *Disecionando el Informe Draghi*. Recuperado de <https://media.realinstitutoelcano.org/wp-content/uploads/2024/12/2024-especial-disecionando-el-informe-draghi-2-1.pdf>
- Research Laboratory of Electronics at MIT. (s.f.). *RLE: Where the Future Begins*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://www.rle.mit.edu/about/>
- Reynolds, M. (12 de enero de 2024). *Controlling Light: Is Silicon Photonics an Emerging Front in U.S.-China Tech Competition?* *Center For Strategic & International Studies (CSIS)*. Recuperado de <https://www.csis.org/analysis/controlling-light-silicon-photonics-emerging-front-us-china-tech-competition>

- Robin, T., d'Humières, B. & Cochard, J. (abril de 2022). An overview of global and European photonics markets and industry. *PhotonicsViews*, 19(2), 68-71. <https://doi.org/10.1002/phvs.202200020>
- Shalf, J. (2020). The future of computing beyond Moore's Law. *Philosophical Transactions Of The Royal Society*, 378(2166), 20190061. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0061>
- Shekar, S., Bogaerts, W., Chrostowski, L. Bowers, J. E., Hochberg, M., Soref R. & Shastri, B. J. (25 de enero de 2024). Roadmapping the next generation of silicon photonics. *Nature Communications*, 15(751), 1-15. Recuperado de <https://www.nature.com/articles/s41467-024-44750-0.pdf>
- Silicon Saxony. (s.f.). *Locally Active For Europe's Future*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://silicon-saxony.de/en/about-us/>
- Silicon Valley Journals. (s.f.). *Top 100 Silicon Valley Companies List*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://siliconvalleyjournals.com/companies/>
- Singh, M. K. (2024). Electronic-photonic millimeter-wave systems-on-chip and passive devices in silicon CMOS photonics [Tesis de doctorado, Boston University]. <https://open.bu.edu/items/fa954dbf-0e27-4b68-a390-1da502920895>
- Sociedad Española para la Transformación Tecnológica. (29 de mayo de 2024). *El Gobierno adjudica las 17 Cátedras Chip, dotadas con 45 millones, para formar a 1.000 profesionales sobre microelectrónica y semiconductores*. Recuperado el 19 de noviembre de 2024 de <https://sett.gob.es/actualidad/el-gobierno-adjudica-17-catedras-chip/>
- SPARC Foundry. (s. f.). *Spain launches its first Commercial Foundry for III-V Semiconductors targeting Integrated Photonics*. Recuperado el 2 de enero de 2025 de <https://sparcfoundry.com/>
- SPIE. (2024). *Optics & Photonics – Global Industry Report*. Recuperado de <https://spie.org/documents/Exhibitions/pw/2024/SPIE-Global-Industry-Report-2024.pdf>
- Stanford Ginzton Lab. (s.f.). *About the Lab*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://ginzton.stanford.edu/about-lab>
- Tejedor Lejona, I. (6 de marzo de 2024). *La discreta joya neerlandesa que controla el futuro de los microchips*. Política Exterior. Recuperado de <https://www.politicaexterior.com/la-discreta-joya-neerlandesa-que-controla-el-futuro-de-los-microchips/>

- Telefónica. (9 de febrero de 2015). *Telefónica España, referente mundial en redes de transporte fotónicas*. Recuperado el 27 de febrero de 2025 de <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/prensa/telefonica-espana-referente-mundial-en-redes-de-transporte-fotonicas/>
- Universitat Politècnica de València. (13 de mayo de 2024). *A la vanguardia en la fabricación de chips fotónicos*. Recuperado el 27 de febrero de 2025 de <https://www.upv.es/noticias-upv/noticia-14619-a-la-vanguardi-es.html>
- Valencia Silicon Cluster. (s. f.). *Quiénes somos*. Recuperado el 16 de octubre de 2024 de <https://valenciasiliconcluster.es/quienessomos/>
- Velloso, C. (11 de julio de 2022). Nuevo empujón europeo a la industria de chips: Francia construirá una megafábrica de 5.700 millones. *elEconomista*. Recuperado el 20 de marzo de 2025 de <https://www.economista.es/tecnologia/noticias/11861461/07/22/Nuevo-empujon-europeo-a-la-industria-chips-Francia-construira-una-megafabrica-de-5700-millones.html>
- Wessner, C. & Howell, T. (febrero de 2025). Albany NanoTech's Potential to Support the National Semiconductor Technology Center. *Center for Strategic and International Studies (CSIS)*. Recuperado de https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/2025-02/250214_Wessner_Albany_NanoTech.pdf?VersionId=6mUN_F_yeOCYmuI16UvJtaNi2r78fhCd
- Zhangjiang Group. (s.f.). *About Zhangjiang Group*. Recuperado el 21 de marzo de 2025 de <https://www.zjpark.com/en/guanyu.html>

11.ANEXOS

Anexo 1. Entrevista Samsung

El 28 de febrero de 2025, se entrevistó a Dmitry Rizol, el responsable europeo de I+D de *Samsung Digital Signage*. Por motivos de confidencialidad no se adjunta la entrevista completa. Sin embargo, a continuación se muestran las preguntas realizadas:

1. ¿Qué papel podrían jugar los chips fotónicos en la electrónica de consumo?
2. ¿Cuáles son los principales desafíos técnicos a los que se enfrenta al integrar los chips fotónicos en las pantallas?
3. Dado que los chips fotónicos son complicados de fabricar y costosos, ¿hay alguna investigación en curso para buscar soluciones que pueda hacerlos más asequibles?
4. ¿Hay alguna tendencia en la industria mundial de pantallas hacia la adopción de la fotónica?
5. ¿Existen tecnologías sustitutas que puedan reducir los costes en un futuro cercano?
6. ¿Cree que el coste de los chips fotónicos disminuirá lo suficiente en el futuro para justificar su adopción masiva en pantallas comerciales?

Anexo 2. Entrevista Valencia Silicon Cluster

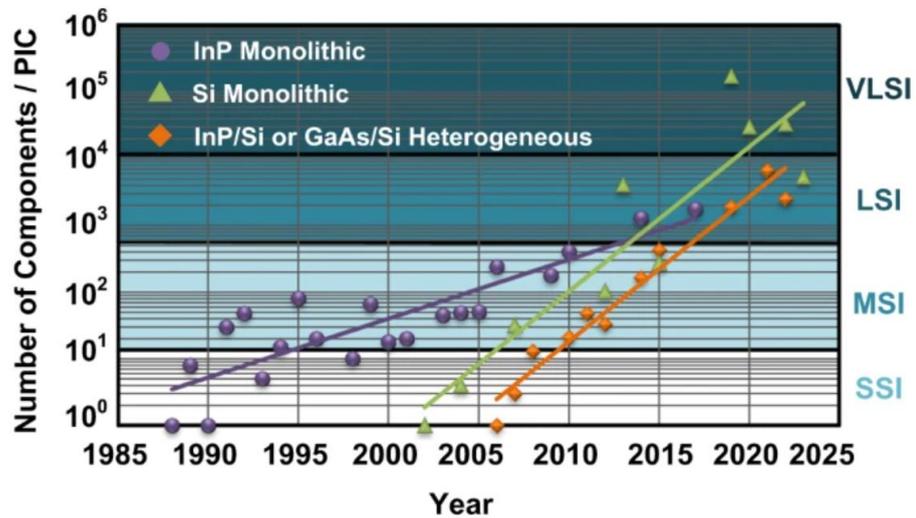
El 4 de marzo de 2025, se entrevistó a un profesional en el campo de los chips fotónicos, Carlos G. Triviño, CEO de Gobernanza Industrial y Secretario de Valencia Silicon Cluster. Por cuestiones de confidencialidad no se adjunta la entrevista completa, pero sí se muestran las preguntas realizadas:

1. Actualmente, muchos países están apostando por la soberanía tecnológica en semiconductores. ¿Cómo afectan estas políticas proteccionistas al desarrollo de la industria de los chips fotónicos en Europa?

2. ¿Cuáles son los principales desafíos para que Europa logre una posición competitiva en la industria de los chips fotónicos? ¿Existen obstáculos regulatorios, de inversión o de desarrollo tecnológico?
3. ¿Es más probable que las startups jueguen un papel clave en la innovación o que los gigantes tecnológicos absorban el mercado?
4. ¿Europa tiene acceso suficiente a los componentes y materias primas necesarias para competir en esta industria sin depender de Estados Unidos o Asia?
5. ¿Qué tipos de clientes están más interesados en adoptar chips fotónicos?
6. ¿Existen tecnologías alternativas que puedan sustituir a los chips fotónicos o limitar su crecimiento?
7. ¿Podría la mejora en los chips electrónicos retrasar la adopción de los chips fotónicos en el mercado?
8. ¿Cuáles son los mayores obstáculos para la producción masiva de chips fotónicos?
9. ¿Qué opina de la involucración y el apoyo del gobierno español al clúster del chip fotónico?

Anexo 3. Evolución del número de componentes en un PIC, de integración a pequeña escala, mediana escala, gran escala, y muy gran escala.

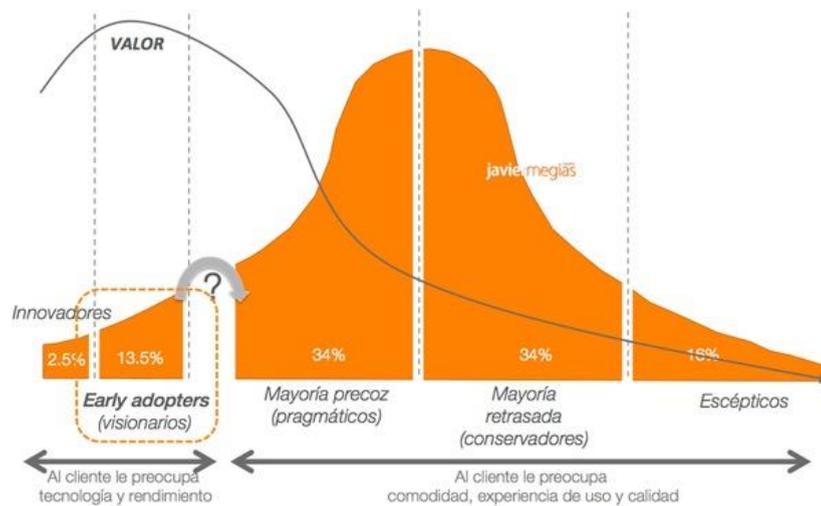
Figura 3. Evolución del número de componentes en un PIC



Fuente: Shekhar et al., 2024

Anexo 4. La curva de adopción de la tecnología

Figura 4. Estado de la tecnología



Fuente: Blog de Javier Megias, 2012