Agenda estratégica

de Investigación e Innovación de la Fotónica en España

fotónica21
Plataforma Tecnológica Española de Fotónica

Ayuda PTR2020-001189 financiada
por MCIN/AEI/10.13039/501100011033

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

AGENCIA ESTATAL DE INVESTIGACIÓN

Bienvenida

Fotónica 21 lanzó la tercera versión de la Agenda Estratégica de Investigación en el año 2011, y en 2013 veía la luz el documento de "Recomendaciones para el desarrollo del sector" (de la fotónica en España). Mucho ha llovido desde entonces y algunos de los retos entonces planteados están ya, si no solucionados, muy bien encarados.

La red de fibra óptica, que apuntábamos en ambos documentos que debía extenderse de forma masiva, ha pasado de tener 60.000 UUII conectadas con fibra en 2010 a más de 10 millones a final de 2019 según datos de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. La fotónica integrada ha pasado de ser una promesa a generar negocio hasta el punto de que hay iniciativas para poder localizar en España capacidades de fabricación. Los másteres universitarios en fotónica, óptica, láseres, visión por computador, etc. se cuentan por decenas, garantizando la formación de los profesionales que acompañarán y empujarán el crecimiento en los próximos años. Incluso hemos visto por el camino la declaración por parte de la Unesco del año 2015 como el año internacional de la luz y las tecnologías de la luz.

El crecimiento de la fotónica a nivel científico, tecnológico e industrial la ha llevado a convertirse una tecnología ubicua. Una gran cantidad de dispositivos y servicios alrededor nuestro o bien usan dispositivos fotónicos o bien se han fabricado usando maquinaria y procesos basados en fotónica. Nuestros teléfonos móviles tienen varias cámaras, láseres VCSEL y optoacopladores, los coches incorporan partes fabricadas y/o funcionalizadas con láseres, detectores LIDAR, cámaras e iluminación inteligente para la mejora de la seguridad; Incluso la comida que nos llega a nuestras casas ha pasado por procesos de selección y esterilización donde la fotónica ha tenido un papel crucial. El mundo de 2022 ya no se puede entender sin la fotónica.

Una década después se hace necesario revisar las prioridades estratégicas de desarrollo teniendo en cuenta cuales son las fortalezas del sector en nuestro país que pueden contribuir a la consecución de los grandes retos que tenemos como sociedad, es por ello que editamos esta nueva Agenda Estratégica de Investigación para ofrecer orientación a los desarrollos tecnológicos de los años venideros.

> El mundo de 2022 ya no se puede entender sin la fotónica.

En la elaboración de esta Agenda han trabajado y contribuido muchos de los miembros de la Plataforma Fotónica21 y da una visión transversal de todos aquellos temas en los que el ecosistema fotónico español es capaz de aportar valor y que, a su vez, están en línea con las líneas identificadas por nuestro referente europeo Photonics 21.

Con ella pretendemos ofrecer a legisladores/as y agencias de promoción de la I+D+i una herramienta de diagnóstico y análisis para sus programas, a los investigadores/as, ingenieros/as y tecnólogos/as algunos retos donde enfocar su talento y a otras plataformas y profesionales un punto de inspiración para buscar sinergias de forma que en el próximo lustro nuestro sector haya seguido creciendo dando respuesta a los retos de nuestra sociedad.

Carles Oriach, Presidente de Fotónica21
Director de Estrategia y Desarrollo, MONOCROM

Índice

Introducción 01

1. Infraestructura Digital 08
   1. Retos socioeconómicos 09
   2. Retos de la investigación e innovación en fotónica 13
   3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos 22

2. Fabricación 23
   1. Retos socioeconómicos 25
   2. Retos de la investigación e innovación en fotónica 29
   3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos 36

3. Salud 38
   1. Retos socioeconómicos 39
   2. Retos de la investigación e innovación en fotónica 42
   3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos 47

4. Clima, Movilidad y Energía 48
   1. Retos socioeconómicos 49
   2. Retos de la investigación e innovación en fotónica 55
   3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos 63

5. Seguridad y Espacio 64
   1. Retos socioeconómicos 65
   2. Retos de la investigación e innovación en fotónica 70
   3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos 77

6. Agricultura y Alimentación 78
   1. Retos socioeconómicos 79
   2. Retos de la investigación e innovación en fotónica 80
   3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos 83

7. Plataformas fotónicas 84
   1. Retos socioeconómicos 85
   2. Retos de la investigación e innovación en fotónica 87
   3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos 97

8. Investigación, Educación y Formación 98
   1. Retos socioeconómicos 99
   2. Retos de la investigación e innovación en fotónica 100
   3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos 103

Agradecimientos 105

Introducción:
La fotónica en España

La Agenda Estratégica de Innovación es una de las herramientas clave de que dispone la comunidad relacionada con la Fotónica de dar a conocer sus necesidades y actividades. Indica cuáles son las prioridades que la industria de la Fotónica en España considera relevantes para su futuro, e indica los principales vectores de desarrollo en los próximos años. Permite, sobre todo, generar un mapa de capacidades y necesidades en la I+D+i de nuestro país a través de un proceso transversal y abierto al que está invitada toda la Comunidad. En esta anualidad, se ha invitado explícitamente a las más de 200 empresas y centros de investigación de diferentes tamaños que componen la plataforma a participar en el proceso de debate, y de manera abierta a la Sociedad a través de nuestras redes sociales. 120 expertos de nuestro país, de ámbitos empresariales y académicos relacionados con la Fotónica, han participado en la elaboración de esta Agenda Estratégica, haciéndola un instrumento diverso y que refleja la diversidad de la fotónica en España.

Más allá del I+D+i, no nos cansamos de repetir que la Fotónica es además una actividad económica de alto impacto en muchísimos de sus diversos focos, difícil de cuantificar por lo pervasivo de sus actividades, que generan valor en una multiplicidad de industrias. Este año 2022 está siendo, además, muy revelador en este sentido.

Por un lado, hemos tenido acceso por primera vez a un estudio de mercado elaborado por una consultora internacional (Tematys) sobre el peso del sector de la Fotónica en España. Queremos agradecer tanto a Tematys como a Photonics21 su ayuda en la obtención de estos datos, recabados a finales de 2020, y que iremos actualizando periódicamente. Estos datos nos permiten poner un primer marco al sector de la Fotónica en España. A partir de una base de datos de 130 empresas, se estima que las ventas producidas por la industria fotónica en España ascienden a 1300M€. Asimismo, se identifican 5400 trabajadores directamente empleados en las empresas identificadas como "fotónicas" en España. La fotónica, como tecnología transversal, cubre una amplia variedad de sectores desde la automoción hasta la salud y el bienestar, pasando por la iluminación y la visión por computador.

Asimismo, y como podemos confirmar desde la Plataforma, la industria de la Fotónica está mayoritariamente integrada por PYMES, con el 75% de las empresas facturando menos de 5M€, y solo un 3% con facturaciones por encima de los 50M€. Las PYMES se identifican, principalmente, como fabricantes de instrumentación, dispositivos o sistemas fotónicos. Las principales grandes empresas del sector son Indra Electro Optics, y las divisiones nacionales de multinacionales relacionades con la industria oftálmica (Hoya, Essilor, Zeiss), la iluminación (Hella, Signify) y la de maquinaria e instrumentación (Olympus, Trumpf).

En una comparativa con equivalentes europeas, se aprecian también tendencias interesantes. Así, tanto las PYMEs europeas como las españolas prevén crecimientos cercanos al 7% y muestran un porcentaje equivalente de inversión en I+D+i (el 14%). Sin embargo, el tamaño y la facturación de las empresas españolas en Fotónica es aproximadamente la mitad de sus equivalentes europeas, en lo que representa uno de los desafíos del Sector.

La otra importante novedad que se está produciendo es que, con el esfuerzo de todo el Sector, se está, por primera vez, consiguiendo el reconocimiento de la Fotónica por parte de la administración nacional y europea. Especialmente destacada ha sido la apuesta de CDTI en su convocatoria de Misiones Ciencia e Innovación 2022, en que por primera vez existía una misión dedicada a desarrollar y fortalecer un ecosistema de fotónica integrada en España.

No es menos relevante, tampoco, el lanzamiento por primera vez de convocatorias bilaterales en que explícitamente se incluye la Fotónica como tecnología clave sobre la que fundamentar proyectos de investigación empresarial. Recientemente se han publicada en este sentido dos convocatorias bajo el Programa Eureka (una en 2021 específica España-Austria, y otra en 2022 de ámbito plurinacional) a las que las empresas españolas han podido presentar propuestas de proyectos colaborativos. La mayoría de las comunidades autónomas incluyen la Fotónica dentro de sus Hubs de Innovación Digitales, algunas como nodo explícito, otras dentro del conjunto de tecnologías vinculadas a la Industria 4.0.

La Fotónica, continúa siendo, pues, la tecnología emergente que lleva siendo hace un cuarto de siglo. Su potencial económico (aunque muchas veces soterrado en otras industrias) es clave para la transición ecológica y digital, y no deja de extenderse en diferentes sectores industriales. La I+D+i en el sector que se realiza en España es excelente, con múltiples centros de investigación y universidades desarrollando conocimiento en la frontera y explotando nuevas tecnologías fotónicas en forma de empresas *deep-tech*.

Ha sido para nosotros, en el Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas de la Universitat Politècnica de Catalunya, un verdadero placer (y un privilegio) poder coordinar los trabajos asociados con la elaboración de la futura estrategia de investigación e innovación de este sector que tanto amamos. Queremos, especialmente, agradecer su implicación y esfuerzo a las personas responsables de la coordinación de los Grupos de Trabajo: Ignacio Garcés al frente del GT1 (Infraestructura Digital), Carles Oriach en el GT2 (Fabricación), José Luis Arce en el GT3 (Salud), yo mismo en el GT4 (Clima, Movilidad y Energía), Ana Manzanares en el GT5 (Seguridad y Espacio), Ricardo Díaz en el GT6 (Agricultura y Alimentación), Javier Gamo en el GT7 (Plataformas Fotónicas) y a Santiago M. Olaizola en el GT8 (Investigación, Educación y Formación).

Asimismo, queremos agradeceros a todos los expertos y las expertas que habéis participado en las diferentes reuniones de los grupos realizando valiosas contribuciones. Y, por último, queremos también agradecer su colaboración al resto de Plataformas y en especial, por sus aportaciones, a la Plataforma Tecnológica Española de Fabricación Avanzada MANU-KET, la Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética PTE-EE y a la Plataforma Española de Seguridad Industrial PESI, que nos han ayudado a acercar esta Agenda a las necesidades de sus propios sectores, promoviendo futuras colaboraciones.

Sin todos/as vosotros/as no habría sido posible culminar estos meses de trabajo con una Agenda Estratégica de Investigación e Innovación plural e inclusiva. Esperamos que sea útil durante varios años para orientar con eficacia el crecimiento y la I+D+i de nuestro sector, así como para ayudar y fomentar sinergias con el resto de Plataformas Tecnológicas. Y nos citamos en 2 años para su actualización y mejora.

Como se ve en esta Agenda Estratégica, se acercan años muy atractivos y excitantes para la Fotónica y todas las personas que trabajamos en ella.

Santiago Royo, Secretario Técnico Fotónica21
Director del Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas de la Universidad Politécnica de Catalunya.

1

Infraestructura Digital

1. Retos socioeconómicos

A principios de 2020, con la aparición de la pandemia COVID-19, la infraestructura digital se convirtió en una parte esencial de nuestra vida personal y profesional. Esta infraestructura que soporta nuestras comunicaciones se había transformado en un mercado esencial para alimentos y bienes, el punto de acceso de la educación de nuestros hijos, el facilitador del teletrabajo, el almacén de nuestra cultura, la garantía de algunos de nuestros derechos civiles y el vínculo con nuestros amigos y familiares. En resumen, la crisis de COVID-19 desencadenó una intensa ola de transformación digital, que se espera se expanda aún más durante la próxima década. La repentina toma de conciencia de la criticidad de la infraestructura digital modificó la jerarquía de las expectativas de los usuarios. Las crecientes preocupaciones sobre la seguridad, la confiabilidad y el consumo de energía han contribuido a la necesidad de más ancho de banda. **La luz es el combustible indispensable para la estabilidad y la ampliación futura de esta infraestructura.** Las tecnologías fotónicas muestran ventajas para cubrir todas estas expectativas y soportar el fuerte aumento de demanda de nueva conectividad de fibra hasta el hogar (FTTH) tras el inicio de la crisis sanitaria, muy por encima de las demandas de nueva conectividad inalámbrica.

"La fotónica va a aparecer como la tecnología clave para soportar la infraestructura digital del futuro."

Pronto entraremos en una nueva era en la que millones de dispositivos conectados requerirán conectividad inteligente: siempre disponibles, intrínsecamente seguros y escalables de manera flexible como requisito previo para un tiempo de inactividad cero en una economía de terabits. Vehículos autónomos, robots y drones generarán Zettabytes de información digital. La inteligencia artificial y el aprendizaje automático nos liberarán de las tareas rutinarias y potenciarán la creatividad humana y la innovación de productos. El tráfico de datos global se ha duplicado cada 2 o 3 años durante los últimos 15 años y no hay nada que sugiera que esta tasa de crecimiento se ralentizará. Las tecnologías de red y comunicación óptica serán esenciales para adaptarse a este crecimiento de manera sostenible. **Se espera que la digitalización de la producción industrial y los entornos laborales respalde el impulso para crear un millón de nuevos puestos de trabajo en Europa, buena parte de ellos en España.**

Todos los datos provenientes de los hogares a través de sistemas FTTH, los datos inalámbricos o los datos de la industria deberán transportarse a través de una nueva infraestructura de red de alta capacidad, gran dinamicidad y programable, basada principalmente en fibras ópticas, que actuará como el sistema nervioso central del que la sociedad, la industria y la economía digital dependerán en gran medida. Aportar los niveles requeridos de rendimiento, resiliencia, seguridad y confianza, mientras se satisfacen las limitaciones de costos, eficiencia energética y tecnología, presenta un desafío de investigación formidable para la próxima década en el que **la fotónica va a aparecer como la tecnología clave para soportar la infraestructura digital del futuro.**

"Se abrirá una abundancia de oportunidades que impulsará la creación de servicios y aplicaciones aún inimaginables donde la fotónica será un habilitador importante."

El desafío es aún mayor cuando se reconoce que las infraestructuras de información (generación de datos) y comunicación (transporte de datos) dejarán de coexistir una al lado de la otra y se fusionarán de manera generalizada en una sola infraestructura, brindando más y mejores servicios de forma autónoma con una mínima intervención humana. Esta nueva infraestructura interactuará con el mundo físico a través de una miríada de sensores y actuadores, muchos de los cuales aún no se han desarrollado ni inventado ("cosas" conectadas, por ejemplo, robots, automóviles, objetos conectados, interfaces con usuarios), y se apoyará para ello en la fotónica. Se utilizarán grandes centros de datos (*central cloud*) para tomar decisiones complejas, pero dichos centros de datos están situados en lugares remotos y, por tanto, no cumplen con la creciente necesidad de servicios sensibles a la latencia, como por ejemplo el control de robots en plantas de fábricas muy digitalizadas. Los centros de datos más pequeños y distribuidos (*edge cloud* y *cloudlets*), interconectados por tecnologías fotónicas, proporcionarán una capacidad de respuesta ultrarrápida para aplicaciones sensibles a la latencia al llevar la inteligencia, así como las capacidades informáticas y de almacenamiento al borde de la red de transporte (*edge*). En general, los intercambios entre máquinas (principalmente la comunicación entre procesos corriendo en diferentes ordenadores y servidores) serán la fuente dominante de tráfico en toda la infraestructura, representando un cambio de paradigma respecto a la actualidad donde el tráfico entre servidores se mantiene principalmente dentro del perímetro de los centros de datos. Se espera que esta transformación cambie por completo el panorama de las TIC y reorganice la distribución de los actores en el ecosistema de infraestructuras de información y comunicaciones. Se abrirá una abundancia de oportunidades para los actores establecidos del mercado y los nuevos participantes, lo que a su vez impulsará la creación de servicios y aplicaciones aún inimaginables donde la fotónica será un habilitador importante.

Las tecnologías fotónicas son pues un pilar indispensable de esta nueva infraestructura digital segura y resiliente.

Cumplir con los exigentes objetivos de capacidad, eficiencia energética y latencia de la economía y la sociedad de terabits solo es posible si las tecnologías fotónicas se implementan de forma amplia en todas las áreas de las comunicaciones. Por ejemplo:

- Las redes 5G y posteriores dependen en gran medida de la disponibilidad de *fronthaul* y *backhaul* ópticos, redes de agregación metropolitanas y redes troncales;
- El acceso empresarial y residencial de banda ultraancha no es posible sin soluciones de fibra masiva *(Deep fibre);*
- La tecnología inalámbrica óptica surge como una solución complementaria en áreas donde no se dispone de conexión mediante fibra;

"España debe aprovechar la oportunidad actual para incrementar el volumen de su tejido empresarial en el entorno de las redes de transporte de información."

- Las interconexiones de los centros de datos no pueden hacer frente al aumento del ancho de banda sin la fotónica;
- Las infraestructuras críticas y privadas demandan redes ópticas por seguridad, simplicidad y bajo coste.

Si bien las soluciones de comunicaciones ópticas de hoy en día se desarrollan de manera algo independiente, se requerirá una integración más estrecha con sensores y actuadores, radio, computación, *switches*, almacenamiento y otras funciones (**"integración fotónica 2.0"**) para llevar la digitalización de nuestra industria, economía y sociedad a un nivel más alto. Los módulos de chips integrados en los que los componentes básicos de la electrónica y la fotónica ("chiplets") se cointegran en un subsistema o sistema serán un hito importante en esta dirección. Se prevé la sustitución de funciones electrónicas por funciones fotónicas como el próximo paso donde se aportará una funcionalidad adicional además de más compacidad, mayor capacidad, menor latencia o mejor eficiencia energética. Es necesario desarrollar soluciones de integración, ensamblado y encapsulado para implementar en las plataformas tecnológicas necesarias para hacer realidad esta visión. En 2019, el mercado mundial de componentes ópticos superó los 8500 millones de dólares (Lightcounting), los mercados de hardware de equipos de redes ópticas superaron los 16000 millones de dólares (Ovum) y el mercado de *routers* y *switches* ópticos superó los 18000 millones de dólares (IDC 33), lo que implica un mercado de más de 42 mil millones de dólares. Solo el mercado de componentes ópticos exhibió un crecimiento (CAGR) del 11% entre 2018 y 2019, lo que demuestra que, a pesar de los continuos esfuerzos para reducir el costo por bit, el aumento de la capacidad global conduce a un aumento en el volumen del mercado. En resumen, la fotónica ofrece una amplia gama de soluciones para revolucionar la producción industrial y los entornos de trabajo, facilitando una cadena de valor totalmente digital desde el proveedor hasta el cliente. La industria fotónica creó 42 000 nuevos puestos de trabajo en Europa solo durante el período de financiación de Horizonte 2020. Pero quizás más importante es el impacto indirecto de la digitalización en la creación de nuevos puestos de trabajo: un aumento de la digitalización del 10 % se traduce en una disminución de la tasa de desempleo del 0,84 %; un aumento del 10% en la digitalización produce un aumento de la puntuación del 6% en el Índice de Innovación Global para un país respectivo.

Mientras el mundo está cambiando, Europa tiene una oportunidad única de capturar cuota de mercado en tecnologías de la información en una nueva infraestructura aumentada por fotónica aprovechando su posición de liderazgo en comunicaciones ópticas. **España, como uno de los países de Europa con una mayor penetración de redes pasivas de fibra óptica y una de las mayores y más modernas redes de transporte óptico en un ámbito europeo, debe aprovechar esta oportunidad para incrementar el volumen de su tejido empresarial en este entorno.**

Si bien nuestro país no dispone de grandes empresas nacionales fabricantes de equipos en el sector de las telecomunicaciones, sí cuenta con una operadora muy potente y líder en un ámbito mundial y un número reducido pero muy activo de pequeñas y medianas empresas intensivas en tecnologías optoelectrónicas y fotónicas que trabajan en equipamiento y componentes para el mercado de las comunicaciones ópticas. La intensidad de I+D en este sector es mucho mayor que en el sector de las comunicaciones en general y normalmente supera el 10% de los ingresos, lo que refleja las características de un mercado de alta tecnología con ciclos rápidos de innovación. Seis de los veinte mayores fabricantes de equipos ópticos tienen importantes centros de I+D en Europa, en muchos de los cuales trabajan egresados de nuestras Universidades, lo que puede representar una oportunidad para el retorno de talento que alimente el incremento de este sector en un ámbito nacional. Dos de los tres mayores fabricantes de componentes tienen operaciones en Europa y más de un centenar de pymes y universidades, de las cuales al menos un 10% son españolas, ofrecen investigación e innovación complementarias a nivel de red, sistema o componente. Los nuevos desafíos de investigación e innovación requieren un esfuerzo continuo para defender y fortalecer la posición de liderazgo de Europa y mejorar y ampliar las capacidades nacionales en este espacio. Sin una inversión continua y estratégica en fotónica para las tecnologías de la información y la comunicación, la digitalización de la industria, la sociedad y la economía de Europa se estancará.

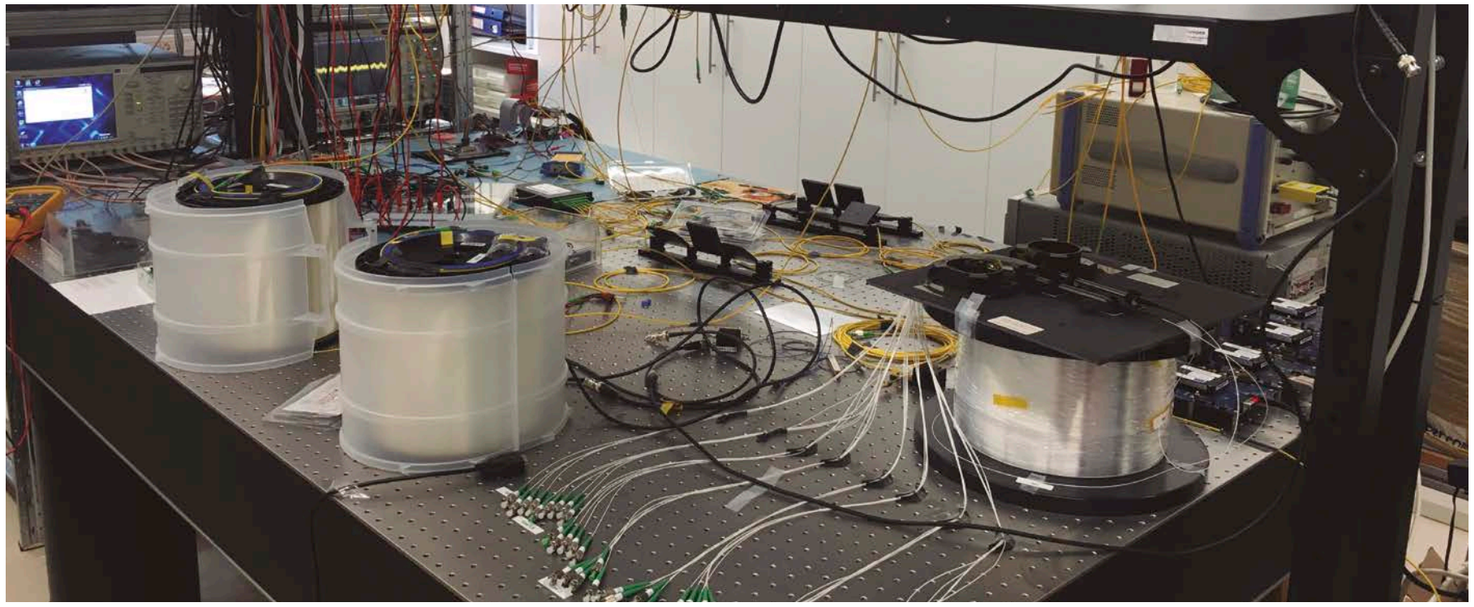


Imagen cortesía del CTTC (Centre Tecnològic de Comunicacions de Catalunya)

2. Retos de la investigación e innovación en fotónica

La digitalización de la economía, la industria y la sociedad española y europea requerirán una infraestructura de información y comunicación inteligente. Como hemos dicho, las tecnologías fotónicas de comunicación y redes son un pilar importante de esta infraestructura. **Desde el punto de vista del usuario y de la aplicación, vemos necesario abordar los siguientes desafíos tecnológicos:**

Operación de la red sin contacto *(Zero-touch networking)*

Con demasiada frecuencia hoy en día, la operación de redes y la creación de nuevos servicios es engorrosa y depende de papeleo innecesario, procesos manuales e interfaces redundantes. La automatización basada en inteligencia artificial con fotónica reconfigurable rápida es clave para lograr una operación sin contacto, para impulsar la eficiencia y mejorar la agilidad.

Respuesta instantánea

Con el objetivo de proporcionar servicios casi en tiempo real a través de una infraestructura digital distribuida, se está aumentando la seguridad en la red y su garantía de servicio. Los servicios diferenciados habilitados por el transporte fotónico y la conmutación son necesarios para ofrecer una respuesta de red instantánea percibida para cada clase de aplicación.

Acceso desde cualquier lugar

El acceso de banda ultra ancha debe convertirse en un servicio público, como la electricidad y el agua, y estar disponible en cualquier lugar. Sin embargo, hay demasiadas áreas sin cobertura de banda ancha en Europa y las limitaciones de velocidad son un impedimento para el crecimiento empresarial en muchas regiones. No habrá una única tecnología de acceso que aborde todas las necesidades de banda ancha. Sin embargo, lo que está claro es que la comunicación óptica en diferentes formas será una parte esencial de cualquier solución.

Seguridad intrínseca

En tiempos en los que la privacidad, la seguridad y la integridad de nuestros datos están constantemente en riesgo, la seguridad de la información debe ser una parte integral del diseño de cualquier solución de comunicación. Las comunicaciones ópticas son esenciales para proteger grandes flujos de datos en movimiento, ya sea mediante la criptografía cuántica o mediante la entrega de una infraestructura robusta y segura.

Crecimiento sostenible de la capacidad

El crecimiento continuo de la capacidad mientras se reducen los costes y la energía por bit es el principal impulsor de la industria de las telecomunicaciones y una necesidad para abordar la gran cantidad de nuevas aplicaciones y servicios que va a traer la digitalización de la industria, la economía y la sociedad. Se requieren grandes inversiones e innovaciones fotónicas para al menos mantener la ley de Moore y acercarnos al límite de Shannon.

En los próximos puntos abordaremos qué retos de la investigación e innovación en fotónica pueden responder a estos desafíos tecnológicos.

Operación de la red sin contacto
Redes fotónicas aumentadas por IA/aprendizaje automático

Las tecnologías contemporáneas de comunicación óptica digital, también conocidas como **comunicaciones ópticas coherentes,** se convirtieron en productos innovadores en Europa a partir de 2010. Europa se encuentra en una posición sólida para mantener su liderazgo en este campo si continúa innovando a un ritmo acelerado. Las comunicaciones ópticas se están moviendo para usar tecnología coherente en todas partes. Consideradas en el pasado como prohibitivamente caras, las tecnologías coherentes se expandirán desde los sistemas de larga distancia hacia todos los campos de las comunicaciones ópticas.

Los sistemas coherentes son la base para cambiar el panorama de los negocios de comunicación (telecomunicaciones, cloud y TI en conjunto) mediante **redes flexibles y definidas por software.** No solo abrirá la posibilidad de conectividad óptica 'con un clic' como un servicio para todos, libre de las configuraciones múltiples, manuales y de una semana de duración de hoy, sino que también hará posible la orquestación automatizada de recursos de TI, ópticos y en la nube. Se emplearán conceptos como la autoorganización y la adaptación dinámica del plano de datos, así como la virtualización de funciones de red (NFV, *network function virtualization*) y la segmentación de la red (*network slicing*). Esta flexibilidad se inspira en gran medida en los hábitos de los proveedores *cloud* dentro de sus centros de datos, que ahora se están expandiendo a todos los dispositivos, usuarios y máquinas en todo el mundo.

Como resultado, las tecnologías fotónicas deben renovarse para admitir **reconfiguraciones** ultradinámicas en órdenes de magnitud más rápidas que nunca (desde minutos hasta subsegundos, o tiempos de respuesta de microsegundos) para láseres, conexiones cruzadas, amplificadores ópticos o todo tipo de componentes, incluyendo los integrados (PIC).

"Existe la necesidad de avanzar en el desarrollo de sondas y sensores fotónicos de monitorización de prestaciones ópticas."

La digitalización masiva de las redes ópticas también requiere que todos los dispositivos y nodos sean **programables** y controlados con tecnología patentada o tecnología abierta (por ejemplo, plataformas abiertas, interfaces abiertas y API, adoptando modelos de dato estándar para los dispositivos) mientras se proporciona telemetría y análisis eficientes para el funcionamiento de la red. La telemetría se alimentará con monitorización en tiempo real, en gran parte integrada en transceptores coherentes. Dado que existen múltiples fuentes de deterioro de la transmisión en una red óptica, existe la necesidad de avanzar en el desarrollo de **sondas y sensores fotónicos de monitorización de prestaciones ópticas** que i) puedan desplegarse ampliamente (bajo coste); ii) sean independientes de las formas de onda de la señal óptica; iii) proporcionen figuras de mérito adecuadas (p. ej., OSNR, densidad de potencia, ocupación espectral); y iv) no sean intrusivos. La inteligencia artificial procesará las mediciones de telemetría para aprender y predecir el control inteligente, la optimización y la detección de fallos de la infraestructura fotónica.

La virtualización de funciones de red y la computación desagregada se han convertido en la base de las funciones y servicios que ofrecen las redes, lo que requiere una mayor flexibilidad y capacidad de programación de la red en diferentes niveles. La infraestructura inteligente resultante utiliza hardware (HW) y software (SW) de red flexibles y programables, combinados con inteligencia artificial, para perseguir las visiones de la industria de redes autónomas, cognitivas y basadas en la intención para permitir verdaderas operaciones de red sin contacto. Aunque el proceso de aplicar i**nteligencia artificial y mecanismos de aprendizaje automático** a las redes aún está en pañales, los casos de uso específicos en diferentes niveles muestran claramente la posibilidad de esta transformación. Este beneficio se extiende más allá de los operadores de red a los proveedores de servicios y usuarios porque la innovación en las operaciones de red es la base para la conectividad máquina a máquina, o IoT. La inteligencia artificial se ha convertido en un pilar de la revolución de TI que Europa debe dominar para desafiar las ambiciones de Estados Unidos y China. Las redes ópticas no pueden escapar a la influencia de esta tecnología: existe una ventana de oportunidad para que la UE impulse cambios a gran escala de forma urgente.

Respuesta instantánea
Latencia baja y determinista en las conexiones de red óptica

En las futuras redes de comunicación, los intercambios de datos entre dispositivos y/o máquinas tendrán prioridad sobre los intercambios de datos con humanos, lo que requerirá requisitos mucho más estrictos sobre el tiempo de demora de la comunicación, o **"latencia",** pero también sobre la **confiabilidad,** que se espera mucho mayor que en la TI

normal. Esta evolución será crucial, por ejemplo, en una red de robots en una fábrica donde la sincronización perfecta es primordial.

Si bien el éxito de las tecnologías de Internet se puede asociar en gran medida con la entrega de datos mediante técnicas *best-effort,* estas tecnologías no pueden hacer frente a la congestión cuando una multiplicidad de aplicaciones compite por la entrega simultánea de datos, lo que provoca la pérdida de éstos o un retraso en su entrega, poniendo en peligro la cooperación entre máquinas y robots. Es necesaria una nueva infraestructura digital que **combine tecnologías inalámbricas y ópticas de alta capacidad,** y las integre con los sistemas de computación en el borde de la red *(edge computing),* con el fin de vincular máquinas, productos de trabajo, sistemas, vehículos, robots y personas, y realizar el control de TI sobre la misma infraestructura de red convergente. Por lo tanto, es necesario desarrollar arquitecturas de red sensibles al tiempo y determinísticas en el tiempo, que optimicen la integración de recursos ópticos, inalámbricos y de computación, con la fotónica como tecnología habilitadora clave. Se necesitan estudios sobre el uso híbrido de **conmutación electrónica y óptica** y nuevos paradigmas de conmutación, donde las tecnologías fotónicas ofrecen algunas de las oportunidades más prometedoras para descargar los conmutadores de paquetes, ahorrar energía, mejorar la eficiencia del ancho de banda y garantizar bajas latencias deterministas en toda la red. Algunas aplicaciones requieren recursos de red solo por un tiempo muy corto. En consecuencia, es necesario desarrollar enfoques que permitan una reconfiguración más rápida (de menos de 1 milisegundo, por ejemplo) en la capa óptica, teniendo en cuenta problemas como los transitorios de potencia del amplificador. Utilizar la alimentación con luz como elemento de apoyo a la reconfiguración rápida con bajo consumo, puede ayudar en este aspecto. Si bien la conmutación óptica en aplicaciones comerciales se limitaba hasta ahora a la conmutación de circuitos, los avances en la integración de la fotónica podrían permitir que los enfoques de conmutación de paquetes o de flujo óptico se vuelvan prácticos para la Internet industrial.

"La fotónica no solo llenará los vacíos de las tecnologías actuales, sino que también allanará el camino para aplicaciones completamente nuevas."

Superar esos desafíos solo es posible confiando en la fotónica y evolucionando la tecnología para adaptarse a un entorno industrial a veces duro (como dentro de un amplio rango de temperatura de operación o con mucha humedad), donde el coste y el consumo de energía de las interfaces de transmisión deberían estar cerca de 50 céntimos/Gbit/s y algunos picojulios/bit, respectivamente.

Razones similares de **coste y ahorro de energía** están llevando a la introducción de nuevas tecnologías fotónicas en placas electrónicas de alta densidad que son necesarias para el control en tiempo real, el análisis de datos y la computación en la nube de los cibersistemas industriales. Podemos citar, por ejemplo, las matrices de puertas programables ópticas (Opto-FPGA), es decir, circuitos fotónicos integrados (PIC) con entradas/salidas ópticas de alta velocidad para reemplazar

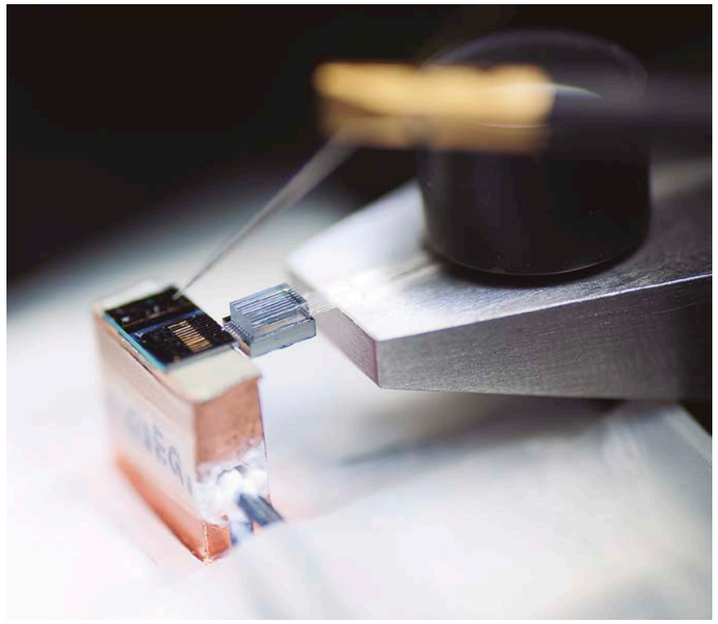


Imagen cortesía del I3A (Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón)

las líneas eléctricas tradicionales. La fotónica no solo llenará los vacíos de las tecnologías actuales, sino que también allanará el camino para aplicaciones completamente nuevas, como el uso de **LIDAR** *(Light Imaging, Detection, And Ranging)* para aumentar la precisión de fabricación y monitorizar robots en las fábricas. [..]

Acceso a todas partes

Fibra hasta el hogar, FttRadio -Antenna, comunicaciones satelitales ópticas 'Fibre -in -the-sky', LiFi

La conectividad digital 'siempre activa' mejorará significativamente la productividad de los empleados en varios segmentos industriales y comerciales a través del acceso instantáneo a la información, así como una multitud de nuevos servicios en la nube, particularmente en el contexto de IoT, o Industria 4.0

Estas aplicaciones crean un entorno de trabajo completamente nuevo y brindan una vida urbana de mejor calidad: requieren conectividad de red de alto ancho de banda constantemente disponible que ofrezca baja latencia, bajo consumo de energía y escalabilidad masiva en capacidad y en el número de dispositivos conectados.

Las soluciones ópticas se están convirtiendo en el estándar de facto en la red de acceso. Las tecnologías Fiber -to-the-x (FTTx) desplaza-

rán a las tecnologías de cobre y radio donde no se requiera movilidad y la fibra pueda estar disponible. Los sistemas **Coherent PON** podrían ganar una importancia considerable con su capacidad para permitir la convergencia de acceso fijo y *fronthaul* en la infraestructura de fibra PON que se implementa capilarmente, particularmente en las grandes ciudades. El uso de otras tecnologías incluyendo no sólo fibras de sílice sino **fibras ópticas de plástico** en el entorno de redes en el hogar, automoción y aviónica puede apoyar este acceso a todas partes a costes asequibles.

Más allá de proporcionar comunicaciones a través de una red de fibra óptica cada vez más completa , las tecnologías fotónicas se están expandiendo a casos de uso inalámbricos específicos: **LiFi** se está convirtiendo en una alternativa para comunicaciones interiores más seguras, las comunicaciones por satélite están utilizando luz láser como una tecnología denominada **"Fibre-in-the-sky",** la **óptica no guiada** espacial proporciona conectividad de alta capacidad, y los subsistemas ópticos podrían usarse para la **formación de haces y la dirección** *(beamforming y beamsteering)* en los sistemas de radio de próxima generación operando en frecuencias con gran ancho de banda disponible.

Con investigación y optimización adicionales, la **radio analógica** sobre fibra (A - RoF) podría convertirse en una tecnología alternativa para la distribución de señales inalámbricas, especialmente al explorar rangos de frecuencia de RF más altos (THz) en la comunicación. Idealmente, un sistema A - RoF actúa como un mero convertidor de medio, creando, dentro de una fibra óptica, una copia exacta de la señal de radio (a frecuencias tan altas como THz) en el aire sin más procesamiento, con beneficios obvios en términos de complejidad de hardware y consumo de energía gracias a técnicas fotónicas de conversión en frecuencia. Esto, adicionalmente, permitiría la integración de otras tecnologías como la **alimentación con fibra óptica** *(Power over Fiber)* que puede ayudar en la optimización de los nodos remotos e incluso la alimentación segura en puntos de difícil acceso.

Seguridad intrínseca

La resiliencia de la infraestructura de la red óptica, la transmisión segura de datos, complementada con la infraestructura de comunicaciones cuánticas [--]

La infraestructura de TIC, concebida como un único recurso integrado que abarca tanto la red de comunicación como la computación en la nube, es un activo caro. Compartirlo entre diferentes servicios y usuarios es claramente ventajoso, sin embargo, presenta desafíos aún no vistos en términos de calidad de servicio y seguridad. Los servicios confiables se llevarán a través de una sola infraestructura de TI y telecomunicaciones, mientras que serán inmunes al resto de las aplicaciones, especialmente cuando se dirigen a industrias verticales.

"Las mejoras deben considerar la seguridad de la información a través de la criptografía cuántica utilizando la transmisión de qbits, mientras se asegura la integridad de los datos y se avanzael desarrollo de repetidores cuánticos."

***Cross-connects* de fibra y longitud de onda** garantizarán la capacidad de segmentación y la separación del servicio. Cuando se combinan con tecnologías ópticas de **rejilla óptica *(grid)* flexible,** estos componentes pueden proporcionar nuevos espectros ópticos de alto valor agregado para nuevos modelos comerciales de servicios. Sin embargo, se necesitan nuevas tecnologías basadas en **fotónica integrada** para los *cross-connects* fotónicos, así como arquitecturas originales que sean fáciles de instalar y configurar, especialmente en escenarios de redes ópticas de extremo a extremo, rompiendo los dominios aislados.

La infraestructura de comunicación que brinda acceso a la misma infraestructura *cloud* requiere un nivel de seguridad sin precedentes. El **cifrado en la capa óptica** puede mejorar el nivel de seguridad y ahorrar energía y ancho de banda en comparación con los protocolos de seguridad de capa 2 o 3 actuales. La creciente interconectividad tanto de personas como de dispositivos no solo aumenta la dependencia de la infraestructura de la red, sino también la posibilidad de una amenaza, y por lo tanto la vulnerabilidad, de cada usuario. Una señal en las fibras ópticas se puede 'captar' fácilmente, una vez que se accede físicamente a la fibra óptica, lo que requiere la introducción de dispositivos fotónicos que permitan la confianza y la privacidad a nivel físico.

Las mejoras deben considerar la **seguridad de la información a través de la criptografía cuántica** utilizando la transmisión de qbits, mientras se asegura la integridad de los datos y se avanza en técnicas que permitan preservar las señales mediante la implementación de repetidores cuánticos. Además, se deben explorar nuevas direcciones de investigación como la seguridad de la capa física para las redes ópticas, aprovechando **nuevas formas de detección de fibra distribuida** para monitorizar la intrusión y mejorar la resiliencia de la red de fibra.

Crecimiento sostenible de la capacidad

En una red 5G/6G y centrada en el centro de datos, la capacidad en las redes de fibra tiene que "mantenerse": hiperescalabilidad, consumo de energía, programabilidad, costo de la red, eficiencia operativa, red verde.

Dado que el tráfico del centro de datos consume casi el 2 % de toda la electricidad que se usa hoy en día y la participación de la tecnología de comunicaciones en el consumo mundial de energía en general ha crecido durante la última década, existe una necesidad urgente de un cambio de paradigma hacia una tecnología de TI más ecológica. Este cambio se puede resumir como la reducción del producto de eficiencia energética x capacidad (pJoule /bit x capacidad).

El aumento del uso de tecnologías ópticas dentro de la industria de las TIC es una oportunidad para limitar el aumento del consumo de energía frente al crecimiento de la capacidad de datos general que manejan las redes y los centros de datos. Alcanzar el siguiente nivel de integración entre la electrónica y la óptica en un solo substrato y/o en un solo módulo o conjunto de chips proporciona una contribución significativa para reducir el uso de energía y una red más eficiente.

A nivel de red, esta integración de la fotónica y la electrónica permite conmutadores más grandes y más eficientes que mejoran las arquitecturas de las redes y los centros de datos.

"A nivel de red, la integración de la fotónica y la electrónica permite conmutadores más grandes y más eficientes que mejoran las arquitecturas de las redes y los centros de datos."

Las extrapolaciones del tráfico de datos actual predicen tasas de 10 terabits por segundo para interfaces optoelectrónicas y más de 1 Petabit por segundo para sistemas de fibra óptica para 2024, lo que exige una familia completa de sistemas y dispositivos fotónicos en una escala del Petabit por segundo.

Esta evolución tropieza con los límites más fundamentales de la física que son: la ley de Moore sobre la integración del silicio y el límite de Shannon sobre la capacidad de la fibra óptica, los cuales son barreras considerables para el crecimiento. Se necesitan esfuerzos de investigación urgentes para evitar la paralización del sistema. Existe un claro peligro de que duplicar la capacidad solicitada requiera duplicar la cantidad de hardware óptico o electrónico, lo que, en consecuencia, aumentará el costo de manera lineal y amenazará el crecimiento de la capacidad futura.

Para expandir la capacidad de la red más allá de los límites implícitos en las leyes de Shannon y Moore, necesitamos explotar todas las dimensiones incluyendo la frecuencia y el espacio, abriendo **nuevas bandas de longitud de onda óptica y multiplexación por división espacial (SDM).**

La explotación de nuevas bandas de longitud de onda requerirá avances en una serie de tecnologías, que van desde amplificadores ópticos adaptados a estas nuevas bandas hasta una amplia gama de dispositivos y subsistemas optoelectrónicos. En particular, estas tecnologías se extienden a láseres sintonizables, fuentes multi-longitud de onda, multiplexores ópticos, acopladores, mezcladores ópticos, fotodiodos, conmutadores selectivos de longitud de onda y otras soluciones de conmutación óptica. SDM puede ofrecer un aumento de la capacidad de varios órdenes de magnitud, ya sea multiplicando el número de fibras en los cables o introduciendo fibras multinúcleo (MCF) o multimodo (MMF). Aquí, nuevamente, se necesitan nuevas arquitecturas de nodos y sistemas, nuevo procesamiento digital de señal (como MIMO), nuevos multiplexores de división espacial, nuevos sistemas de acoplo/desacoplo, nuevos conmutadores, nuevos amplificadores ópticos junto con los nuevos tipos de fibra.

Para que la multiplexación por división espacial se convierta en una realidad rentable, será esencial un cambio de escala en el recuento de componentes por milímetro cuadrado **en los circuitos integrados fotónicos (PIC),** capaces de entregar y procesar una mayor potencia de salida. Todos estos elementos de innovación tecnológica son necesarios para escalar la capacidad de interconexión óptica en tasas de bit en línea sin multiplexar (~6,4 Tbit/s en 2030), con anchos de banda de modulación de >40 GHz, y con consumos de potencia por bit del orden de femtojulios para transceptors de centros de datos y computadoras de alto rendimiento.

Además de las tendencias y la evolución, la industria de las comunicaciones ópticas está observando cambios tecnológicos aún más disruptivos. Una visión que se base en la **fotónica cuántica** en redes y computadoras ópticas dependerá en gran medida de la integración electro-fotónica y la capacidad de la óptica cuántica de alcanzar un volumen de fabricación de escala para volverse comercialmente viable. Para tareas informáticas sofisticadas, como el procesamiento del lenguaje natural, la traducción automática y el reconocimiento de objetos o rostros, las redes neuronales se utilizan cada vez más. Las **redes neuronales fotónicas** que aprovechan los dispositivos fotónicos de silicio como "neuronas" pueden mejorar mil veces la velocidad de procesamiento de la información.

Al combinar los avances en inteligencia artificial, las plataformas fotónicas resultantes para el procesamiento rápido de la información abrirán la puerta a aplicaciones de red aún más avanzadas, por ejemplo, redes neuronales fotónicas de alta velocidad e inteligencia artificial fotónica para tareas de **computación neuromórfica** y, en última instancia, abrirán el campo de la tecnología neuromórfica/fotónica, con velocidades de procesamiento mil veces más rápidas que las que pueden ofrecer actualmente las redes neuronales electrónicas.

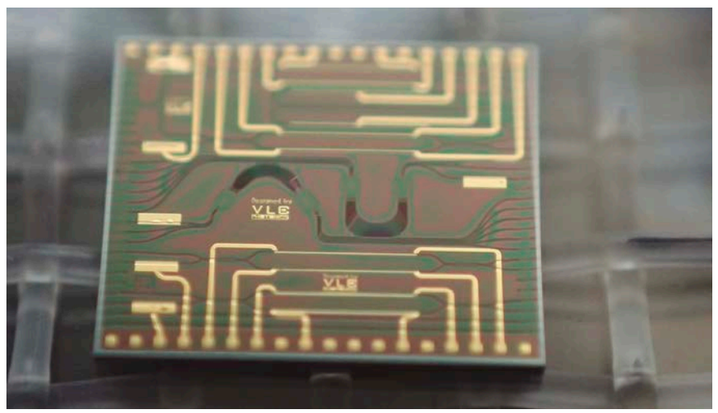


Imagen cortesía de VLC Photonics

3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos

La fotónica y una infraestructura de TIC habilitada para la fotónica son esenciales para aumentar la calidad de vida a través de la innovación en toda Europa. Las redes ópticas ofrecen capacidades sin precedentes en términos de capacidad agregada, transparencia del servicio y simplicidad operativa. Estas redes son un habilitador clave para el despliegue de las redes móviles de próxima generación, como se aborda, en el marco europeo, en la Asociación de Redes y Servicios Inteligentes (SNS) con la que es interesante mantener una colaboración activa, como ya hacen varios miembros de Fotónica21, y también proporcionan una infraestructura de red unificada para servicios fijos y móviles. Se espera que las actividades hacia las redes de próxima generación que ofrecen conectividad inteligente se lleven a cabo bajo el paraguas de "internet centrado en el ser humano". Entre las tecnologías fotónicas clave, se encuentran: transceptores ópticos programables que brindan mayor capacidad a un costo reducido; huella y consumo de energía para aplicaciones de transporte *fronthaul* y *backhaul* 6G; conmutadores ópticos fotónicos integrados en redes ópticas de transporte 6G; sondas para monitorización de prestaciones, y amplificadores ópticos integrados rentables para conectar estaciones base de radio 6G a redes pasivas de acceso fijo. En un ámbito nacional, las sinergias con plataformas como PLANETIC o asociaciones y clústeres como AMETIC y SECPHO, que tienen la sociedad digital como su entorno de operación, son directas ya que las redes ópticas van a proporcionar una infraestructura de transporte de datos que integra las redes fijas y las móviles, ya sea en un entorno urbano, troncal o regional, pero también en entornos industriales o en el creciente mercado de los Centros de Procesos de Datos. En el ámbito internacional, las sinergias con Photonics21 son directas, como también lo son con el consorcio de industria de la fotónica europeo EPIC, el mayor de este sector en el mundo.

"Otras mejoras significativas en la capacidad y la eficiencia energética pueden surgir de la adopción de nuevos materiales, como moduladores ópticos e interruptores fotónicos basados en grafeno."

Otras mejoras significativas en la capacidad y la eficiencia energética pueden surgir de la adopción de nuevos materiales, como moduladores ópticos e interruptores fotónicos, que ya están en el punto de mira de la iniciativa *flagship* de grafeno. En este sentido, las comunicaciones ópticas necesitan de componentes más baratos, energéticamente eficientes y miniaturizados a través de las nuevas *foundries* que fabrican Circuitos Fotónicos Integrados y su relación con la microelectrónica en diferentes tecnologías de fabricación y de las que disponemos varias en España (Centro Nacional de Microelectrónica, Centro de Tecnología en Nanofotónica o la UPVFab). El desarrollo de nuevos sistemas integrados, incluyendo tecnologías híbridas de fabricación y encapsulamiento, serán la base de componentes más baratos que permitan una universalización de las redes ópticas en todos los hogares.

Desde que se lanzara hace años la Asociación público-privada (PPP) para las Fábricas del Futuro (FoF) en el marco del Plan Europeo de Recuperación Económica, la importancia de una infraestructura de TIC fuerte y renovada para la futura industria digitalizada se ha hecho evidente. Por tanto, las relaciones con Plataformas Tecnológicas como MANUKET o PLATECMA son necesarias para trabajar en la creación de redes ópticas capaces, resilientes y seguras.

En este punto es interesante remarcar que el nivel de seguridad requerido que se espera de la infraestructura de TIC podrá garantizarse mediante nuevas tecnologías fotónicas cuánticas para el cifrado y la distribución de claves cuánticas (QKD por sus siglas en inglés). Para ello se debería trabajar en generadores de números aleatorios cuánticos en el caso del cifrado y en detectores de fotones únicos o matrices Mach Zehnder para la manipulación de estados cuánticos, por ejemplo, en el caso de la distribución de claves. Solo la fotónica integrada puede permitir que las tecnologías cuánticas pasen de los laboratorios de investigación al mercado, reduciendo las fuentes de interferencia y el ruido ambiental, y permitiendo el funcionamiento a temperatura ambiente. El desarrollo de estas tecnologías se enmarca en iniciativas clave europeas en el ámbito de las comunicaciones cuánticas, tanto el Quantum *Flagship* como la *European Quantum Communications Infrastructure* (EuroQCI). Esta última en particular busca el despliegue de una red basada en comunicaciones cuánticas capaz de conectar toda Europa. En nuestro país estos programas se alinean a través de uno de los Planes Complementarios con las Comunidades Autónomas sobre Comunicación Cuántica, y en el que están participando varias regiones españolas con elevada financiación en proyectos de alta calidad y que están posicionando a nuestro país como uno de los más activos en este campo.

Finalmente es deseable una cooperación adicional con el campo de la robótica (por ejemplo, *AI, Data and Robotics Partnership*) para redes de sensores/actuadores de baja latencia e integración de sensor/actuador con subsistemas de comunicación óptica. En este sentido, la cooperación con la Plataforma Tecnológica Nacional de Robótica HispaRob podría ser muy interesante.

Imagen de Carlos Zurita (Unsplash)

2

Fabricación

1. Retos socioeconómicos

Los Grandes Desafíos a los que se enfrenta la investigación europea están bien documentados, y son también de aplicación al estado español. La digitalización y un enfoque sostenible y circular para la fabricación y los materiales serán la base de una industria competitiva y preparada para el futuro.

Este enfoque, apoyado por las nuevas tecnologías, generará un futuro ecosistema industrial con alta soberanía tecnológica. Los siguientes desarrollos basados en la fotónica proporcionarán soluciones a un futuro industria española de fabricación y mecanizado, con gran capacidad de exportación y visibilidad internacional en los mercados globales.

Digital	Verde	Sostenible
• Técnicas de paralelización, división y barrido de haces láser de alta potencia • Procesado de materiales a alta velocidad y con control digital • Desarrollo y optimización de cadenas de procesado digital basado en simulaciones • Fabricación rápida de productos individuales complejos • Desarrollo de producción y procesos basados en Big Data e IA • Producción "First Time Right" a través de metrología de alta resolución y alta velocidad	• Reducción de las emisiones de CO_2 en la cadena de procesos a través del desarrollo de materiales específicos para los procesos basados en luz. • Procesos láser de alta eficiencia. • Sustitución de la producción basada en hidrocarburos y otros materiales peligrosos • Tecnologías láser para la desfabricación y reciclaje (desensamblaje, limpieza, evaluación, clasificación, reciclaje, trazabilidad, sensorización).	• Propuesta de valor única de fabricación flexible y "eco-friendly" • Exhaustiva integración de la cadena de procesos y materiales y del ciclo de vida del producto • Fabricación de productos complejos individuales baratos • Reutilización flexible y de larga duración de equipos productivos en ciclos de vida rápidos • Redes técnicas regionales, nacionales y europeas basadas en conocimiento • Tecnologías de marcado láser para la trazabilidad de la información a lo largo de la cadena de fabricación.

Empoderando la industria digitalizada y ecológica con luz a medida

En consonancia con estos retos la fabricación del futuro requerirá específicamente de:

- Materializar el potencial técnico y económico de la fabricación sostenible;
- Valorizar el potencial de la personalización y de los productos cercanos al mercado;
- Implementar tecnologías y estrategias para traer de vuelta a España las fabricaciones deslocalizadas en años anteriores.

España está en una buena posición para cumplir estos retos: dispone de referentes en tecnologías industriales, incluyendo la máquina-herramienta y la robótica y de fabricantes de componentes fotónicos clave para dotar al sector de la fabricación de las nuevas tecnologías y procesos que se requerirán para alcanzar los objetivos.

La industria relacionada con la fotónica tiene un impacto significativo y directo en los objetivos estratégicos establecidos por la Unión Europea, y apunta a proveer soluciones para:

» **Manufactura digital:**

- Proveer soluciones de fabricación flexible con un esfuerzo de implementación mínimo;
- Producción "first-time-right" de productos individuales con máxima calidad y reproducibilidad;
- Uso completo de las propiedades de los materiales específicos con cadenas de procesos optimizadas.
- Desarrollo de equipamiento de producción híbrido, que combine en una sola máquina procesos de fabricación convencionales (por ejemplo, sustractivos tipo fresado, torneado, taladrado, etc.) con procesos no convencionales (por ejemplo, sinterizado láser).
- Desarrollo de modelos de simulación y modelización avanzados que puedan predecir el comportamiento de materiales, recubrimientos, tratamientos superficiales, etc. a lo largo de su ciclo de vida.

"La industria relacionada con la fotónica tiene un impacto significati-vo y directo en la mayoría de los objetivos estratégicos y misiones establecidos por la UE."

» **Fabricación verde:**

- Realizar fabricaciones altamente eficientes y de cero emisiones en entornos urbanos;
- Usar todo el potencial de los materiales en el ciclo de vida del producto;
- Optimización y fabricación eficiente de materiales renovables para productos complejos.
- Maximizar la productividad en la fabricación con materiales críticos, a partir de la fabricación aditiva y el aprovechamiento óptimo de la materia prima.

» **Basadas en el conocimiento y las redes:**

- Maximizar el potencial económico usando tecnologías, soluciones y negocios basados en el conocimiento;
- Gestionar la información del producto y la materia prima a través de toda la cadena de fabricación, pudiendo generar impacto aguas arriba y aguas abajo y apoyar la toma de decisiones respecto a la reutilización, reciclaje, remanufactura de los productos y sistemas;
- Fortalecer la competencia en la economía global;
- Implementar una cultura del trabajo innovadora tomando en consideración el envejecimiento de la población.

Estos enfoques abordarán los desafíos de fabricación en los sectores automotriz, aeroespacial, de construcción naval, ferroviario, petróleo y gas, médicos, instrumentación, imprentas, displays y electrodomésticos. Para 2030, las fábricas españolas serán ágiles, ecológicas y flexibles, utilizando tanto materias primas existentes como nuevas, haciendo que la fabricación sea más innovadora, rentable y eficiente en recursos. Una cadena de valor totalmente digital, de proveedor a cliente, introducirá nuevas formas de colaboración y personalización, nuevos servicios y nuevos modelos de negocio, todo ello fortalecerá la base industrial española. Para conseguir lo anterior se abordarán los retos tecnológicos detallados a continuación.

Los resultados de estos retos tecnológicos ayudaran a conseguir cinco misiones:

- Cien mil nuevos puestos de trabajo
- 10% de incremento de la productividad
- Una economía verdaderamente circular
- La fotónica como buque insignia de la innovación
- Tiempo de inactividad cero en una economía digital

"España cuenta con una sólida red de investigación y desarrollo en fotónica, productos ópticos y tecnologías de fabricación, que supone una gran contribución a la autosuficiencia de Europa."

Además de ser herramientas de fabricación versátiles, los nuevos sistemas láser abordarán los Grandes Desafíos acordados por los socios europeos y estarán en el corazón de cadenas de valor conectadas totalmente digitales que permitirán a las empresas moverse entre la producción en masa de partes idénticas y la fabricación de productos individualizados. Los controles de calidad de las partes fabricadas se realizarán en línea gracias a la integración de la tecnología de sensores para la monitorización de parámetros.

Una tecnología de sensores similar proveerá feedback rápido para habilitar el control total del proceso durante la fabricación, reduciendo la necesidad de desechar partes. La producción industrial de micro y nanomateriales crecerá en le futuro: la luz láser será una tecnología habilitadora en la fabricación de dichos materiales y en su posterior mecanizado.

La luz láser tiene una longitud de onda y formas temporales y espaciales únicas. La forma como el haz de conduce al punto de interacción con el material a procesar, junto con su facilidad de digitalización, significa que los láseres se convertirán en las herramientas de mecanizado más versátiles y flexibles, listas para la próxima generación de fabricación. Aproximaciones con fotones únicos y con múltiples haces evolucionarán en tecnologías disruptivas para una producción totalmente digital.

Gracias a estas soluciones tecnológicas basadas en fotónica para una fabricación verde y altamente eficiente se podrán maximizar los ahorros en energía y materiales. Longitudes de onda adaptadas a los materiales y el control temporal y espacial de la energía depositada reducirán el consumo de materiales, acortando y simplificando las cadenas de procesos, para reducir los costes totales de fabricación y la huella de CO_2.

España cuenta con una sólida red de investigación y desarrollo en fotónica, productos ópticos y tecnologías de fabricación, que supone una gran contribución a la autosuficiencia de Europa, un entorno con soberanía tecnológica en sistemas de fabricación fotónicos altamente productivos y eficientes. Con el desarrollo futuro de nuevos láseres, óptica, materiales fotónicos, aproximaciones digitales y estrategias de procesado específicas el actual ecosistema de innovación español será proactivo en el desarrollo de nuevas tecnologías de fabricación sin restricciones de las cadenas de suministro globales.

España tiene el potencial de mantener una posición de liderazgo en la fabricación fotónica. Al desarrollar nuevas fuentes ópticas, soluciones fotónicas y aplicaciones de fabricación Europa sostiene una fuerte posición para acometer los Grandes Retos que suponen ser digital, verde y sostenible.

2. Retos de la investigación e innovación en fotónica

Para desarrollar las misiones descritas arriba se deben abordar varios retos de investigación tecnológica e innovación teniendo en cuenta los atributos deseados "digital", "verde" y "sostenible" y habilitar una cadena continua de procesos para la fotónica.

Fuentes láser

Debido a la demanda de aumento de la velocidad de los procesos y de su calidad será esencial mejorar el desempeño de los sistemas –y a su vez incrementar la calidad de las fibras y elementos ópticos– en recubrimientos y componentes láser.

Para cumplir con las necesidades industriales se necesitarán fuentes láser con alta eficiencia y parámetros de haz adaptables. Haces más intensos y con distribuciones espaciales adaptadas a los procesos son vitales para las aplicaciones más exigentes, por ejemplo, en materiales de alta temperatura y composites de fibra. Esta mejora permitirá procesados rápidos sin dañar el material.

En el campo de las nuevas fuentes pulsadas los láseres de pulsos ultracortos y de alta potencia, –y los láseres ágiles con flexibilidad en la duración de pulso, la longitud de onda y la energía por pulso– permitirán nuevas aplicaciones en electrónica, construcción ligera, procesado de cerámicas, cristales y metales, conduciendo a cadenas de procesos fotónicos continuas y digitales.

Partiendo de los actuales láseres de centenares de vatios, se espera que surjan nuevos procesos tecnológicos de los desarrollos de láseres de varios kW. El escalado de potencia para tecnologías de procesado se podría conseguir con la paralelización de haces.

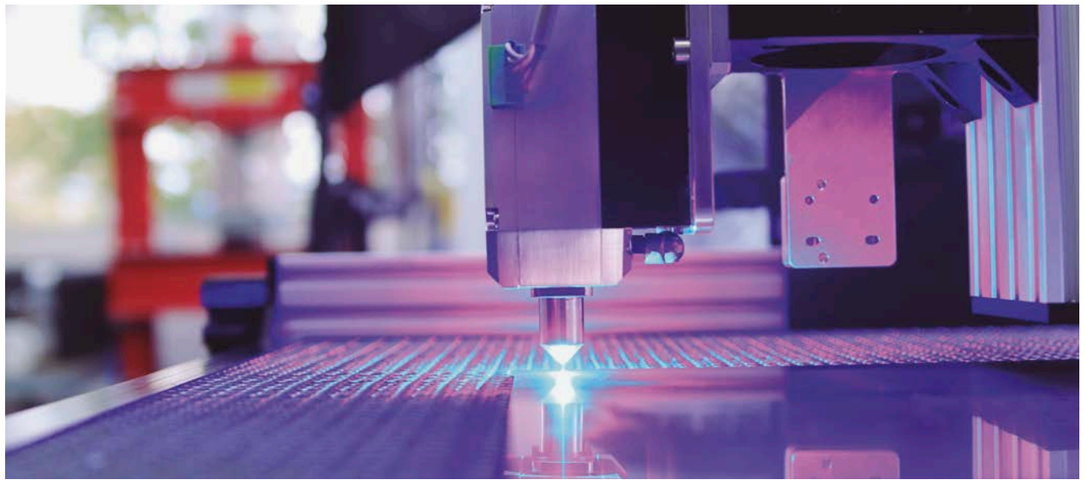


Imagen de Opt Lasers (Unsplash)

El elemento central para estas nuevas fuentes láser de alta energía con una calidad de haz ideal serán los diodos láser compactos, eficientes y de altas prestaciones, que son tanto fuentes de bombeo para láseres de estado sólido (dependiendo del medio activo) como para aplicaciones de diodo directo.

Con los diodos potentes y de bajo coste se crearán nuevos mercados fuera de las áreas industriales tradicionales. Una planta piloto para el desarrollo de láseres de diodo fomentaría la explotación de nuevas tecnologías en este campo. En particular, dentro del campo de rápido crecimiento de la fabricación aditiva, los láseres de diodo compactos de alta potencia serán la clave para su uso generalizado.

Otro tipo de láseres de alta potencia a desarrollar son los de semiconductor, con rangos de potencia de 100 mW a 2 W para aplicaciones de radar laser LiDAR, donde se requiere mayor energía debido a las altas perdidas de transmisión atmosféricas, y aplicaciones de *co-packaged optics,* donde las fuentes de luz necesarias para alimentar varios transceptores ópticos en centros de datos se implementan de forma externa para evitar problemas termales.

Además, será vital desarrollar láseres conmutables de forma flexible con posibilidad de seleccionar o ajustar la duración de pulso, la longitud de onda, la polarización o distintos perfiles de frente de onda adaptándose a las condiciones de absorción de los distintos materiales a procesar. Esto requiere tecnologías de generación de armónicos a alta potencia y tecnologías de sistemas avanzados.

Imagen cortesía de AIMEN Centro Tecnológico

"Utilizando el enfoque tecnológico de la "luz a medida" la energía del fotón se depositará únicamente donde tenga el mayor efecto físico, químico o biológico."

Las longitudes de onda en el infrarrojo medio y lejano y nuevas fuentes coherentes hasta el rango de los rayos X crearan nuevas áreas de aplicación en fabricación y metrología, con propiedades de producto totalmente novedosas.

Guiado y conformado de haces

Para la integración de las nuevas fuentes se requerirán fibras ópticas y sistemas de guiado de haces de alta potencia, especialmente en los nuevos rangos de longitudes de onda y duraciones de pulso que se esperan. A tal fin se tienen que desarrollar materiales innovadores y diseños de sistemas para la transmisión de la radiación láser sin pérdidas ni distorsión incluso en el rango del infrarrojo medio y lejano. Para una mayor integración en la tecnología de máquina herramienta se requerirán sistemas de escaneado de mayor rendimiento para los sistemas de producción flexibles, permitiendo velocidades de procesado más allá de los 1000 m/s con alta precisión de posicionado y flexibilidad para procesos realizables en líneas de producción simultáneamente.

La producción fotónica flexible y controlada requiere mayor flexibilidad posicional y la libre elección de la distribución de energía. Una distribución de energía más flexible garantizará una deposición óptima de energía óptica y una máxima calidad del procesado.

Utilizando el enfoque tecnológico de la "luz a medida" la energía del fotón se depositará únicamente donde tenga el mayor efecto físico, químico o biológico. Este reto requerirá un conformado de haz ajustable o programable, optimización por algoritmos multiespaciales, realimentación cuantitativa rápida y distribuciones de haz con resolución (sub) micrométrica y altas prestaciones. Facilitará los sistemas reconfigurables de mecanizado inteligente, permitiendo un cambio rápido de ciclos de producción y de tamaños de lote. Se podrá ganar más flexibilidad combinando fuentes láser con distintos parámetros (longitud de onda, energía, etc.) para obtener funcionalización a varias escalas o múltiples funciones en un mismo proceso.

La flexibilidad y la capacidad de adaptar la energía depositada al material y la geometría del componente son rasgos característicos del procesado láser, con la habilidad de producir (y monitorizar) pequeñas estructuras o modificaciones de materiales a escala micrométrica y nanométrica en superficies y volúmenes. La necesidad de estructuras aun menores requerirá de nuevos sistemas ópticos que superen el límite de Abbe para los haces gaussianos, abriendo así posibilidades de procesado para abordar directamente cristales y moléculas.

Esto permitirá la implementación de cambios funcionales y nuevas características de diseño no solo a nivel macroscópico sino también microscópico y a nanoescala, con características complejas a múltiples

escalas y configuraciones geométricas multidimensionales (por ejemplo, superficies jerárquicas y sistemas 3D) que no son posibles con los métodos de fabricación convencionales.

El conformado y apuntado de haz también requerirá, como en la electrónica, el uso de arrays de ondas en fase (*optical phased arrays*), con aplicación en el radar laser LIDAR para el sector de metrología industrial o de conducción autónoma.

Combinados con sistemas flexibles para la manipulación de varios haces y cambios de haz rápidos resultará en un nuevo tipo de máquina herramienta, habilitando la producción altamente flexible y eficiente al mayor nivel geométrico. En combinación con los robots interactivos y sistemas de cambio de herramienta *plug and play* se crearán nuevos conceptos de fabricación que seguirán el principio básico de la producción digital fotónica.

Industria 4.0

Aquí el desafío clave es que los sistemas láser estén perfectamente incrustados en la cadena de procesos digital. Los conectores inteligentes de fibra no sólo llevarán la luz láser al sitio adecuado en la máquina, sino que a la vez servirán para interconectar sistemas complejos y flexibles.

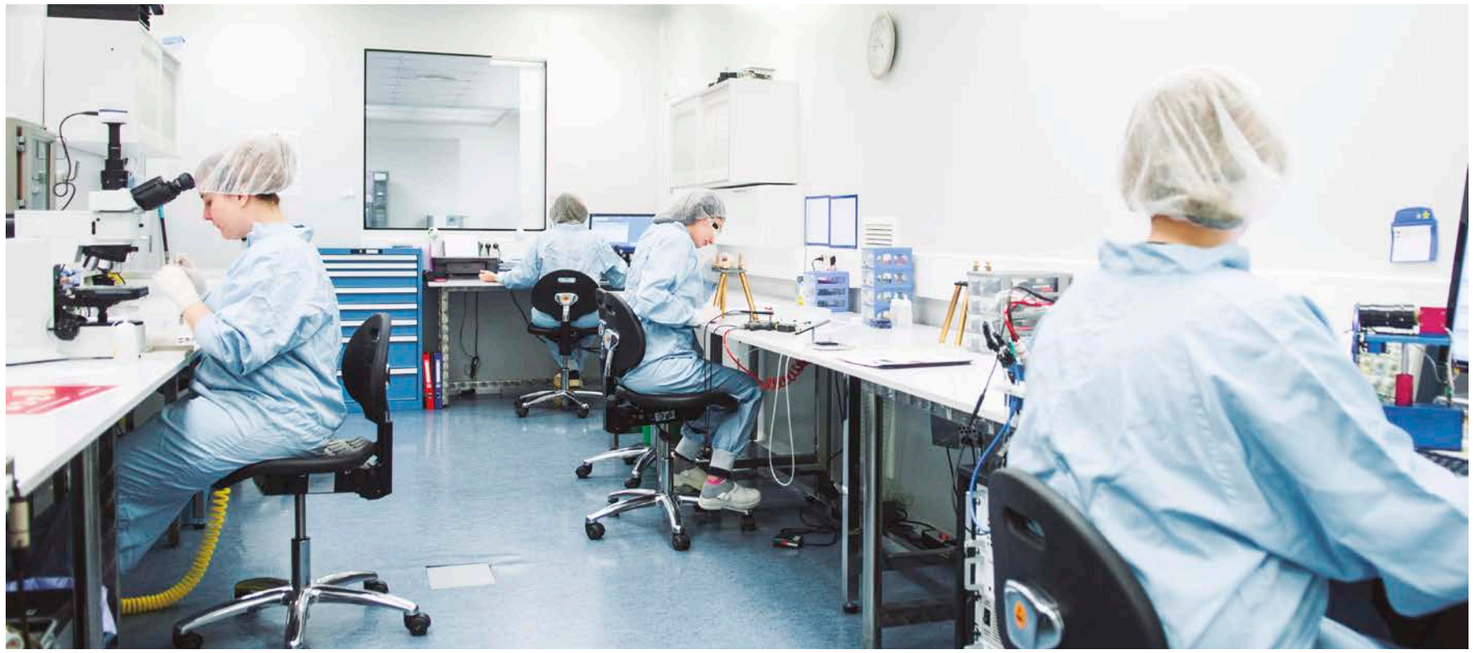


Imagen cortesía de MONOCROM

Además de proveer información de estado sobre las conexiones existentes, se transmitirán señales de la zona de procesado a la fuente. Por ejemplo, se monitorizarán las back reflections, pero se pueden utilizar otras señales del proceso.

La fuente de luz y su control serán elementos centrales de las plantas productivas. Los sensores monitorizaran los parámetros del láser, pero también las condiciones de contorno para mantener un proceso productivo fluido. Las futuras fibras ópticas multifuncionales – que están pensadas para transmitir la luz y a la vez las señales de la zona de interacción – representan grandes desafíos en lo referente a la transmisión de varias longitudes de onda.

La paralelización masiva es una solución para habilitar la producción de alto rendimiento. Por otro lado, la flexibilización requiere de un control preciso y ajustable de cada haz. Esto requiere de divisiones y conformados de haz inteligentes e interconectados.

De bits a fotones

Las cadenas continuas de datos, desde el concepto al componente terminado, no solo incluyen formatos de datos adecuados y módulos CAD que hagan posible integrar simulaciones de cada proceso de fabricación en las etapas tempranas de diseño, sino que también incluyen autoaprendizaje innovador, por ejemplo métodos de *machine learning* en los datos y la cadena de procesos. Esta estrecha conexión entre procesos, dispositivos y sistemas se podría conseguir con métodos como los gemelos digitales.

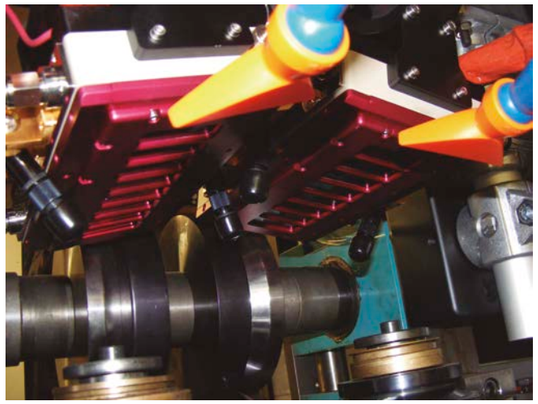
Control de calidad y test no destructivo (NDT)

Para el futuro el mayor desafío es asegurar un alto rendimiento de productos manteniendo simultáneamente una alta calidad. Se requerirán métodos de ensayo no destructivo en línea rápidos y fiables para alcanzar una alta calidad de producto en entornos de alto rendimiento. Ello aplica especialmente a los procesos de fabricación aditiva, donde los defectos y desviaciones de la geometría objetivo se deben detectar y compensar durante la construcción por capas de los componentes.

La calidad final también debe ser verificada ya que la porosidad y las roturas en el interior del componente se han de evitar. La fabricación de alta precisión, como por ejemplo los componentes electro-ópticos en los circuitos fotónicos integrados, requerirán tecnologías fotónicas para implementar ensayos no destructivos eficientes.

Todos los procesos de test han de ser capaces de usarse en línea y en tiempo real. Así, la combinación de métodos ópticos con el cabezal de procesado láser será un reto.

Durante la producción y test fotónico y/o basado en láser se puede generar una gran cantidad de datos (*big data*) potencialmente útiles. El desafío futuro será maximizar el valor de estos datos, lo que se espera conseguir mediante el uso de procesos de inteligencia artificial. Así, los metamodelos reducidos permitirán evaluaciones en tiempo real y la predicción anticipada de la calidad de los productos, abarcando hasta la predicción del tiempo de vida. La información generada se almacenará en bases de datos y potencialmente reducirá los costes de desarrollo de proceso en un margen significativo.



Imágenes cortesía de MONOCROM

Desarrollo de materiales específicos para aplicaciones fotónicas

Los reducidos tiempos de interacción y las altas tasas de enfriamiento involucrados en el procesado de materiales por láser requieren de materiales y aleaciones diseñados especialmente para su comportamiento óptimo. Durante el proceso aditivo, por ejemplo, la composición del polvo y el uso de distintos polvos en una misma parte requieren de un mayor desarrollo.

En el campo de la electrónica se necesitarán tintas conductoras adaptadas y se aplicarán a los componentes usando impresión por chorro de tinta para permitir su funcionalización mediante irradiación láser. Además de sus propiedades funcionales las propiedades ópticas de estas tintas necesitaran ser adaptadas a los mecanismos de interacción para conseguir procesos optimizados.

En el campo de los circuitos integrados fotónicos, materiales no estándar en líneas CMOS como el niobato de litio, el titanato de bario, el grafeno, materiales de cabio de fase, o polímeros, serán necesarios para poder alcanzar anchos de banda de modulación más allá del estado del arte actual (40 GHz), para aplicaciones en comunicaciones ópticas de alta velocidad (>400 Gb/s).

"La fotónica juega un papel clave en la promoción de España como una localización de fabricación gracias a sus enlaces con institutos de investigación en óptica y tecnologías de fabricación."

Gente con habilidades e infraestructura flexible

La fotónica juega un papel clave en la promoción de España como una localización de fabricación gracias a sus enlaces con institutos de investigación en óptica y tecnologías de fabricación. A pesar de ello las tecnologías fotónicas, además de impactar en los desarrollos de máquina herramienta requieren también de personas cualificadas que puedan satisfacer las necesidades de personal de las empresas a todos los niveles de la producción basada en fotónica.

La formación continua a lo largo de la vida es un gran reto. Los rápidos ciclos de desarrollo en tecnología láser requieren una formación continua de los empleados de forma que los resultados de los equipos de investigación y desarrollo se pueda transferir a producción de la forma más rápida y suave posible.

Establecer hubs de ciencia fotónica generará espacio para las ideas y desarrollos creativos. Estos hubs proveerán infraestructura en forma de maquinaria y dispositivos y además asegurarán la transferencia de conocimiento a través de conexiones con la academia. Estos mecanismos también facilitarán oportunidades para nuevos modelos de negocio basados en la cooperación entre empresas, universidades y centros de investigación para generar oportunidades de inversión atractivas para el capital riesgo.

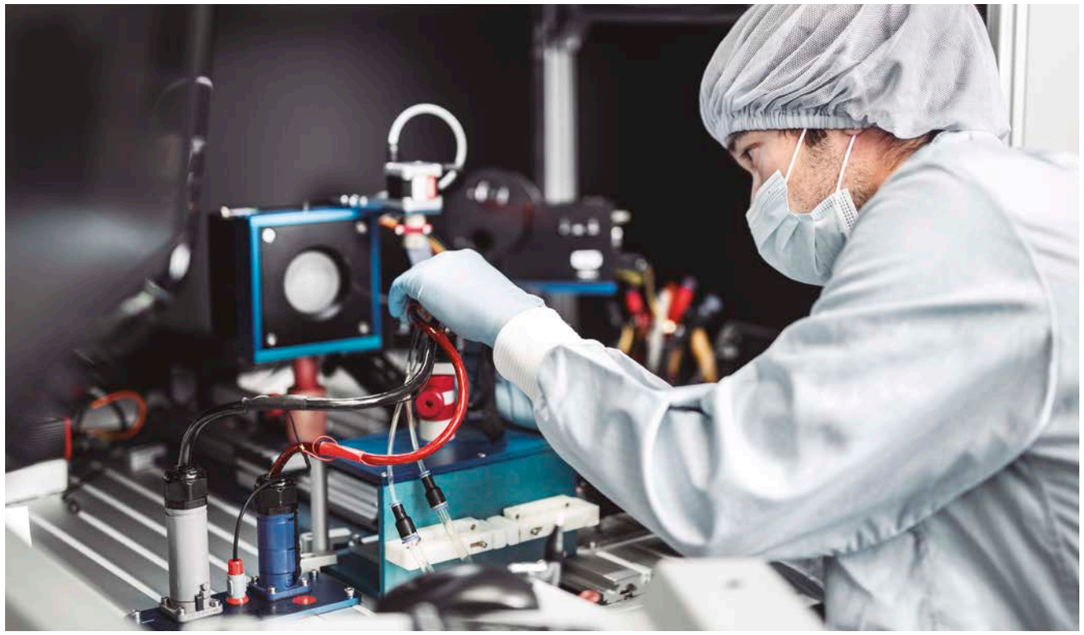


Imagen cortesía de MONOCROM

3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos

La fotónica es un sector transversal y la cooperación a lo largo de toda la cadena de valor será esencial para el progreso y éxito. Todos los actores relevantes deben involucrarse en proyectos colaborativos, redes de investigación y clústeres, para generar soluciones nuevas e innovadoras a los problemas de fabricación.

España cuenta con un nutrido grupo de plataformas tecnológicas en el ámbito de la fabricación avanzada e industria 4.0 con las que se deben mantener relaciones estables a fin de impulsar las capacidades de ambos sectores: la plataforma de Nanoelectrónica e Integración de Sistemas Inteligentes (es-eniac-ssi), MANU-KET y 3NEO. Asimismo, en el ámbito de los materiales diseñados para usos fotónicos requerirá del trabajo conjunto con la plataforma tecnológica de materiales avanzados y nanomateriales (MATERPLAT).

Las tecnologías de fabricación y los nuevos materiales diseñados para la integración de los procesos fotónicos forman parte de la cadena de valor de varias aplicaciones que son abarcadas por otros grupos de trabajo de la plataforma. La colaboración entre grupos será fundamental tanto para abastecer de potenciales soluciones como para la personalización de equipos productivos adaptados a las necesidades de cada aplicación.

De forma destacable, la colaboración con el grupo de trabajo "core photonics" será vital ya que los sensores tendrán un papel principal en la digitalización de los procesos de fabricación y los componentes y sistemas integrados se usarán en procesos de monitorización complejos.

	2021	2022/2023	2024/2025	2026/2027
Retos tecnológicos	Procesados de alta velocidad Reducción de peso Digitalización de la producción		Reducción de emisiones de CO_2 Ahorro de materiales Producción apoyada por simulaciones	
	Fabricación ágil y producción conectada			
	Personalización e individualización de productos y equipos productivos			
Hitos críticos para transferir la ciencia al mercado	Scanners rápidos / desarrollo de haces customizados	Simulación y digitalización	Producción conectada	Metas ambientales globales

	2021	2022/2023	2024/2025	2026/2027
Retos de investigación e innovación	**Láseres y componentes eficientes** • Materiales, coatings y componentes para haces de alta potencia/alta intensidad • Láseres de pulsos ultracortos de alta energía y cadencia • Láseres de diodo de alto brillo (CW y pulsados) con diferentes longitudes de onda • Fuentes láser con óptica integrada para su uso directo en máquina • Láseres de alta potencia en infrarrojo medio con longitud de onda superior a 1µm • Láseres multi-haz • Sistemas láser de alta eficiencia electroóptica **Sistema de conformado y guiado de haces** • Nuevas fibras ópticas para longitudes de onda por debajo del UV y por encima de 2µm • Innovadores sistemas de escaneado de alto rendimiento • Sistemas de configuración de haz reconfigurables y programables • Monitorización rápida y sistemas de feedback cuantitativo • Nuevos esquemas y componentes ópticos para mayor resolución espacial • Guiado y conmutación de múltiples haces • Sistemas de procesado óptico miniaturizados e intercambiables **Control de calidad y test no destructivo** • Control de proceso en tiempo real • Testeo en línea y no destructivo de partes fabricadas con láser • Optimización de procesos basada en novedosas medidas fotónicas en línea/en la línea y metrología multi-modal • Correlación de big-data, meda modelado y predicción de la calidad • Técnicas de análisis de datos / métodos matemáticos para optimizar la información recogida por las mediciones disponibles			
Acciones conjuntas requeridas	Es-enia-ssi, MANU-KET, 3NEO, MATERPLAT			

3 Salud

1. Retos socioeconómicos

La población europea y la española están envejeciendo cada vez más, se supone que el número de personas mayores de 65 años en relación con las personas en edad de trabajar se duplicará en 2045. En el año 2021 España ha alcanzado una tasa de envejecimiento del 129% (129 mayores de 64 años por cada 100 menores de 16) [INE]. Para el año 2050, las personas mayores de 65 años representarán más del 30% del total de la población y el número de octogenarios superarán la cifra de cuatro millones.

Dado que la edad es un factor importante para una mayor probabilidad de enfermarse, un gran aumento de las enfermedades correspondientes como la diabetes tipo 2, muchos subtipos de cáncer como el cáncer de mama en las mujeres y el cáncer de próstata en los hombres, así como el cáncer de pulmón en ambos sexos, la demencia y la degeneración macular son posibles efectos concomitantes. Sin embargo, la edad es, desafortunadamente, solo un factor de muerte por enfermedad: en todo el mundo, el número de incidencias correspondientes supera los 30 millones de personas por año solo por las diez afecciones principales como enfermedades cerebrales y cardiovasculares (enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares), cáncer, sepsis y enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC). No solo existen enfermedades graves, sino también afecciones menos graves que afectan a los pacientes, como infecciones del sistema gastrointestinal o infecciones del tracto urinario, donde nuevos métodos podrían ayudar a disminuir la carga.

Además, la prevención de enfermedades, la evaluación temprana de riesgos y la mejora del bienestar son todos importantes y representan desafíos persistentes que deben abordarse. Esta intervención temprana comienza con el diagnóstico, la terapia y las intervenciones en el útero, al nacer y más allá de las condiciones en las que la carga social aumenta a medida que la sociedad envejece, por ejemplo, el nacimiento prematuro y las malformaciones congénitas. Aquí, una tendencia importante es la Medicina P4 (Predictiva, Preventiva, Personalizada y Participativa), para la cual el diagnóstico instantáneo de las principales enfermedades es imperativo.

"Siendo la vista el principal sentido con el que percibimos el entorno, la salud visual ha de ser una vía de trabajo."

Incluso, como consecuencia de los nuevos hábitos de vida aparecen y se potencian efectos asociados a los mecanismos de la visión. Así, la miopía está en continua evolución y ya es catalogada como pandemia. Se estima que el 50% de la población en 2050 será miope. Hablamos de 5.000 millones de personas que pasan a ser un problema de salud social. No solo por las implicaciones sanitarias y gasto, sino por las dificultades asociadas al desarrollo personal. Siendo la vista el principal sentido con el que percibimos el entorno, la salud visual ha de ser una vía de trabajo. La esperanza de vida también aumenta el riesgo de aparición de otras enfermedades como DMAE, cataratas, desprendimiento de retina, etcétera, limitando la visión de las personas mayores.

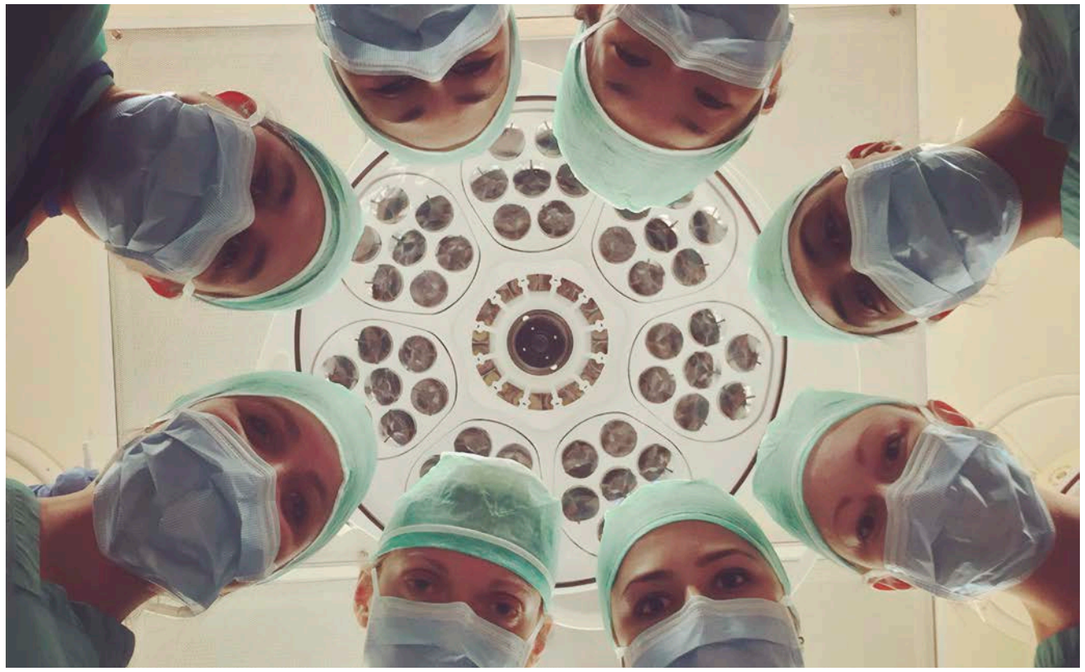


Imagen de National Cancer Institute (Unsplash)

Sin embargo, las enfermedades y afecciones de nuestros pacientes no son los únicos problemas: nuestros sistemas de atención médica ya luchan por mantenerse al día con los costos cada vez mayores, una lucha que se volverá más difícil debido al envejecimiento ya comentado de nuestra sociedad. El gasto sanitario ya representa casi el 10% del PIB europeo, lo que equivale aproximadamente a 1 billón de euros al año. En 2021, el gasto en salud representa el 9.3% del PIB español [SNS], lo que representa 115.400 M€/año o, lo que es lo mismo, del orden de 2.451 €/habitante.

En una sociedad que envejece, también habrá una disminución en la fuerza laboral. En la actualidad, ya se aprecia un agotamiento de la oferta de trabajadores para el cuidado de las personas mayores y del personal de enfermería, una tendencia que se verá amplificada por el envejecimiento de la sociedad a medida que más pacientes requieran atención.

Otro desafío no relacionado con la edad es la movilidad. Como lo demostraron los brotes de la pandemia COVID-19, la alta movilidad conduce a la propagación de enfermedades infecciosas en grandes áreas en cortos períodos con enormes consecuencias para nuestra salud, bienestar y economía. En muchos países en desarrollo, la atención médica aún está subdesarrollada, y aún no se han encontrado métodos asequibles para aumentar la salud y el bienestar de sus respectivos ciudadanos.

"El impulso de la investigación y la innovación fotónica en el área de la salud permitirá reducir la dependencia de proveedores extranjeros y generar empleo nacional de alta cualificación."

Si bien la ayuda debería ser imperativa (principio de justicia de la Bioética), también existen grandes mercados y oportunidades fuera de España y de Europa, que podrían ser atendidos por la industria española y europea y, por lo tanto, conducir a un mayor crecimiento.

La industria española en el cuidado de la salud, está creciendo a una tasa sustancial de 10.8% CAGR (tasa de crecimiento anual compuesto), y con un volumen total de mercado de 33.800 millones de euros en 2015. *Photonics for Healthcare* se supone que alcanzará los 50.000 millones de euros en todo el mundo para 2021, por lo que no es sólo uno de los mercados más grandes dentro de la fotónica, sino también uno de los sectores de expansión más rápida a nivel mundial. Con su rico panorama de innovación formado por empresas tradicionales, start-ups, universidades e institutos de investigación, España tiene una oportunidad única de asegurar un papel destacado y liderar los mercados correspondientes si se implementan las políticas de I+D+i adecuadas para el cumplimiento de los retos aquí definidos en los próximos años.

El mercado español de dispositivos médicos es el quinto mercado más grande de Europa Occidental [EMERGO]. Las pequeñas y medianas empresas representan el 90% de la industria española de fabricación de dispositivos médicos, pero solo unas pocas grandes empresas controlan la mayor parte del mercado nacional. Sin embargo, el sistema de salud de España se basa en productos importados, en su mayoría de Europa, Alemania en particular, y los Estados Unidos. El impulso de la investigación y la innovación fotónica en el área de la salud permitirá reducir la dependencia de proveedores extranjeros y generar empleo nacional de alta cualificación.

Imagen de Mockup Graphics (Unsplash)

2. Retos de la investigación e innovación en fotónica

Respecto a la mejora del diagnóstico instantáneo de las principales enfermedades, el Grupo de Trabajo de Salud ha identificado tres grandes áreas con impacto en el sector de las ciencias de la vida y de la salud:

1

Herramientas fotónicas avanzadas para las ciencias de la vida enfocadas a los usuarios finales: industria, médicos, investigadores e investigadoras, entre las que cabe destacar:

- Herramientas fotónicas en tiempo real para proteómica, genómica y metabolómica que permitirán la secuenciación de ADN en menos de 10 minutos y combinarán los análisis de las óhmicas en un único instrumento, potencialmente encontrando su primera aplicación en metabolómica guiada para tratamiento o rehabilitación.
- Herramientas fotónicas, que posibiliten el análisis de alto rendimiento y cribado, para la industria farmacéutica, la medicina regenerativa y la medicina personalizada. Estas nuevas técnicas permitirán evaluar la toxicidad en el ensayo de nuevos fármacos en fase preclínica. Las herramientas serán capaces de realizar análisis de alto rendimiento pudiendo monitorizar durante meses, y de forma rápida y en paralelo, pruebas de diferentes variantes de productos farmacéuticos.
- Herramientas fotónicas para comprender el origen de las enfermedades más allá de la apariencia de sus síntomas, capaces de encontrar vías de diagnóstico y/o tratamiento alternativo, incluyendo distintos aspectos de fotónica aplicada en salud y bienestar (nutrición, ejercicio y recuperación, estilo de vida, influencias ambientales, toxicidad). Dentro de este ámbito, las herramientas fotónicas facilitarán avances en las siguientes direcciones:
  - Pondrán a disposición de la población en general una nueva generación de tecnologías con alta confiabilidad, y sensibilidad y especificidad superiores al 90%. Si bien el costo sigue siendo un factor importante, si el esfuerzo se dedica a impulsar el desarrollo de dispositivos fotónicos móviles, su usabilidad permitirá ser empleado de forma fácil por personas no expertas expandiendo la economía de escala y, con ello, minimizando los costes finales de desarrollo.

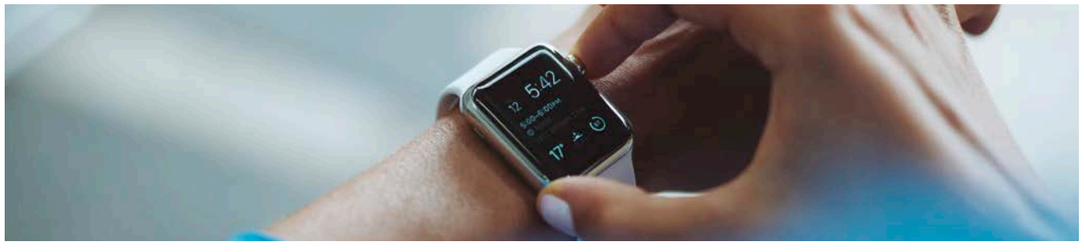


Imagen de Luke Chesser (Unsplash)

  - Permitirán monitorizar el control del crecimiento de tejidos para el reemplazo de órganos. Hoy en día, solo se prueba el órgano completo y, dado que se trata de un procedimiento costoso y lento, sería ventajoso para corregir inmediatamente la malformación.
  - También proporcionarán una comprensión básica de desarrollo de enfermedades para crear estrategias para la detección temprana del desarrollo de enfermedades, así como para facilitar la comprensión de las enfermedades no desarrolladas, cuyos orígenes tienen varios campos de aplicación potenciales: el desarrollo de nuevos medicamentos para enfermedades actualmente incurables, la comprensión avanzada de las funciones cerebrales o la búsqueda de nuevos biomarcadores son áreas emocionantes para que las tecnologías de la luz exploren.
  - Las técnicas de imagen fotónicas 3D están proporcionando resultados prometedores para investigar el origen de las enfermedades (incluyendo enfermedades cardiovasculares o cáncer, por ejemplo) que son capaces de combinar resolución subcelular con un campo de visión sistémico, que abarca órganos completos, modelos de animales pequeños o incluso el cuerpo humano completo. Esta instrumentación se puede emplear para estudiar la difusión de fármacos dentro del cuerpo o, empleándola de forma mínimamente invasiva, realizar el seguimiento continuo de terapias a través de la piel permitiendo desarrollar nuevos protocolos terapéuticos.

Para alcanzar estos retos se requiere el desarrollo de nuevos componentes fotónicos como:

  - Nuevas fuentes de luz como como fuentes infrarrojas basadas en láser que también cubran los rangos más allá de la región de la huella digital, o, fuentes de luz de banda ancha que cubran el rango UV-VIS-MIR en precios asequibles que pudieran basarse en LEDs;
  - Detectores más sensibles para todos los rangos espectrales y componentes tales como filtros y formadores de haz, sistemas de guiado de luz e imagen de alta calidad;
  - Fuentes pulsadas asequibles y detectores que cubran un amplio espectro para aprovechar toda la información contenida en las medidas.
  - Componentes pasivos como filtros de longitud de onda de muchos canales (>512) para el rango del visible e infrarrojo cercano, acopladores a fibra o espacio libre con grandes diámetros de campo modal, o combinadores/divisores de haz para varias longitudes de onda.

2

Diagnósticos en tiempo real basados en tecnologías y dispositivos fotónicos

Para estratificar y clasificar el estado de la enfermedad, monitorizar y evaluar la respuesta al tratamiento para la implementación práctica de la medicina de precisión; optogenética para el tratamiento de enfermedades cerebrales o cardíacas, por ejemplo; fotónica para tratamiento fisiológico o tratamiento fisiológico asistido y personalizado por fotónica; fotónica para orientación intervencionista (realidad aumentada); acceso multiescala al cuerpo (profundidad de penetración/resolución óptica).

Dichas tecnologías y dispositivos fotónicos facilitarán avances en las siguientes direcciones:

- Imágenes en 3D con una visión amplia, a nivel de órganos, profunda (> 1 cm) y una alta resolución que permitirán una histopatología en 3D sin etiquetas en combinación con una identificación basada en inteligencia artificial de áreas y volúmenes del tejido. Las imágenes serán posibles hasta el nivel celular, combinando diferentes técnicas fotónicas. Esto permitirá una cirugía de precisión con discriminación en tiempo real y selección de objetivos quirúrgicos, así como un tratamiento específico. En el microscopio quirúrgico correspondiente, se integrará la detección fotónica y la realidad aumentada, por ejemplo, mediante pantallas visuales con muy alta resolución y un campo de visión muy amplio.
- El desarrollo de fuentes láser específicas, así como de los componentes ópticos, servirán para todas las modalidades de tratamiento e imágenes ("cirugía con láser"). Al mismo tiempo, el desarrollo de componentes compactos permitirá la implementación de montajes en carros portátiles, de forma similar a los dispositivos de imágenes ultrasónicas que se utilizan en los hospitales en la actualidad. El sistema utilizará formatos de datos abiertos y se integrará en el flujo de trabajo del quirófano.
- La realización mediante técnicas fotónicas de hemogramas avanzados permitirá el conteo e identificación in vivo de células inmunitarias o cancerosas, así como la evaluación de parámetros funcionales. Las herramientas y métodos correspondientes también permitirán el cribado para la evaluación de riesgos y la respuesta al tratamiento en enfermedades altamente curables como el cáncer de mama (como la monitorización de quimioterapia), el Alzheimer (monitorización del sistema linfático) o las enfermedades infecciosas (identificación de patógenos y determinación de resistencia a antibióticos).
- Los instrumentos y algoritmos desarrollados harán posible el análisis de la composición de tejidos (por ejemplo, agua, lípidos, contenido de colágeno) o la detección de biomarcadores recientemente identificados, lo que permitirá monitorizar las condiciones fisiopatológicas, el bienestar y la salud de los pacientes, sin necesidad de utilizar marcadores o etiquetas.

- Desarrollar métodos optogenéticos para el tratamiento fisiológico de enfermedades del cerebro o del corazón que posibilitarán avances en las técnicas para el recableado neural en diferentes casos clínicos: para pacientes sordos o ciegos, para prótesis, para la recuperación funcional de células o para determinar la oxigenación cerebral con una precisión que podría superar en diez veces los niveles actuales.

Todo lo anterior requiere del desarrollo de componentes fotónicos específicos, que se adapten a una aplicación concreta, como fuentes de luz y detectores, para los nuevos sistemas biofotónicos, que deben configurarse para ser integrados en procedimientos estandarizados aún por definir. Además, se requerirán métodos informáticos, algoritmos avanzados para gestionar y evaluar las grandes cantidades de datos generados y hacer que los instrumentos correspondientes sean fáciles de usar.

3

Dispositivos fotónicos móviles (portables) y biosensores avanzados

Para detección/diagnóstico y tratamiento instantáneo, invasivo o non-invasivo, en el punto de atención, que midan la condición médica del paciente, dispositivos fotónicos portables que permitan monitorizar parámetros ambientales.

La investigación, el desarrollo y la innovación en el campo de dichos dispositivos, permitirá su aplicación para resolver problemas como:

- Evaluar cuantitativamente el azúcar en sangre para diabetes o controlar los signos vitales como el pulso, la presión arterial, la oxigenación de la sangre y el flujo sanguíneo. La fotónica móvil podría evaluar la cantidad de nuevos biomarcadores específicos y locales, así como controlar la farmacocinética de los fármacos y la progresión de patologías.
- Dichos dispositivos podrían llevarse o incluso implantarse dentro del cuerpo. En el caso de este último, el volumen del dispositivo no debe exceder 1 cm3, mientras que no debe pesar más de unos pocos gramos. Idealmente, el dispositivo debería tener un bajo consumo de energía, estar conectado con capacidades de autocarga y tener una pérdida de calor manejable. Generalmente, los materiales deben ser completamente biocompatibles.
- Los dispositivos fotónicos móviles, invasivos y no-invasivos, podrían usarse para la identificación de patógenos y biomarcadores y ayudar a los médicos en las visitas para permitir un diagnóstico y una medicación rápida. Deben registrar continuamente (o en intervalos de tiempo reducidos) los signos vitales del usuario, que deben analizarse diariamente para permitir la detección temprana de enfermedades relacionadas con la edad o el estilo de vida o para la predicción de eventos drásticos.

"Los dispositivos fotónicos móviles, invasivos y no-invasivos, podrían usarse para la identificación de patógenos y biomarcadores."

- Los dispositivos implantables deben ser reprogramables y tener conectividad inalámbrica. Los dispositivos portátiles podrían reemplazar a los relojes, tejerse en la ropa (e-textiles para vigilancia de la salud) o tener la forma de anteojos. Las nuevas soluciones correctivas se podrían emplear para prevenir enfermedades oculares, mediante el diseño de lentes oftálmicas y lentes de contacto basadas en nuevos materiales y la inclusión de componentes electrónicos en las mismas. Se desarrollarán complementos para teléfonos inteligentes para transformarlos en dispositivos portátiles rentables para aplicaciones de imágenes, lo que permitirá servicios personalizados basados en los datos disponibles.
- La identificación de los biomarcadores apropiados (que aún pueden necesitar ser identificados) debe ser rápida y sin etiquetas. Es necesaria una mayor integración de la fotónica, la electrónica, microelectrónica y la microfluídica para permitir condiciones de detección estables sobre el cuerpo o dentro de él. Para el usuario, los datos proporcionados por los sensores deben ser fácilmente comprensibles en tiempo casi real. Se debe aplicar la ciencia de datos y la inteligencia artificial para optimizar la búsqueda de soluciones y tener cuidado con la lectura, acceso y manipulación no autorizada de los datos.
- En general, dentro de los problemas que conlleva la realización de las pruebas de concepto, habrá que considerar que no solo sea capaz de pasar los ensayos clínicos, sino también de encajar en el flujo de trabajo de un médico y obtener su aceptación.

Para el desarrollo de estos biosensores móviles, se hace necesario el desarrollo y la innovación de nuevas fuentes de luz miniaturizadas, capaces de cubrir múltiples longitudes de onda o rangos de longitudes de onda grandes (por ejemplo, LED, así como fuentes láser sintonizables o pulsadas, y fuentes anchas) que sean baratas y robustas. Los detectores deberán miniaturizarse y es posible que se necesiten nuevos filtros e interferómetros ópticos y divisores y acopladores de luz, todo ello para su aplicación en circuitos integrados fotónicos o ensamblados de componentes micro-ópticos.

Imagen de Misael Moreno (Unsplash)

3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos

La cooperación con todas las partes interesadas relacionadas con la atención médica es esencial, dado que la atención médica siempre va acompañada de impedimentos de desarrollo en el camino desde la investigación básica hasta un producto comercializable (como obstáculos regulatorios, problemas de reembolso de estandarización y protocolos estándar).

Si bien existen diferentes ámbitos científico-técnicos involucrados con temáticas que van desde el Big Data hasta robótica, la microelectrónica, los biomateriales, las fibras ópticas y los nanomateriales que están involucrados en la fabricación de sensores y wearables, por ejemplo; una colaboración estrecha y planificada con todas estas partes interesadas y los correspondientes plataformas e iniciativas tecnológicas españolas sería de gran importancia.

Ya, por ejemplo, a nivel paneuropeo (europeo) existe una importante iniciativa de colaboración multidisciplinar (interdisciplinar) la "Emerging Smart Technologies for Healthcare" (ESTHER), en la que la fotónica y las correspondientes Plataformas Tecnológicas Europeas (ETP) de Nanomedicina, Robótica y BIG DATA juegan un papel importante.

De la misma manera que ESTHER, y todas las partes interesadas involucradas en el cuidado de la salud, se esfuerzan por lograr una "salud y bienestar sostenibles para todos los ciudadanos europeos" a través de la "digitalización y convergencia de las tecnologías facilitadoras clave" así como un "concepto holístico basado en la inclusión y el consentimiento de todas las partes interesadas" con el objetivo de "proporcionar soluciones sanitarias integradas, innovadoras e inteligentes para todos los pacientes europeos mediante la promoción de una innovadora industria europea de tecnologías sanitarias"; se deberían definir iniciativas que fomentasen claramente dicho tipo de sinergias a nivel del estado español.

Fotónica21 GT-3 "Salud" está totalmente comprometido con esta visión y la necesidad de cooperación entre las diferentes partes interesadas para lograr el objetivo final de preparar a España para los desafíos sanitarios del futuro.

Por todo lo anterior y a nivel del estado español se hace necesario que Fotónica21 GT-3 "Salud" establezca colaboraciones con otras plataformas tecnológicas nacionales relevantes, que posibiliten realizar un esfuerzo coordinado que permita alcanzar los retos de investigación e innovación en salud, como: NANOMED SPAIN, Innovación en Tecnología Sanitaria, Medicamentos innovadores y para la Salud, Salud y la Vida Activa e Independiente, Plataforma Tecnológica Española de Materiales Avanzados y Nanomateriales (MATERPLAT).

4

Clima, Movilidad y Energía

1. Retos socioeconómicos

La fotónica juega un papel clave en los objetivos de la descarbonización hacia el transporte por carretera con cero emisiones, la transición hacia la energía limpia, la Cadena de Valor de Baterías Industriales, las Energías Renovables, (incluyendo la fotovoltaica convencional o de nuevos materiales avanzados, y el aprovechamiento del calor residual industrial mediante termo-fotovoltaica), la Cadena de Valor del Hidrógeno Verde (y otros combustibles y químicos solares como metanol), el sensado de contaminantes mediante técnicas remotas, tanto puntuales como de imagen el ahorro energético usando "Smart Lighting" y la protección de selvas tropicales por "Vertical Farming" con iluminación artificial. Todos ellos son campos en que el I+D en Fotónica tiene una importancia crítica y que puede generar avances revolucionarios.

La estrategia de política industrial de la Comisión Europea es el desarrollo de tecnologías de vehículos automatizados o robóticos de todo tipo, y las nuevas baterías, sistemas de carga, celdas de combustible y la propia infraestructura de transporte deberán ser optimizados para alcanzar una sociedad sostenible. Hacer de la UE el líder mundial en innovación, digitalización y descarbonización. España se encuentra extraordinariamente bien posicionada en este entorno energético, en que la energía solar y eólica son cada vez más relevantes, y otras energías alternativas (combustibles solares, energía mareomotriz, etc.) van ganando relevancia ante los nuevos retos energéticos.

La descarbonización es seguramente uno de los desafíos sociales más críticos que enfrenta en mundo, y España con él. El transporte generó actualmente alrededor del 14% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero en 2010: Las emisiones de este sector involucran principalmente combustibles fósiles quemados para el transporte por carretera, ferrocarril, aire y mar. Casi toda (95%) la energía de transporte del mundo proviene de combustibles con base de petróleo, a saber, gasolina y diésel. Esta dependencia de los combustibles fósiles, y su dependencia de potencias exteriores, es especialmente crítica para la soberanía energética y tecnológica de España, como estamos viendo recientemente.

"La estrategia de política industrial de la Comisión Europea es el desarrollo de tecnologías de vehículos automatizados o robóticos de todo tipo."

Soluciones técnicas más inteligentes y eficientes son factores importantes en el camino hacia la reducción y, finalmente, la eliminación de la necesidad de combustibles fósiles en el sector del transporte. Tanto el sector del transporte como el de la automoción necesitan reducir su huella medioambiental, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en la producción y en el uso. En línea con estos objetivos, el Parlamento Europeo y el Consejo de Europa han decidido priorizar la descarbonización del sector de la movilidad. La resolución implica la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) de todos los vehículos que se venderán en Europa. En línea con los compromisos de la UE en virtud del Acuerdo de París, el reglamento estipula que los automóviles nuevos deberían emitir un 37,5 % menos de emisiones de

CO_2 para 2030 en comparación con 2021, mientras que las furgonetas nuevas deberán reducir sus emisiones en un 31 %.

Un paso clave será sin duda el progreso en la electrificación, en diferentes grados, de los diferentes medios de transporte. Se necesitará una aceptación generalizada de tales vehículos, y a la vez una producción asequible de baterías sostenibles y otros generadores eléctricos como las celdas de combustible (vehículos de hidrógeno). La producción y mejora en las condiciones de uso de las baterías, el sensado objetivo de sus condiciones de funcionamiento, y la generación de un mercado secundario asociado son, por tanto, un medio estratégico para la transición hacia las energías limpias y la competitividad del sector de la automoción, que es un importante motor económico para España y, por supuesto, para Europa.

Otro factor clave para este grupo de trabajo es la movilidad automatizada, inteligente, conectada y segura. Con aproximadamente 25.000 muertes anuales en las carreteras europeas, la UE aún está lejos de la Visión Cero, un objetivo ambicioso que persigue contar con un sistema de transporte sin muertos ni heridos graves en nuestras carreteras. La automatización del transporte, progresiva hacia el vehículo completamente autónomo, mejorará la seguridad del tráfico, y ayudará a reducir el consumo de energía y reducir los atascos. Los vehículos eléctricos y automatizados, está claro, no surgirán por sí solos: aquí, el factor clave se considera que es centrarse en plataformas más que en soluciones individuales. La movilidad electrificada inteligente también requiere una integración inteligente con las redes eléctricas. Esto, a su vez, exige elevados niveles de digitalización de los sistemas involucrados, desde los sistemas de energía hasta la conectividad.

Uno de los contenidos tradicionales de este grupo de trabajo ha sido la industria de la iluminación. El ahorro de energía con la iluminación no debe limitarse a una mayor eficiencia (rendimiento) de las fuentes de luz individuales, sino que debe considerarse en un sentido social mucho más amplio. El control de iluminación basado en sensores, integrado en los sistemas de automatización de edificios, será omnipresente en instalaciones urbanas, edificios nuevos y se utilizará para modernizar los edificios existentes.

Las nuevas tecnologías de iluminación tienen el potencial de ahorrar hasta un 70% del consumo de energía y, dado que la iluminación representa aproximadamente el 20% del consumo total de electricidad del mundo (en 2018: 26.730 TWh55), esto supone un ahorro de energía de hasta 3.742 TWh o 1.500 megatoneladas de CO_2, lo que supondría aproximadamente un tercio de las emisiones totales de dióxido de carbono equivalente de la UE. Sería necesario plantar más de 3 mil millones de árboles para compensar esta cantidad de CO_2 (cantidad que correspondería al 0,1% de todos los árboles del mundo).

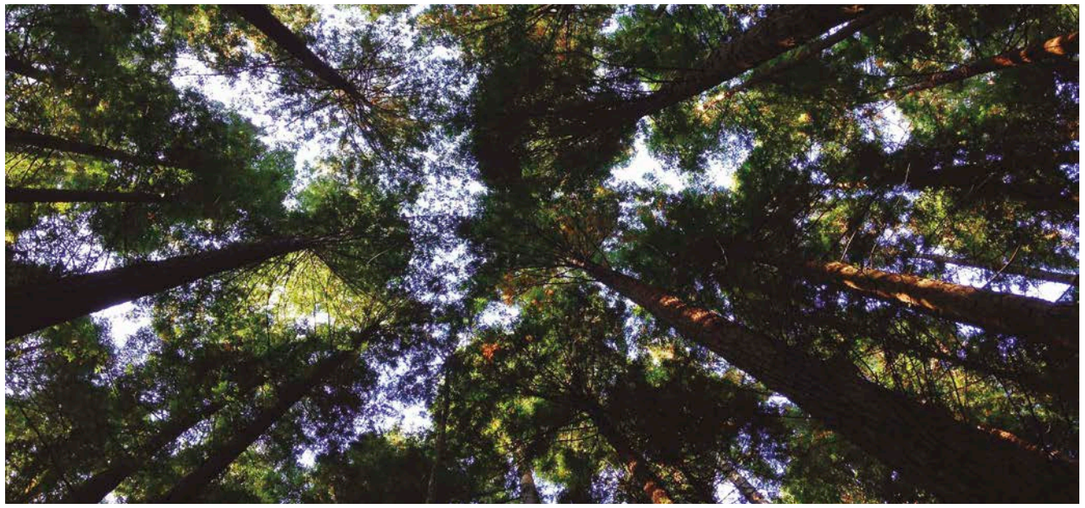


Imagen de Ángela Benito (Unsplash)

"Se necesitarán diferentes tecnologías de apoyo que permitan alcanzar los objetivos climáticos, de movilidad y energéticos, de entre las cuales destacan múltiples aplicaciones basadas o derivadas de la fotónica."

Se necesitarán, para todo ello, diferentes tecnologías de apoyo que permitan alcanzar los objetivos climáticos, de movilidad y energéticos, de entre las cuales destacan múltiples aplicaciones basadas o derivadas de la fotónica. El cumplimiento de la regulación de emisiones requerirá sistemas de medición mejores y más ampliamente implementados, donde la detección por medios fotónicos (de imagen, de absorción, unidimensionales o tridimensionales) es una candidata principal que podría usarse tanto en vehículos como dentro de ubicaciones de infraestructura específicas (por ejemplo, sensores fotónicos en forma de sistemas portátiles de medición de emisiones, detección de fugas de gases contaminantes específicos, seguimiento de plumas de gases, medidas remotas de concentración de gases, o sensores basados en fibra que puedan monitorizar la salud y las condiciones de carga dentro de la batería o de las infraestructuras de movilidad, transporte y generación de energía). Los sensores fotónicos y las interconexiones de fibra óptica también pueden proporcionar transmisión de datos de bajo coste inmune a EMC y resiliente, desde diferentes sensores a una computadora de a bordo centralizada. Ichos componentes pueden ser compactos y económicos si se desarrollan en serie basadas en fotónica integrada. La detección óptica y la comunicación en el espacio libre en presencia de elementos dispersores en la atmósfera (niebla, humo) pueden permitir una detección resistente al clima donde la detección por radar no puede proporcionar la resolución requerida. Otros sistemas fotónicos necesitarán desarrollos en fotodetectores de avalancha de alta sensibilidad y matrices de detectores para la detección de luz y la formación de imágenes activas a largas distancias, sea para detectar obstáculos tridimensionales, para medidas avanzadas de imagen, o para medir remotamente concentraciones de polución.

"Disponer de sensores fotónicos con un rendimiento suficiente es uno de los principales obstáculos que impiden que Europa y España desplieguen, a gran escala, vehículos totalmente automatizados y conectados."

Se necesitarán otros desarrollos en términos de láseres de alta eficiencia y bajo coste en bandas de longitud de onda más seguras para los ojos por encima de 1400 nm, capaces de operar a altas temperaturas (85˚-105˚C) sin necesidad de enfriamiento.

La tecnología para medir el estado de carga, el estado de salud y la temperatura interior de la batería también puede basarse en fotónica y fibra óptica. La incertidumbre actual relacionada con la temperatura y el estado de la batería obliga a los fabricantes a usar márgenes de seguridad integrados en los sistemas de monitorización de batería existentes, que impiden que la capacidad completa de la batería se utilice de manera eficiente, y causan una carga más lenta, mayores riesgos de seguridad y falta de información sobre la vida útil restante de la batería. Un sensor que proporcione un historial de la batería y la capacidad de la batería de manera exacta permitirá al usuario evaluar de manera confiable la vida útil restante de la batería, e incluso valorizarla generando un mercado secundario (de segunda mano). Por lo tanto, la integración de sensores dentro y sobre las celdas puede permitir una extensión de la vida útil de la batería en aplicaciones de primera y segunda vida, al tiempo que mejora drásticamente la seguridad.

Los vehículos conectados sin conductor y la electrificación son cambios tecnológicos disruptivos, adecuados para abordar los desafíos sociales de las lesiones y muertes relacionadas con el tráfico, la contaminación y la congestión. Los vehículos sin conductor y conectados también tienen el potencial de promover la inclusión social ofreciendo movilidad para todos de manera eficiente, en especial para la creciente población de edad avanzada. La conectividad es un factor crucial en el desarrollo de vehículos sin conductor junto con la electrificación, pero no será suficiente: los sensores incluidos en los vehículos siguen siendo el principal facilitador de este futuro modo de transporte.

Disponer de sensores fotónicos con un rendimiento suficiente es uno de los principales obstáculos que impiden que Europa y España desplieguen, a gran escala, vehículos totalmente automatizados y conectados. Las tecnologías radar continúan evolucionando, obteniendo mejoras usando tecnologías con múltiples emisores y receptores (MIMO) y mejorando la resolución a frecuencias más altas. Sin embargo, existen límites físicos que impiden que el radar alcance la misma resolución que un sensor fotónico.

Los conductores humanos seguirán, sin embargo, desempeñando un papel vital en el futuro previsible en los niveles de automatización previos a la automatización completa. La mejor visibilidad posible para el conductor será esencial para mejorar la seguridad: la iluminación inteligente en la oscuridad y las inclemencias del tiempo permitirán una mejor iluminación de la carretera y minimizarán el deslumbramiento. También es necesario un intercambio de información eficiente entre vehículos (V2V) y entre vehículo e infraestructura (V2I) para promover la seguridad y luchar contra la distracción del conductor. España, por tanto, necesita estar preparada para esta gran transformación de la movilidad que generará importantes cambios y oportunidades en los modelos de negocio y mejoras significativas en la seguridad de nuestros transportes.

Progresos sociales a conseguir a partir de estos desafíos

Existe una amplia variedad de objetivos de amplio impacto social que dependen, para su consecución, de los retos arriba detallados. Destacan, en nuestra opinión:

- Una movilidad más limpia en todos los aspectos, como los vehículos eléctricos u otras formas de vehículos de bajas emisiones, será esencial. Tanto el sector del transporte como el de la automoción, en general, necesitan reducir su huella ambiental y sus emisiones de CO_2, tanto en la producción del vehículo como en su uso.
- Los vehículos autónomos y la mejora de la seguridad vial transformarán el sector de la automoción y el transporte, en especial en el ámbito de la seguridad. Las estadísticas de Tráfico que aproximadamente un millar de usuarios de la carretera murieron en 2021, y se estima que unas 4000 personas resultaron gravemente heridas, en una serie anual decreciente pero aún insuficiente. El progreso consolidado hacia el transporte por carretera sin accidentes tiene beneficios sociales sustanciales que es innecesario detallar.
- La reducción de la congestión del transporte (incluido el Transporte Urbano de Mercancías - UFT) que optimiza la infraestructura vial disponible coincide con una creciente necesidad de una movilidad más limpia y, con ella, una mejora crítica en la calidad de vida de los ciudadanos y las mercancías, en especial en tiempos en que las cadenas de suministro son especialmente críticas.
- Se espera que la digitalización de la industria de la movilidad y la disponibilidad (en tiempo real) de datos en el vehículo, junto con una variedad de servicios para los usuarios de la carretera (como encontrar estacionamiento disponible en un área), estén estrechamente relacionados con el crecimiento económico y puestos de trabajo para un sector del transporte actualmente maduro, tradicional y poco digitalizado. Las aplicaciones basadas en la movilidad y en funciones novedosas que se puedan añadir a un vehículo mejor conectado, tienen enormes implicaciones económicas y sociales (por ejemplo, aplicaciones de soporte a la movilidad de conductores de edad avanzada).

"Implementar estas tendencias requerirá esfuerzos decididos, donde las tecnologías fotónicas jugarán un papel clave en la detección o comunicación."

- Mejoras en la calidad de vida y el consumo energético cuando los futuros sistemas de iluminación se adapten al usuario y brinden iluminación cuándo y dónde sea necesario y, por lo tanto, ahorren energía y brinden características adicionales que respalden la salud de los usuarios.
- Mejor calidad de vida para la sociedad que envejece, lo que plantea desafíos especiales para garantizar que las personas tengan una alta calidad de vida a medida que avanzan hacia los 80 y 90 años, en cuanto a su movilidad, pero también en cuanto a la iluminación. El *"Human Centric Lighting (HCL)"* apoyará al *"Ambient Assisted Living"* al mejorar la sincronización circadiana, dando una mejor estructuración a los ritmos diarios de las personas mayores. Una interfaz personalizada y fácil de usar para el sistema de control de iluminación será fundamental para su éxito.

Implementar estas tendencias requerirá esfuerzos decididos, donde las tecnologías fotónicas jugarán un papel clave en la detección o comunicación. Abordar estos desafíos sociales mencionados anteriormente en los próximos años, con el apoyo de los avances tecnológicos conseguidos en Horizon Europe o derivados de los Fondos de Resiliencia, generará impactos reales y positivos en la sociedad a partir de 2030. Con estas tecnologías, nuestro sistema de movilidad se transformará y generará empleo industrial y crecimiento directo en España. Tales valores económicos ya han sido detectados por grandes empresas del sector TIC (por ejemplo, Amazon, Apple o Google), que están desarrollando tecnologías autónomas fuera de Europa. Por lo tanto, será esencial mantener la competitividad y el liderazgo europeos en la industria para mantener el empleo y el progreso económico.

Imagen de Chombosan (Fotolia)

2. Retos de la investigación e innovación en fotónica

Las tendencias descritas y los objetivos sociales presentados podrían lograrse debido a la convergencia de un grupo de disruptores revolucionarios que aparecen actualmente en el mercado, a medio y largo plazo. Dichos desarrollos implican avances en el hardware, el software e incluso los modelos comerciales que eran comunes hace pocos años. Estos cambios tecnológicos disruptivos darán forma a la industria de la movilidad para el futuro, donde una industria europea vital tendrá que enfrentar la competencia global emergente para mantener y aumentar su actual peso industrial.

En movilidad se espera que uno de los cambios más críticos sea el desarrollo hacia vehículos autónomos (o autónomos y conectados) de varios tipos. Los ferrocarriles automatizados o las líneas de metro se utilizan cada vez más para el transporte público en las ciudades más grandes, pero es probable que otros modos de transporte (por ejemplo, automóviles, lanzaderas, autobuses, tranvías, embarcaciones de todos los tamaños) sigan la tendencia de automatización y electrificación (baterías más eficientes e integración fotovoltaica). Sin embargo, se espera que los vehículos autónomos más disruptivos, social y económicamente, se produzcan en el entorno de automoción.

Los vehículos con niveles de automatización que permiten al conductor apartar la vista de la carretera están, en realidad, listos para su presentación una vez que se hayan resuelto los problemas legales, con pruebas de concepto reales, normalmente en condiciones simplificadas de tráfico urbano, realizadas en diferentes ciudades de Asia y América. Se espera que la complejidad y el coste de los vehículos aumente con el incremento de los niveles de automatización en las carreteras.

Como consecuencia, se espera una revolución en nuestro concepto de movilidad y propiedad de los vehículos. Generalmente se conoce a esta aproximación como "Movilidad como Servicio" (MaaS). En contraste con la situación actual de propiedad principalmente individual de automóviles, la movilidad se convertirá en un servicio donde el uso de sensores, la conectividad y las tecnologías de la información ganarán peso industrial, lo que permitirá una movilidad rápida punto a punto, mediante propietarios de vehículos proveedores de servicios. Se diferencia cada vez más entre los taxis robóticos (pequeños vehículos de bajo coste y funcionamiento continuo durante su tiempo de viso, excepto para su carga), y los vehículos comerciales de uso particular.

Se espera que los vehículos autónomos tipo robotaxi se muevan el 80 % de su tiempo, y que se puedan compartir fácilmente mediante *apps*; mientras que un automóvil privado está estacionado, en promedio, el 95 % del tiempo. Gestionado correctamente, estos factores conducirán a una menor congestión y menos emisiones con carreteras más seguras para todos. Las áreas urbanas centrales se reasignarán a otros usos cuando disminuya la necesidad de grandes espacios de estaciona-

miento en el centro de la ciudad. El vehículo autónomo tiene el potencial de traer una verdadera revolución social y económica, comparable a la del teléfono móvil.

Tal desarrollo requerirá conceptos novedosos de vehículos en todos los modos de transporte relacionados con la conectividad. Tal cambio de paradigma requiere el desarrollo y despliegue de sistemas de movilidad conectados (V2X) que permitan la comunicación de vehículo a vehículo, de vehículo a infraestructura y la comunicación del vehículo con otros usuarios de la vía, especialmente con usuarios vulnerables de la misma como peatones y ciclistas.

La fotónica es, por ello, un modo de detección importante que permite la necesaria obtención de imágenes 2D y 3D de alta resolución necesarias, proporcionando la percepción y detección ambiental relevante. Así mismo, la fotónica podría permitir futuras comunicaciones entre otros vehículos, usuarios de la carretera e infraestructura.

Además, los sensores fotónicos se pueden utilizar para la integración de sensores en los subsistemas del vehículo, aprovechando su solidez y capacidad para integrarse en materiales y piezas estructurales, y para generar los datos necesarios para habilitar funciones avanzadas como la conducción automatizada y o el control de ocupantes, incluyendo el control predictivo de la salud o de la atención. En cuanto a los productos IoT, los componentes del vehículo deben convertirse en componentes inteligentes, con sensores multifísicos (como temperatura, presión, fuerza, tensión) utilizados para sus funciones de control y monitorización.

"La fotónica permite la obtención de imágenes 2D y 3D de alta resolución necesarias, proporcionando la percepción y detección ambiental relevante."

Las necesidades tecnológicas identificadas implican los siguientes desarrollos clave:

Detección fotónica avanzada

Se requieren capacidades de detección robustas y mejoradas a costes asequibles (ver la imagen de nube de puntos obtenida con un lídar en la siguiente figura). Una brecha considerable que se debe cubrir es la de obtener una versión mejorada y de pleno rendimiento, industrializable y de bajo coste.

Este componente es un habilitador clave en el futuro mercado de vehículos autónomos, Los avances tecnológicos propuestos para un mayor rendimiento incluyen áreas de dirección del haz, dispositivos emisores de luz y receptores de luz. Todos esos componentes, actualmente integrados a partir de componentes individuales, deben integrarse finalmente de manera eficiente en plataformas novedosas, como la tecnología LiDAR en chip o LiDAR integrado, con el uso de arrays de ondas en fase (optical pase arrays), laseres integrados de alta potencia (>100 mW) y fotodetectores integrados muy sensibles (de avalancha o contadores de fotones).

Las capacidades de detección desarrolladas deben tener un rendimiento completo en diferentes condiciones ambientales del mundo real a las que se enfrenta un vehículo, que incluyen: lluvia, nieve, niebla, polvo, salpicaduras (del tráfico anterior) e inmunidad a otras interferencias lídar. Esto supone un conjunto de técnicas que van del desarrollo de componentes físicos, su integración, o su procesado que constituyen, por separado, campos de investigación propios.

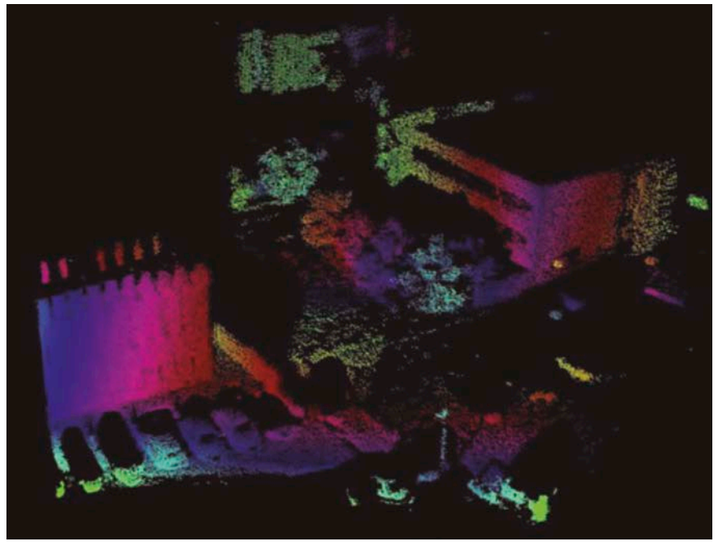


Imagen cortesía de Beamagine

A medida que el vehículo dependa de más y más sensores, se requerirán herramientas para evaluar su condición. Para el conjunto de sensores del vehículo se necesita una evaluación fiable del estado y el rendimiento del sistema, y el uso de sistemas redundantes con modos de fallo complementarios para permitir un funcionamiento resiliente y tolerante a fallos. La cuantificación de la degradación paulatina del rendimiento del sensor, por ejemplo, cuando se expone a condiciones climáticas adversas, también será esencial.

Supervisión del estado de la batería

La tecnología para medir el estado de carga, el estado de salud y la temperatura interior de la batería debe ser segura en caso de colisiones de vehículos u otros daños. Un enfoque beneficioso parece estar basado en fibras ópticas que no son eléctricamente conductoras. Ese monitoreo del estado de la batería conlleva beneficios adicionales:

- Un sensor que proporcione un "historial de vida útil de la batería" y la capacidad de medir la capacidad con mayor precisión mejorará la utilización segura y extenderá la vida útil de la batería en aplicaciones de primera y segunda vida;
- La incertidumbre actual relacionada con la temperatura y el estado de la batería obliga a los fabricantes a usar márgenes de seguridad integrados en los sistemas de monitoreo actuales, que evitan que la capacidad completa de la batería se utilice de manera eficiente, hacen que la carga sea más lenta, conlleve mayores riesgos de seguridad y no exista información sobre la vida útil restante de la batería. Esta falta actual de monitoreo de la batería hace difícil establecer un precio de reventa de las mismas, y es difícil para el vendedor proporcionar una garantía o establecer una causa de mal funcionamiento.

Integración Fotónica para Sensores

Más allá del vehículo autónomo, el sensado basado en fotónica también es esencial para muchas otras aplicaciones, incluyendo el sensado de contaminantes, el desarrollo de los productos y servicios IoT, la monitorización in-operando de electrolizadores y biorreactores, la optimización de celdas foto-electroquímicas y muchos otros.

Los aspectos clave para permitir una industrialización extensiva son la escalabilidad, el costo, el empaquetado y la integración de las tecnologías. Los sensores fotónicos se utilizan ampliamente en los campos industriales, y se utilizan de manera efectiva tanto como un sistema independiente como elementos de detección integrados en piezas mecánicas y estructurales. Sin embargo, para una mayor penetración en el mercado, requieren sistemas de interrogación adecuados que no están disponibles actualmente, en términos de compacidad, peso, consumo de energía, costo y robustez para entornos de temperatura y vibración difíciles. La integración fotónica es un habilitador clave para superar estos y crear sistemas de detección integrados adecuados para la detección multifísica compacta, robusta y rentable. El silicio sobre aislante (SOI) y los materiales híbridos III-V en las plataformas SOI, combinados con las tecnologías de montaje y empaquetado (*packaging*) de fabricación en masa, pueden aprovechar décadas de experiencia de la industria de la microelectrónica, abordando con éxito los requisitos del mercado de gran volumen.

En este sentido, el desarrollo de Circuitos Integrados Fotónicos (PICs), una tecnología en la que España dispone de una cadena de valor robusta, completa y bien establecida, deviene una de las más prometedoras. Estos sensores fotónicos asequibles se pueden usar para el Internet de las cosas (IoT) de varios sistemas, aprovechando la robustez y la capacidad de incorporar conexiones eléctricas no conductoras de manera segura en varios materiales y partes estructurales, para generar los datos necesarios para habilitar funciones avanzadas como conducción automatizada, salud predictiva o monitoreo de mantenimiento. Estos productos de IoT permitirán una mejora gradual en la eficiencia a través de la digitalización y la integración de componentes inteligentes con capacidad de detección multifísica (como temperatura, humedad, presión, fuerza o tensión).

Comunicación con la Luz

El desarrollo de componentes pequeños, fiables y de bajo coste para comunicaciones basadas en luz (LiFi), junto con la implementación de comunicaciones V2V y V2I, permitirán nuevas capacidades de interacción entre dispositivos TIC, máquinas, vehículos, otros usuarios de la carretera y la infraestructura, a través de comunicaciones de corto alcance y alta velocidad.

En ese sentido, los faros y sistemas de iluminación de los automóviles incorporan de manera natural componentes transparentes que permiten el envío y la recepción de energía óptica para la recepción de datos (sensores –incluso LiDAR- o detectores integrados en los faros) o la transmisión de datos. Tal capacidad prevé la integración de prestaciones adicionales en los sistemas de iluminación. Estos diseños novedosos deberían mejorar la capacidad, tamaño, factor de forma y mantenimiento, en especial la limpieza, de estos componentes.

Interacción inmersiva y monitorización de ocupantes

Se espera que la participación de las tecnologías fotónicas en nuevas tareas como la comunicación y el entretenimiento de los pasajeros sea clave. Se espera que los niveles más altos de automatización y las nuevas formas de detección en el vehículo traigan cambios sustanciales en la forma en que los humanos interactúan con el vehículo, no sólo desde el punto de vista del conductor y los pasajeros, sino también con otros usuarios de la carretera que pueden interactuar con el vehículo. En la siguiente imagen se ilustra una posible futura interfaz de usuario (HMI) de un conductor de vehículo.

Se requieren HMI mejoradas y avanzadas para hacer frente a la mayor cantidad de información disponible a través de la digitalización, a la capacidad del conductor de no estar permanentemente mirando a la carretera, o a un control más seguro del automóvil mientras se interactúa con

"Será necesario un análisis detallado de los efectos fisiológicos de la iluminación bajo las nuevas formas de uso de los vehículos, que com-binan diferentes niveles de rendimiento visual, junto con la estética y el confort, así como nuevas estrategias de monitorización de los ocupante."

Imagen de Carlos Aranda (Unsplash)

el sistema. Su implementación exitosa requerirá la cooperación entre la industria fotónica y los especialistas en comportamiento humano.

Será necesario un análisis detallado de los efectos fisiológicos de la iluminación bajo las nuevas formas de uso de los vehículos, que combinan diferentes niveles de rendimiento visual, junto con la estética y el confort. Se requerirán nuevas estrategias para monitorizar a los ocupantes para detectar su preparación para retomar el control de la conducción cuando sea necesario, seguir su estado de salud o su nivel de somnolencia a partir de sensores fotónicos. Por ello, una experiencia de interacción con el sistema más inmersiva será una tendencia futura en los vehículos de próxima generación. Dicha interacción involucra varias modalidades, incluidas pantallas sin marco, proyecciones en el parabrisas, pantallas más grandes y luminosas, u otras que permitan múltiples niveles de participación tridimensional, como las pantallas holográficas.

Las interacciones con el contenido de información extendida deben combinarse con la prioridad de caminos más seguros, lo que requiere menos atención del conductor con un mejor y más rápido acceso a la información relevante en modos semiautónomos. Se requeriría una comunicación novedosa con el conductor y otros usuarios, lo que implica posibles diferentes niveles de realidad aumentada, pantalla de visualización frontal (realidad aumentada en *head-up displays*, proyecciones, gafas, lentes de contacto, pantallas avanzadas…), y estrategias de interacción multimodal (por ejemplo, seguimiento ocular). La cabina del vehículo autónomo aún no se ha definido, y son posibles varias alternativas, que requieren la cooperación de actores con experiencia en pantallas, factores humanos y usuarios finales. Se espera que, en un vehículo automatizado, éste sea uno de los principales factures de compra de vehículos privados.

Dichos dispositivos y sistemas nuevos deben estar bien integrados, ser confiables y de bajo costo, con un volumen razonable y un consumo de energía reducidos Estos nuevos dispositivos deberían poder utilizarse de manera eficiente dependiendo de la tarea en cuestión para los ocupantes del vehículo en todas las condiciones de uso (día/noche). Esta tendencia reducirá la brecha existente actualmente entre el mercado automotriz y el consumidor de dispositivos electrónicos y fotónicos. Dado que las aplicaciones automotrices utilizarán cada vez más tecnologías habilitadoras basadas en la fotónica de la electrónica de consumo, los costos deberían disminuir y el nivel de integración debería aumentar.

Micropantallas

La información se volverá personal y ubicua, siempre y en todas partes. Estos aspectos se mantienen en todos los aspectos de la vida, tanto en el ámbito personal como en el empresarial.

Las micropantallas en anteojos y lentes de contacto ofrecerán información personalizada a través de la realidad aumentada para hacer que el trabajo complejo sea más fácil y la vida más cómoda. Los sistemas clásicos de navegación e información serán sustituidos por información que pueda tener en cuenta las preferencias y hábitos de cada individuo. Los microLEDs basados en semiconductores III-V como el InP, GaN y GaAs han demostrado su capacidad para producir micropantallas de alta eficiencia y se espera que sean claves en estas aplicaciones.

Aumentar la eficiencia de la iluminación en un 10%

Aumentar la productividad en un 10% significa que el consumo de energía requerido (y por lo tanto las emisiones de CO_2 relacionadas) podría reducirse en un 10%. Para aumentar la productividad en un 10%, el primer desafío será que la iluminación se convierta en un sistema totalmente integrado en edificios, objetos y dentro de las estructuras que nos rodean. Este desafío presenta nuevos problemas de investigación: desarrollo de materiales ("¿cómo se puede integrar la iluminación en diferentes materiales sin reducir su rendimiento o vida útil?"), la arquitectura del sistema ("¿cómo se puede comunicar el sistema de iluminación con otros sistemas, como la gestión del edificio, el control del automóvil, sistemas de seguridad), o desarrollo de componentes.

Además del aspecto técnico de la productividad, la luz también influye en el bienestar de cada individuo. Nuevos hallazgos científicos muestran que la reacción del cuerpo humano a ciertas distribuciones de luz espectral es compleja y depende, entre otras cosas, de la edad, el sexo, el entorno cultural, la ubicación geográfica, el estado de ánimo y la salud del individuo. La investigación continua e intensiva iluminará nuestra comprensión de la interacción de la luz con los humanos, los animales y las plantas.

"La luz es uno de los principales elementos que permitirán adaptarse a cultivos específicos en entornos complejos."

Economía verdaderamente circular

El campo de la agricultura urbana está cobrando impulso a nivel mundial. La fuerza impulsora difiere entre regiones. Mientras que en las ciudades europeas algunos de sus atractivos se basan en el auge de 'vivir en armonía con la naturaleza' o evitar el transporte innecesario de hortalizas del entorno a los usuarios finales, la situación en los países emergentes es bien diferente: la agricultura en las megaciudades es una pura necesidad.

La luz, con sus características de intensidad, color, y sus mecanismos de control y ajuste, es uno de los principales elementos que permitirán adaptarse a cultivos específicos en entornos complejos. Hoy apenas estamos comenzando a formular los mecanismos de crecimiento de las plantas y los medios para influir en su salud y rendimiento. Las habilidades y capacidades serán decisivas para el éxito futuro del mercado y, por lo tanto, constituyen uno de los desafíos clave de la investigación en el futuro. Teniendo en cuenta el creciente número de lugares con escasez de agua, la investigación exitosa para optimizar el riego de las plantas mediante una iluminación adecuada ayudará a miles de millones de personas a mejorar su calidad de vida.

Otro aspecto de la economía 'circular' es el ahorro de recursos, en particular el consumo de energía en las instalaciones productivas. Aquí, la luz puede ser considerada de diferentes maneras. Si bien la iluminación inteligente y eficiente puede conducir a una reducción en los costos anuales de los servicios públicos, la tecnología fotónica en el control de calidad, empleada en toda la cadena de fabricación, también puede contribuir a la reducción del material de desecho, mejorando implícitamente la eficiencia de la entrada de recursos en la producción.

La fotónica como ciencia insignia para la innovación

Una oportunidad emergente para Europa, donde la industria automotriz, aeroespacial y de transporte son sólidas, es la fotónica integrada en objetos (o integrada en estructuras), que combina la microelectrónica tradicional, la electrónica flexible, impresa e híbrida y las estructuras mecánicas.

Este proceso permite la integración de funcionalidades fotónicas (pantallas o iluminación, sensores de gran área, sensores de fibra óptica, interfaces de usuario) dentro de estructuras tradicionales como automóviles, aviones, trenes, tranvías, ascensores, escaleras mecánicas, proporcionando pantallas dentro de un vidrio laminado, interruptores e interfaces de usuario o dentro de piezas moldeadas por inyección.

La tecnología proporciona libertad de diseño, reducción de peso y espacio, adaptabilidad funcional, integración duradera de la electrónica y la mecánica, ensamblaje ajustado y soluciones y servicios novedosos e innovadores.

Para mantener estos mercados en Europa evolutivos y revolucionarios será esencial una mayor acción. Un ejemplo de las demandas de la próxima generación es el desarrollo de materiales y dispositivos para sistemas emisores y de detección de banda ancha y longitud de onda estrecha para la banda de frecuencia de 1 µm a 12 µm, que son compatibles con la tecnología optoelectrónica y de semiconductores existente. Dichos dispositivos pueden usarse como sensores para sistemas médicos, ambientales y de transporte, pero también en *"Human Centric Lighting" (HCL).*

3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos

Un enfoque de diseño centrado en el ser humano debería ser beneficioso, donde los cambios introducidos por los conceptos novedosos requerirán una intensa cooperación de tecnólogos/as (expertos/as en sistemas y plataformas) y otros especialistas, para integrar adecuadamente los diferentes tipos de sensores e información para garantizar la aceptación de usuarios/as finales a los nuevos conceptos que se están introduciendo. Esto es especialmente cierto en cuanto al transporte autónomo, pero no lo es menos en cuanto a la optimización de los sistemas de iluminación.

La colaboración y coordinación con otros grupos de trabajo de Fotónica21 y de Photonics21 será cada vez más importante, en especial con el Grupo 2 de Fabricación, dado el elevado volumen industrial de estos sistemas. El aprendizaje automático (ML) y la inteligencia artificial (IA) jugarán un papel crucial en la iluminación y en los sensores para interpretar las preferencias y el comportamiento del usuario y así mejorar el rendimiento de los sistemas al interpretar los datos del sensor con mayor precisión y permitir datos "más ruidosos", por lo que la colaboración con áreas relacionadas con la fusión de datos, el procesado de imagen, y la computación en el dispositivo (*edge computing*) serán imprescindibles.

Igualmente, será imprescindible revisar y complementar estas actividades con eventos conjuntos y seguimiento de convocatorias con otras plataformas tecnológicas nacionales. Destacaríamos en particular en este ámbito a las relacionadas con el transporte (sea ferroviario (PTFE), marítimo (PTM), logística (LOGISTOP) y la energía (sea solar de concentración (SOLARCONCENTRA) o fotovoltaica (FOTOPLAT), y en especial la plataforma de eficiencia energética (PTEE) por mencionar las más relevantes con las que se tiene contacto. Igualmente, en actividades no tan directas temáticamente, pero reforzadas por colaboraciones pasadas, es importante citar a MANUKET y PESI, por su componente de fabricación y seguridad industrial, a PLANETIC por su relación con la implantación de nuevas tecnologías en informática y comunicaciones, o a DISRUPTIVE, MATERPLAT o INDUCIENCIA, por su contribución con nuevas tecnologías que complementan la Fotónica. El número de posibles puentes con otros sectores, dado el impacto de los objetivos sociales descritos, es prácticamente ilimitado.

5

Seguridad y Espacio

1. Retos socioeconómicos

Objeto

El objeto de este capítulo es revisar de la agenda estratégica dentro del área de seguridad, defensa y espacio en el estado español desde el punto de vista de las empresas del sector. Analizamos tanto sus líneas de trabajo y mercado como los retos tecnológicos y estratégicos a los que se enfrentan.

En el marco de seguridad y espacio, la fotónica se enfrenta no solo a líneas tecnológicas de dispositivo final sino también a desarrollo e investigación de nuevos materiales que se usen en el propio componente como en la cadena de transmisión de información de origen a destino. La fabricación y nivel de integración de dispositivos fotónicos en el producto final depende directamente del tipo de tecnología.

Las instituciones y empresas que desarrollan dispositivos fotónicos en aplicaciones de defensa, seguridad y espacio ponen de manifiesto una serie de necesidades y recomendaciones con el fin de poner en valor la fabricación, integración y desarrollo de este tipo de tecnología en el estado español, así como las ayudas y/o inversiones necesarias para desarrollarlas de manera óptima.

Escenario actual

El sector de seguridad, defensa y espacio no solo abarca dispositivos fotónicos IOT sino también aquellos dispositivos, procesos y materiales para infraestructura, comunicaciones e integración basados o no directamente en la nube.

Desde un punto de vista general, enfocado a los distintos sectores en expansión de dispositivos fotónicos dentro de la seguridad, defensa y espacio, estos dispositivos se encuentran presentes de una manera transversal en toda la sociedad, tal y como se muestra en las áreas mostradas en la Tabla 2-1.

La tecnología fotónica no solo abarca sensores de presión y temperatura, sino sensado de multitud de variables físicas, uso de fuentes como láseres de fibra óptica, elementos optoelectrónicos y comunicaciones no solo ópticas sino en también campos emergentes como el cuántico, o basados en superconductores cuyos avances y aplicación son cada vez mayores.

"La tecnología fotónica abarca el sensado de multitud de variables físicas, el uso de fuentes como láseres de fibra óptica, elementos optoelectrónicos y comunica-ciones no solo ópticas sino también campos emergentes como el cuántico."

En estos últimos años, los avances a nivel global en cuanto a seguridad en temas pandémicos han hecho revolucionar el campo del sensado y detección de amenazas biológicas y químicas como, por ejemplo, el análisis de agua.

El escenario actual en el estado español está desarrollando avances en sensado, materiales, láser, comunicaciones cuánticas, tanto a nivel de dispositivo como de nuevos materiales, y transferencia industrial de conocimiento para desarrollo de nuevas tecnologías de fabricación.

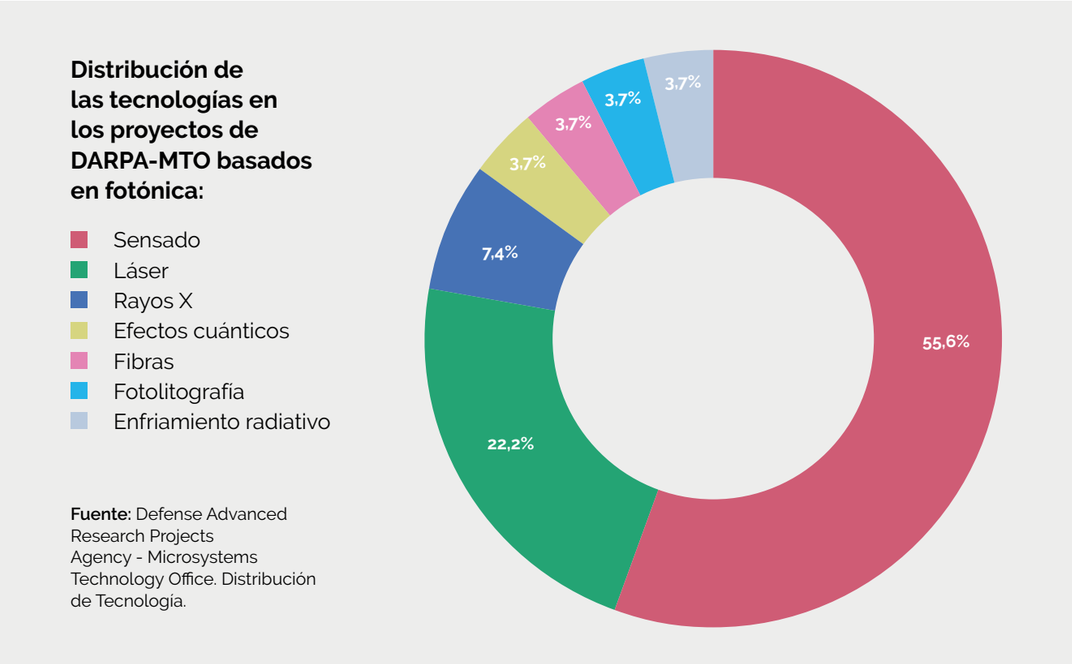
Uno de los dispositivos fotónicos de más auge, está siendo las tecnologías láser, y como consecuencia uno de los retos comunes en nuestra industria está siendo las áreas relacionadas con fuentes de luz, láseres de fibra óptica y superconductores.

Área	Campo		
	Defensa	Seguridad	Espacio
Fabricación	✓	✓	✓
Agricultura	✓	✓	✓
Distribución	✓	✓	✓
Logística	✓	✓	✓
Servicios públicos	✓	✓	✓
Infraestructura	✓	✓	✓
Sanidad	✓	✓	✓
Petróleo y gas	✓	✓	✓
Transporte	✓	✓	✓
Hostelería	✓	✓	✓
Alimentación	✓	✓	✓
Banca, datos, comunicaciones	✓	✓	✓
Edificios y domótica	✓	✓	✓

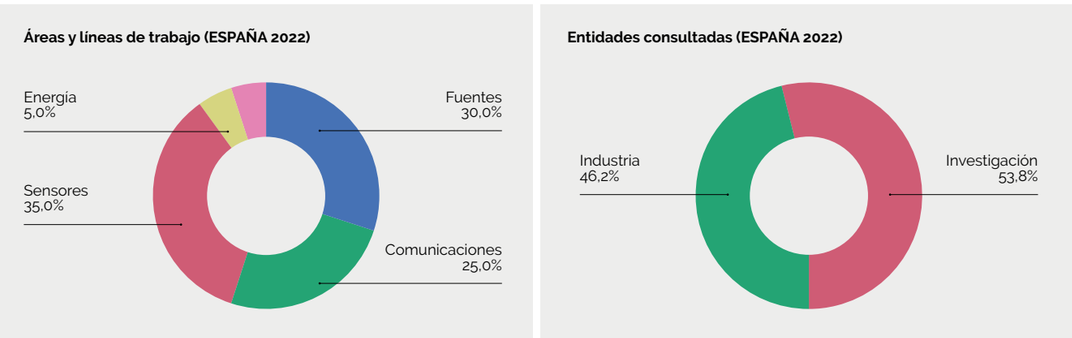
Áreas con aplicaciones fotónicas en Defensa, Seguridad y Espacio

Posición europea y española

Desde el punto de vista europeo, existe un enfoque orientado a las tecnologías IOT, por ser éstas la mayor expansión en los últimos años y las que aparentemente mayor campos de aplicación tienen tanto para IA o bigData a nivel industrial y a disposición de la ciudadanía.



Distribución de tecnologías fotónicas según DARPA-MTO



Distribución de áreas fotónicas de trabajo y origen de entidades consultadas GT5 en el estado español

Indirectamente, la fotónica y óptica están llevando el estado del arte de muchas aplicaciones a planteamiento a nivel de fabricación y uso industrial por su posibilidad de hacer fabricación escalable.

El uso de soluciones fotónicas IOT y el crecimiento del Big Data hacen plantearse nuevas áreas de desarrollo para optimización de comunicaciones, almacenamiento, adquisición, procesado desde el punto de vista de datos y sistemas de sensado que sean capaces de incorporar motores basados en AI o ML.

El enfoque europeo se basa en un punto de vista de desarrollo de soluciones fotónicas 4.0 mientras que el enfoque español se está muy interesado en la optimización de comunicaciones, procesado y cada vez más apostando por el desarrollo de fuentes de luz que hagan sistemas fotónicos más avanzados.

En el enfoque español, hay que destacar también el uso de soluciones fotónicas en aplicaciones de generación de energía, como pueden ser los sistemas de uso de nuevos materiales para fotovoltaica cuyo enfoque europeo no lo considera como directo en esta área y sin embargo es un campo en el que la industria española cada vez más está apostando dada su geolocalización y ventaja frente a otros países por su gran porcentaje de luz al año. En este sentido, los avances en generación de energía como foco en satélites de defensa o científicos necesitan de investigación de nuevos materiales que permitan mayor rendimiento fotoeléctrico tanto en transformación como en recolección por los recubrimientos de las lentes o paneles con los altos niveles de radiación cuando son usados en espacio. Son también importantes los entornos de testeo de estos equipos, por lo cual es necesario de disponer de criostatos que produzcan el entorno adecuado para control del funcionamiento de dispositivos en rangos de temperatura ampliados.

"Los avances en generación de energía como foco en satélites de defensa o científicos necesitan de investigación de nuevos materiales que permitan mayor rendimiento fotoeléctrico."

ENFOQUE EUROPEO	ENFOQUE ESPAÑOL
Potenciación de AI de soluciones fotónicas IOT	• Potenciación de AI a través de comunicaciones más rápidas. Tecnología cuántica. • Sistemas de enfoque para aplicaciones 5G
Nuevos materiales y procesos de fabricación de componentes y subsistemas IoT NIR/MIR/FIR	• Nanofotónica en procesos de fabricación • Nuevos materiales • Fotovoltaica
Integración de plataformas multisensor IoT rentables, de bajo consumo y miniaturizadas	• Desarrollo de sensores de fibra óptica distribuidos y puntuales
Alianzas creadas entre socios en fotónica, IA/ **ML, seguridad/protección y defensa (uso dual)**	• Desarrollo de Láser de fibra óptica para comunicaciones, apuntamientos. • Desarrollo de láser en contramedidas para drones • Sistemas de observación, espectroscopía de superalta resolución • Sensores fotónicos para biomarcadores en uso en amenazas biológicas, protección o monitorización. • Diseño de criostatos para la caracterización de distintos dispositivos de muy bajo ruido en rangos de temperatura ampliados para aplicaciones en el campo de la radioastronomía y defensa.
Menores costes de componentes y subsistemas IoT NIR/MIR/FIR.	• Desarrollo optomecánico de soluciones • Nanofabricación
Creación de valor a través de la potenciación IA/ML de soluciones IoT fotónicas Identificación: Aplicaciones de uso dual de alto valor.	• Codificación cuántica, encriptación con láser • Comunicaciones fotónicas • Codificación cuántica
Miniaturización multisensor basada en plataformas fotónicas PIC de sensado	• Sensores fotónicos
-	• Sistemas opto-fotónicos para uso en fotovoltaica de espacio y de uso dual. • Sistemas fotónicos de optimización y generación de energía.

Enfoque y proyección áreas fotónicas en Europa y tendencias en España

La deslocalización y globalización de la industria de fabricantes de sensores fotónicos hace plantearse cada vez más formas de optimización de sistemas fotónicos y sensores que ya están siendo desarrollados en el mercado fundamentalmente asiático. Sin embargo, en los últimos años se ha empezado a plantear la necesidad de inversiones estatales en industria de fabricación de sistemas fotónicos y materiales con el fin de no depender directamente de mercados bloqueados en un momento dado, lo que puede además ayudar y fomentar el desarrollo de la industria fotónica en nuestro país.

2. Retos de la investigación e innovación en fotónica

Los retos fundamentales a los que se enfrenta el estado español en vista del mapa europeo y mundial son fundamentalmente cuatro:

1

Precio y complejidad

Ambos conceptos van de la mano. Los sensores convencionales de temperatura y presión han tenido un menor coste que los fotosensores y las fuentes, en los que ahora las industrias que desarrollan la fotónica están poniendo su foco. Se requieren elementos adicionales y condiciones adecuadas para fabricar las lentes, filtros, espejos, redes de difracción, piezas optomecánicas, nanooptomecanismos o electrónica de sensado que forman parte del sistema, y es necesario un precio competitivo en su fabricación.

2

Comunicaciones

Tecnologías de adquisición, multiplexación, multicanal, velocidad de los datos, tecnología de comunicación, almacenamiento y procesado son áreas de investigación y retos en los que actualmente se está enfocando el mercado, así como en explorar nuevas formas de uso de la computación cuántica y aplicación para AI o ML.

3

Fuentes de luz

El estado español es puntero en tecnologías láser, más concretamente en el área de láseres pulsados. Las fuentes en los sistemas fotónicos son, en muchos casos, los grandes olvidados en la definición de sistema. Sin embargo, las mejoras en las tecnologías de las fuentes son fundamentales en la optimización del sistema desde el origen y semilla para uso en otras áreas indirectas.

4

Materiales

La búsqueda de materiales más robustos, con menores pérdidas y con mayor rendimiento óptico son fundamentales para los sistemas fotónicos. Las ayudas para búsqueda, desarrollo e investigación en esta área son fundamentales. Además de los sistemas fotónicos al uso, el campo de la generación de energía está teniendo cada vez más importancia en pro de la era de transición energética. Los materiales usados en fotovoltaica como lentes, colectores, etc. deben ser cada vez más robustos y con mayor rendimiento para que dicha transición se realice más rápido lo que revierte positivamente generación y optimización de energía por ejemplo en satélites o espacio cuya fuente energética sea de origen solar. Además, no hay que olvidar el uso de materiales en recubrimientos no solo de paneles, sino lentes y la electrónica del sistema fotónico total.

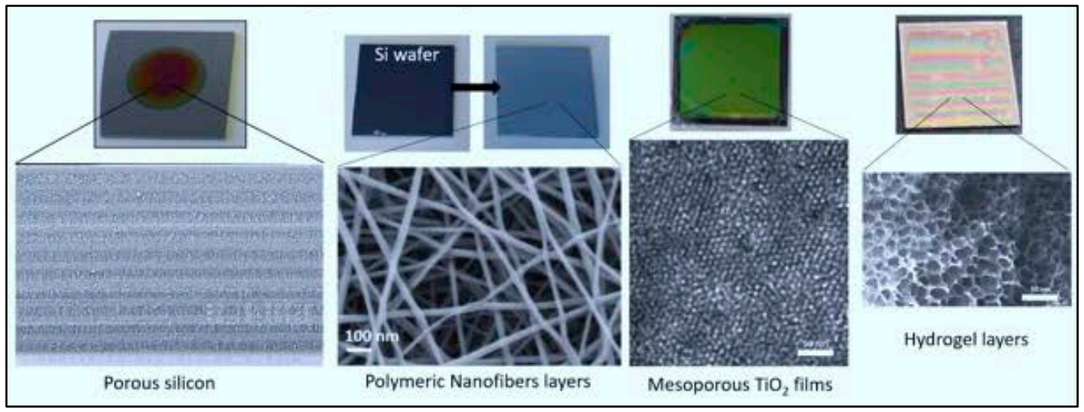
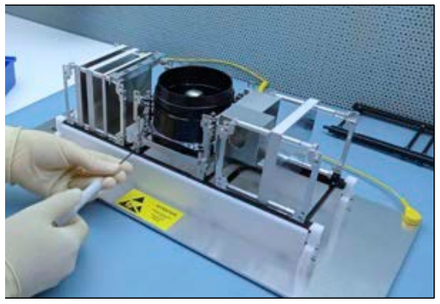


Imagen cortesía de UPV-NTC (Universitat Politècnica de València, Nanophotonics Technology Center)

La nanotecnología, nanofotónica y desarrollo de láseres entre otros juega un papel fundamental para disminuir costes de fabricación, así como para optimización de comunicaciones y computación que forman parte de los sistemas fotónicos y ópticos.



Nano satélite integrado con instrumento óptico basado en Free-Form cortesía de INTA Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

Difusor holográfico (cortesía de Greenlight Solutions SL)

En este sentido, es necesario apoyar el desarrollo, no solo de las soluciones IOT desde un punto de vista de dispositivo final, sino también un desarrollo enfocado al origen (fuentes) y al medio (tecnología para comunicaciones) para establecer sistemas robustos, fiables y baratos.

Retos tecnológicos de las principales instituciones e industria española	
Sistemas	• Fomento de industria de elementos lentes, filtros, espejos, redes de difracción, electrónica, fuentes láser, chips, materiales, superconductores • Localización industria española.
Miniaturización	• Nanofotónica y nanooptoelectrónica en procesos de fabricación
Rentabilidad	• Procesos de fabricación
Plataformas para producción rentable	• Inversiones en investigación, diseño, desarrollo y testeo de nuevo producto, reutilizable y reversible en nuevos sistemas
Potenciación de IA/ML	• Comunicaciones, codificación cuántica, encriptación con láser, Comunicaciones fotónicas, Codificación cuántica con mayor volumen de procesado y datos.
Detección multiparamétrica	• Adquisición multicanal y simultánea de datos. Desarrollos de LIDAR en uso dual
Mantenimiento mínimo	• Auto calibración de sistemas desde fábrica o en remoto
Resiliencia/robustez	• Nuevos materiales menos degradables y mayor inmunidad a EMI
Consumo	• Mínimo consumo, materiales con alta señal/ruido y poca absorción óptica que no disminuya rendimiento
Sostenible	• Componentes y materiales, y que se respeten las normas RoHS y REACH.
Focalización de mercado	• Para que Europa se concentre en líder de los sensores avanzados, de alto rendimiento autónomos y resilientes duales ha de apostar por la industria y fabricación

Retos tecnológicos de las instituciones e industria en el estado español

"Es necesario apoyar el desarrollo desde un punto de vista de dispositivo final, pero también enfocado al origen (fuentes) y al medio (comunicaciones) para establecer sistemas robustos, fiables y baratos."

Retornos de inversión

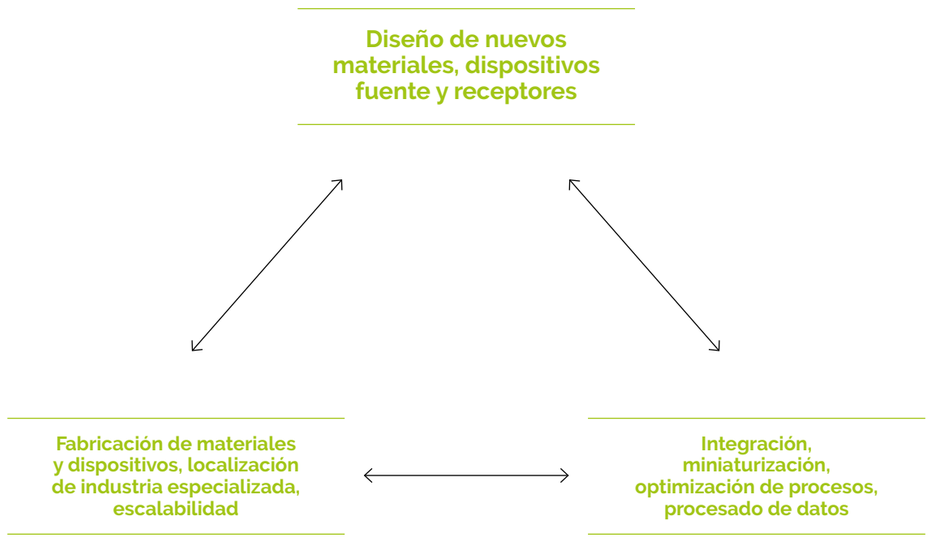
La inversión para desarrollo de nuevas vías de afrontar los retos tecnológicos expuestos anteriormente se revierte directamente en mejora continua y nuevas formas de explotación y exploración en los diversos campos.

Para conseguir que Europa y, en concreto, el estado español pueda ser competitivo en este campo, es necesario un apoyo institucional enfocado tanto a fuentes de luz, comunicaciones, sensores, almacenamiento y procesado de datos como a sistemas para generación de energía de tecnología fotónica revierte de manera directa en un crecimiento mayor en todas las áreas.

Una inversión en investigación y desarrollo de nuevos materiales mejora los procesos de fabricación y, por lo tanto, revierte en la disminución de los costes de producción de elementos que formen parte en el sistema.

En concreto, según de área, tenemos diferentes retornos:

- **Seguridad:** Retorno en mejoras para detección de amenazas biológicas, tanto protección como vigilancia, mejores comunicaciones.
- **Espacio:** Retorno en instrumentación, comunicación y sistemas de energía para satélites, sensores para prevención que a su vez revierte en seguridad y defensa además de ciencia para desarrollo en general.
- **Defensa:** retorno para dispositivos escalables para uso a nivel dual.



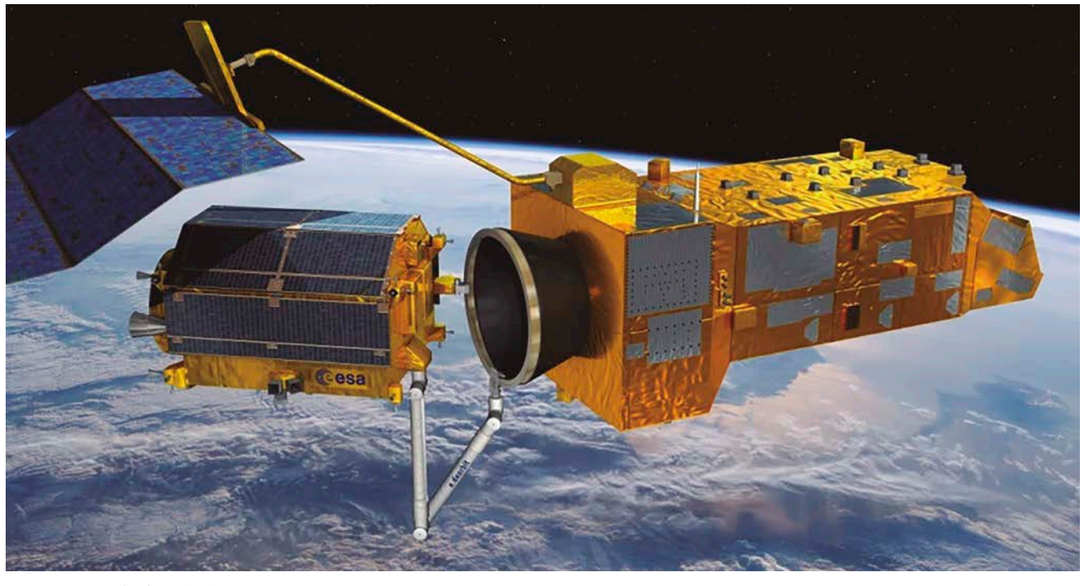


Imagen cortesía de LIDAX

Análisis DAFO: La fotónica en seguridad, defensa y espacio en España

Debilidades

- Deslocalización de industria de fabricación, materiales y componentes.
- Pocos mecanismos de conexión entre instituciones y grupos de investigación y tejido empresarial tanto para conocimiento como para transferencia.
- Falta de capital de inversión en proyectos tecnológicos punteros y mantenimiento de proyectos.

Amenazas

- Globalización y tendencia a fabricación externa en mercados no europeos.
- Foco de inversión externa por desconocimiento de tecnología puntera en el ámbito de grupos de investigación en el estado español.
- Migración de conocimiento a otros países o mercados con mayores inversiones tanto a nivel humano como industrial.
- Rapidez de crecimiento nanotecnológico sin capacidad de absorción a procesos actuales por falta de inversión.
- Crecimiento de industria 4.0, IOT, Big Data que obliguen a niveles de computación alta en procesos y comunicaciones en la industria actual sin actualización a nuevas tecnologías.

Fortalezas

- Grupos de investigación y empresas punteras en área de láseres pulsados, láser de fibra óptica líderes actualmente a nivel mundial.
- Grupos de investigación y empresas punteras en área de sensores de fibra óptica líderes actualmente a nivel mundial.
- Grupos de investigación en áreas de computación y tecnologías cuánticas tanto para espacio libre como militar.
- Grupos de investigación en áreas de superconductores para uso dual energético y de comunicaciones.
- Tecnología LIDAR de referencia basado en láser.
- Sensores fotónicos para biomarcadores de uso dual defensa y seguridad.
- Base científico-tecnológica académica muy alta.

Oportunidades

- Inversión en desarrollo de tecnologías con mayor know-how: fuentes, computación cuántica, materiales.
- Impacto más allá de la frontera de aplicación de espacio, seguridad y ciencia, como pueden ser dispositivos más cercanos al ciudadano o a su bienestar por efecto de escalabilidad y coste.
- Crecimiento de industria IOT con desarrollos paralelos a la inversión española de dispositivos fotónicos.
- Transferencia tecnológica de los grupos de investigación a empresas españolas.
- Internacionalización.

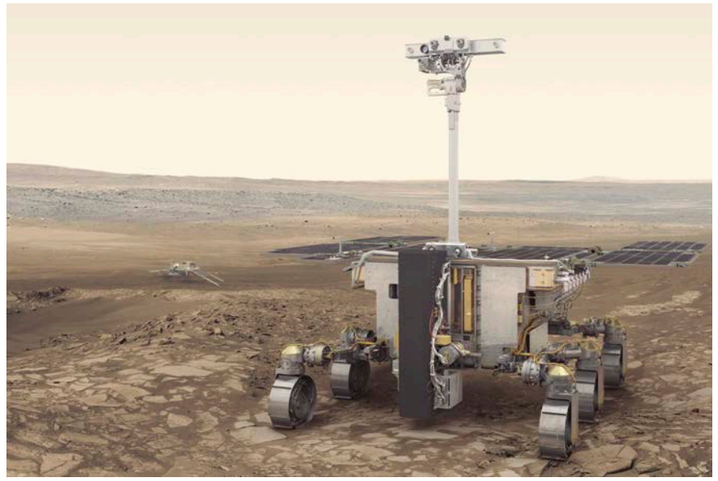


Imagen cortesía de la Agencia Espacial Europea (ESA)

Conclusiones y recomendaciones

Existe un gran interés en la industria española en el desarrollo de nuevos dispositivos y materiales que permitan poner en valor nuestros sistemas fotónicos como punteros y avanzados dentro de la industria global. En ese sentido, tanto los grupos de investigación como instituciones y empresas desarrolladoras han de tener mecanismos, plataformas e inversión que les permitan trabajar en constante cercanía, tanto para transferencia de tecnología como para expandir su conocimiento y revertir en nuevas formas de optimización para acercarse a las necesidades de la sociedad.

El denominador común en el grupo de seguridad y espacio es la necesidad de infraestructuras de fabricación locales que permitan un acceso rápido tanto para fabricación como para test y validación de nuevos materiales o dispositivos.

La creciente industria 4.0 y el BigData o Data Mining impulsan de una manera directa la necesidad de mejoras de comunicaciones y procesado de datos como pueden ser en satélites, aplicaciones de seguridad y defensa en términos de bio-vigilancia o instrumentación orientada a los campos de fusión y astronomía desde el punto de vista de uso en espacio. Todo ello orientado tanto a explotación de tecnologías actuales, renovación de procesos industriales como a la exploración y proyección de otro tipo de tecnología como pueden ser la de los superconductores y computación cuántica que están despuntando tanto por su potencial en optimización de velocidad de transmisión de datos como por su alto rendimiento en cuestión de consumo energético.

"El denominador común en el grupo de seguridad y espacio es la necesidad de infraestructuras de fabricación locales que permitan un acceso rápido tanto para fabricación como para test y validación de nuevos materiales o dispositivos."

3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos

El desarrollo de fuentes, comunicaciones y materiales implica de manera directa la exploración de nuevos caminos y retos en otros campos como la fabricación, energía e investigación que a su vez pueden optimizarse a través de la propia tecnología fotónica en sus propios procesos (MANUKET, Plataforma Española de Fabricación Avanzada).

En términos del área de Seguridad, las implicaciones directas con el área de Salud son muy amplias como por ejemplo es el caso de los sistemas para monitorización de biomarcadores basados en sensores de tecnologías fotónicas (FENIN, Plataforma Española de Innovación en Tecnología Sanitaria).

Por último, destacar de nuevo el gran empuje del Big Data, ML/DL o IA que estamos experimentando a todos los niveles y que implica, para su expansión, una mejora en infraestructura digital y plataformas fotónicas entre otros, dada la gran cantidad de datos que pueden verse compartidos, almacenados o procesados. En el caso de sistemas o aplicaciones específicas de seguridad y espacio la relación entre estos desarrollos y los del área de infraestructura y comunicaciones es bidireccional (PAE, Plataforma Tecnológica Aeroespacial Española).

Finalmente, la investigación y formación específica son áreas necesarias en las que colaborar, insistiendo en la importancia de inversiones en este campo con el fin de sentar bases sólidas de conocimiento que permitan al resto de áreas un desarrollo óptimo explorando nuevos caminos y retos que potencien el desarrollo y la mejora en el resto de áreas en términos de tecnologías fotónicas.

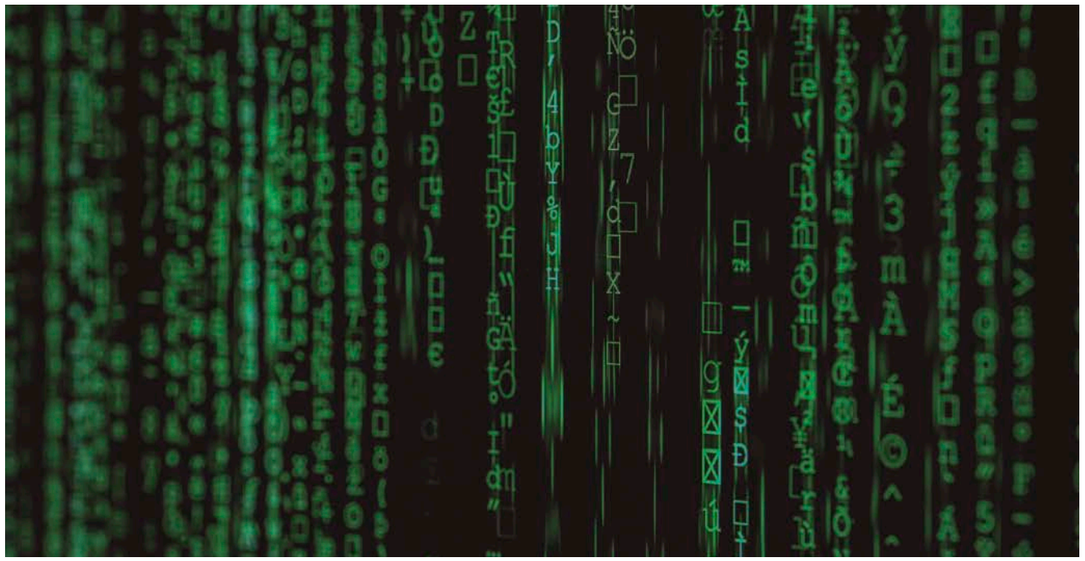


Imagen de Markus Spiske (Unsplash)

6

Agricultura y Alimentación

1. Retos socioeconómicos

A lo largo de la historia, la humanidad ha hecho frente a grandes cambios de diferente tipo, demográficos, económicos, climáticos y tecnológicos, pero el ritmo y la velocidad con la que éstos se producen es cada vez mayor. Algunos de los principales retos socioeconómicos a los que debe enfrentarse en la actualidad son los siguientes:

- Alimentar a una población mundial que se estima alcanzará los 10.000 millones para 2050.
- Mejorar las prácticas agrícolas actuales con nuevas tecnologías que permitan aumentar la producción y reducir el impacto en el medioambiente.
- Mejorar la seguridad alimentaria, la calidad y la transparencia de la cadena de valor.
- Reducir el desperdicio de alimentos durante la producción, procesamiento, distribución y en el punto de consumo.
- Innovar en el sector de maquinaria de procesamiento de alimentos.

Imagen cortesía de AINIA. Dron sobrevolando un arrozal para monitorizar el estado del cultivo mediante un sensor de imagen.

2. Retos de la investigación e innovación en fotónica

La fotónica está jugando un papel clave en muchos de los retos socieconómicos mencionados anteriormente. Las tecnologías fotónicas han evolucionado de manera considerable en estos últimos años en diferentes campos. Se han desarrollado nuevos sensores con mayor resolución y sensibilidad para poder caracterizar y analizar la materia en diferentes bandas espectrales. Se ha combinado la información procedente de este tipo de dispositivos mediante Inteligencia Artificial pudiendo detectar características que antes resultaba impensable medir, se ha avanzado de manera sustancia en la miniaturización de los dispositivos y en la reducción de costes, se han desarrollado nuevos dispositivos de iluminación y excitación de mayor potencia y menor consumo de energía, ha mejorado el rendimiento de los paneles fotovoltaicos reduciendo los costes de producción.

En definitiva, están surgiendo nuevas herramientas y aplicaciones como consecuencia de un gran esfuerzo de investigación e innovación en esta área.

Algunos ejemplos reseñables de los principales retos de innovación en fotónica aplicados al ámbito de la alimentación y la agricultura son:

- Desarrollar sistemas de imagen basados en diferentes tecnologías que incorporen capacidades de análisis avanzadas y que sean robustos en un entorno tan complejo como el agroalimentario por la gran variabilidad biológica que hay.
- Lograr unos costes finales de los productos y servicios basados en tecnologías fotónicas que sean asumibles para el sector primario e influir en que los precios que se pagan a los agricultores les permita invertir en mejoras innovadoras.
- Lograr un equilibrio inteligente con las reglamentaciones y los estándares que ayuden a la hora de adoptar nuevas tecnologías en la industria.
- Apoyar la adopción de tecnología por parte de las explotaciones más pequeñas en el sector primario dando ayudas no sólo a la implantación de soluciones TIC para digitalización, sino también a la adquisición de productos y servicios que permitan mejorar la eficiencia de los procesos de producción.
- Desarrollar sensores de mayor resolución espacial 2D y 3D y espectral que permita mejorar la caracterización de alimentos y la eficiencia de procesos de inspección y control en fabricación y en explotaciones agrícolas y ganaderas.
- Desarrollar técnicas láser que permitan mejorar la calidad y seguridad de los alimentos identificando propiedades y características que, hoy en día, sólo es posible medir de manera manual y en una pequeña muestra por lote.

"Están surgiendo nuevas herramientas y aplicaciones como consecuencia de un gran esfuerzo de investigación e innovación en esta área."

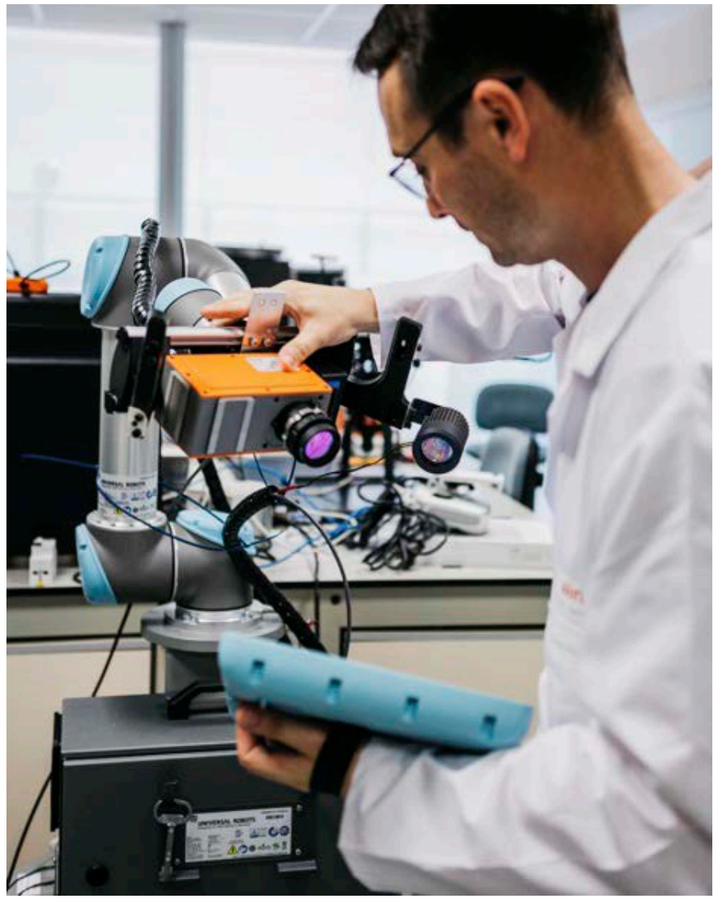


Imagen cortesía de AINIA. Sensor hiperespectral acoplado a un robot colaborativo para inspección de calidad de producto en línea.

- Desarrollar sistemas de iluminación LED que permitan recortar los ciclos de producción vegetal en invernaderos verticales con un ahorro en insumos y energía.
- Mejorar la detección de cuerpos extraños de baja densidad que se puedan incorporar accidentalmente en los alimentos durante los procesos de fabricación empleando dispositivos fotónicos que permitan atravesar las muestras.
- Lograr realizar la detección de patógenos en alimentos de manera rápida y sin necesidad de preparar las muestras o con una mínima preparación para reducir las alertas alimentarias asociadas a contaminación microbiológica y el número de ciudadanos afectados.

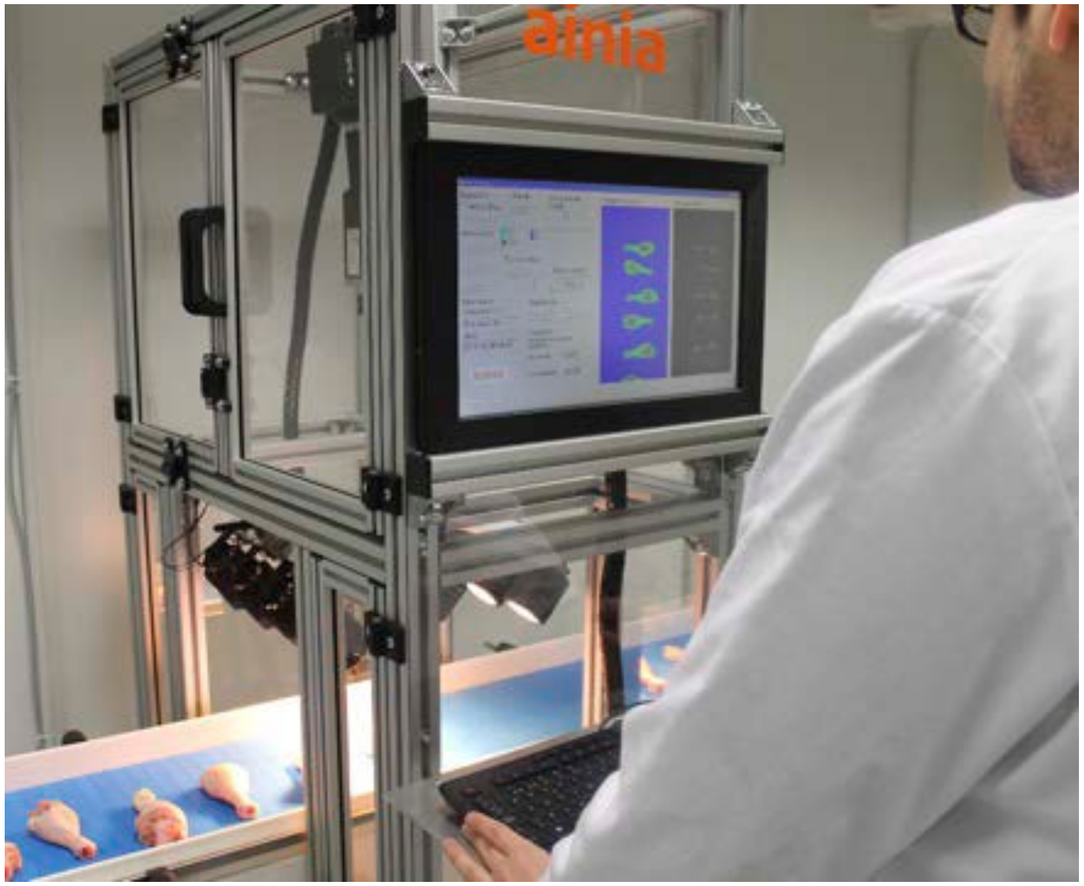


Imagen cortesía de AINIA. Detección de materias extrañas en alimentos mediante imagen.

- Obtener nuevas técnicas de desinfección de productos alimentarios y superficies en contacto con los alimentos mediante la excitación fotónica en longitudes de onda y potencias que reduzcan o eliminen los microorganismos patógenos que pueda haber presentes.
- Desarrollar nuevos dispositivos fotónicos como biosensores ópticos o microsensores de alta resolución que permitan detectar la presencia de contaminantes en alimentos en trazas muy bajas como productos fitosanitarios, toxinas, etc.
- Investigar en el desarrollo de sistemas de detección de fraudes por mezclas de otros alimentos de menor valor o de otra procedencia u origen.

3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos

Los retos de investigación e innovación en fotónica y su aplicación en el ámbito de la alimentación y la agricultura tienen una relación directa con otros campos y áreas que permitirán abordar de manera sinérgica y más eficiente los retos socioeconómicos descritos en el primer punto. A continuación, se enumeran los más destacables:

- Colaboración con todos los campos relacionados con el aprendizaje automático, el análisis de Big Data y la Inteligencia Artificial para extraer el máximo de información de valor posible de los dispositivos fotónicos.
- Colaboración con el grupo de Salud por la aplicación de biosensores y otros dispositivos de detección de contaminantes y patógenos.
- Colaboración con Seguridad y Espacio por el uso de dispositivos fotónicos de doble uso, como es el caso de la teledetección y su aplicación en agricultura.
- Colaboración con Investigación, Educación y Formación para la promoción de proyectos de I+D de investigación básica y aplicada en colaboración con empresas, así como en la capacitación de los profesionales y en el abordaje de retos sociales y de la industria mediante innovación abierta.
- Influir en las autoridades educativas para que actualicen la formación en tecnologías fotónicas en grados y másteres de ingeniería agrícola, agronómica y alimentaria, tal y como ocurre en países referente como por ejemplo Holanda, dado que son la cantera del futuro para el desarrollo del sector y pueden utilizarlas como palanca de transformación y modernización.

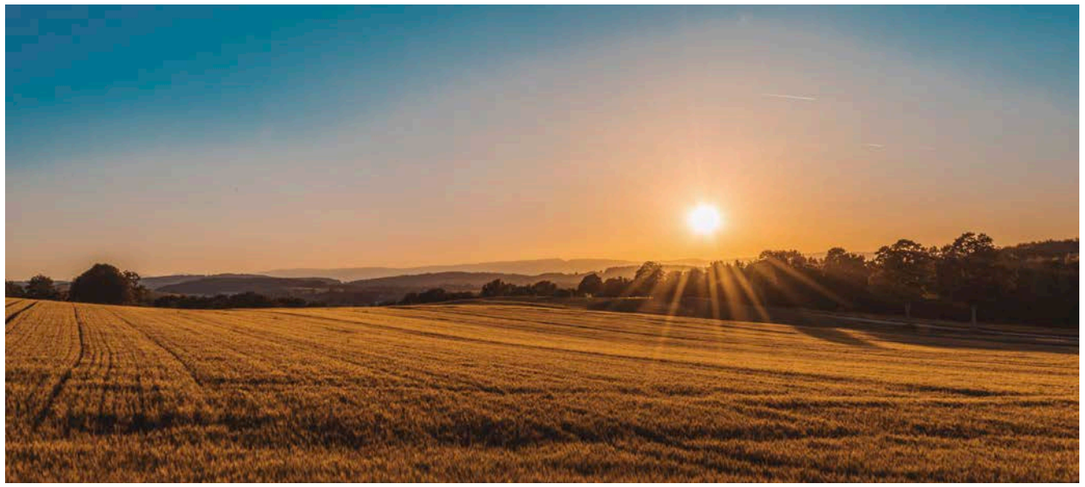


Imagen de Federico Respini (Unsplash)

7

Plataformas fotónicas

1. Retos socioeconómicos

Como se señala en el documento de estrategia de Photonics21 "Era de la luz de Europa", la fotónica desempeñará un papel vital para abordar los problemas clave del futuro inmediato.

Como ejemplos, podemos señalar los siguientes:

- Facilitar la asistencia sanitaria a través del diagnóstico instantáneo de las principales enfermedades.
- Promoción de una vida sana preservando el medio ambiente.
- Facilitar el transporte sin accidentes ni congestiones.
- Permitir la fabricación del siglo XXI utilizando herramientas fotónicas e infraestructura digital habilitada para la fotónica con el fin de crear un millón de nuevos puestos de trabajo.
- Promoción de una alta calidad de vida urbana a través de hogares y ciudades inteligentes.
- Garantizar que nuestra infraestructura digital siga el ritmo de la integración de miles de millones de nuevos dispositivos habilitados para Internet, satisfaciendo nuestras necesidades de información, negocios, finanzas e infraestructura doméstica.
- Mantener el ritmo de la investigación, la innovación y la educación necesarios para que Europa siga ocupando el primer lugar en cuanto a éxito económico y calidad de vida.

"El papel de la actividad de Core Photonics es garantizar que los desarrollos tecnológicos fundamentales estén en su lugar para respaldar estos desarrollos específicos de aplicaciones."

En otros capítulos de esta Agenda Estratégica de Investigación e Innovación, los grupos de trabajo de Photonics21 han establecido su visión sobre cómo se lograrán estos objetivos y la agenda de investigación e innovación que debe abordarse. El papel de la actividad de Core Photonics es garantizar que los desarrollos tecnológicos fundamentales estén en su lugar para respaldar estos desarrollos específicos de aplicaciones y, por lo tanto, brindar soluciones a los desafíos socioeconómicos que enfrentamos.

Durante los últimos marcos, Photonics PPP estableció y llevó a cabo una visión consistente y coherente para las tecnologías habilitadoras. Un elemento central de esta visión ha sido la integración fotónica, es decir, la realización de subsistemas ópticos de alta funcionalidad en un solo chip o en una pequeña cantidad de chips, así como el establecimiento de plataformas tecnológicas sostenibles (líneas piloto de fabricación) para las tecnologías seleccionadas. Estos enfoques ya han dado dividendos significativos al proporcionar la base para los sistemas de comunicaciones de varios cientos de gigabits por segundo de los que depende Internet, abriendo una gran cantidad de oportunidades en otros campos y poniendo tecnologías innovadoras al alcance de las pymes emprendedoras. Estos temas continuarán, pero ahora deben desarrollarse para abarcar una serie de objetivos distintos:

- Funcionalidad mejorada y cobertura espectral, para facilitar nuevas aplicaciones en los campos biomédico, ambiental, industrial, espacio, agricultura; y de detección.
- Desarrollo continuo en el rendimiento para abordar los requisitos cada vez más exigentes de los sistemas de comunicaciones, detección y control, al tiempo que permite nuevas aplicaciones basadas en tecnologías cuánticas y nuevas arquitecturas informáticas, como las redes neuronales o neuromórficas.
- Énfasis en los circuitos y sistemas fotónicos, basándose en la tecnología de integración fotónica en combinación con otros dispositivos fotónicos, como sensores de imágenes, sistemas microelectromecánicos (MEMS), microelectrónica y técnicas de ensamblaje y empaquetado avanzadas para realizar sistemas completos de la manera más eficaz y con bajo coste de producción.
- Inversión continua en plataformas y líneas piloto, para alcanzar las expectativas de desempeño en evolución, cerrar las brechas en las cadenas de suministro y fortalecer la transición a la fabricación a gran escala. Especial énfasis aquí en la sostenibilidad futura de dichas plataformas y líneas piloto, y el fomento de su explotación comercial para garantizar su adecuación a la demanda actual y futura a nivel industrial.

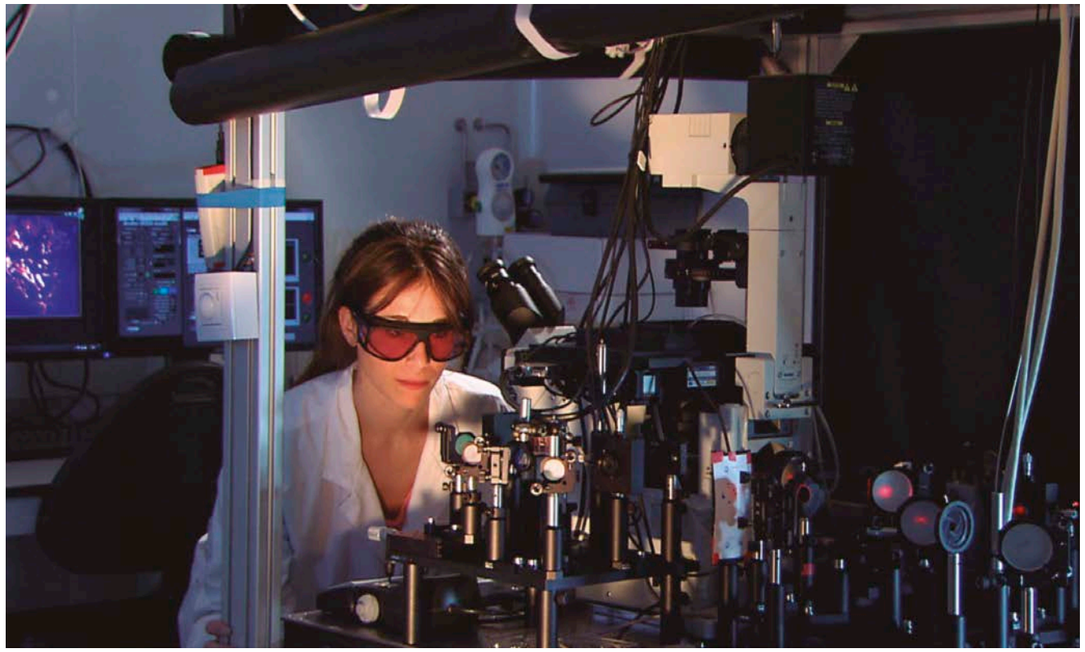


Imagen cortesía de ICFO (Institut de Ciències Fotòniques)

2. Retos de la investigación e innovación en fotónica

Como se señaló anteriormente, debemos aprovechar nuestras fortalezas para desarrollar la tecnología fotónica integrada que se requiere. Vemos desafíos significativos para proporcionar la base técnica a la gama completa de aplicaciones que contemplamos, incluida la detección 3D, LiDAR (el equivalente óptico del radar) automotriz, comunicaciones por encima de 1 Tbit/s por longitud de onda, sistemas fotónicos para soporte de redes de acceso en el contexto de IoT, y la gran cantidad de oportunidades para mejorar la calidad de vida a través de un mejor diagnóstico y una mejor atención médica. Enfatizamos un enfoque unificado siempre que sea posible para administrar los costes del desarrollo de tecnologías avanzadas que sean relevantes en todos los campos clave.

Muchas de las consideraciones anotadas en el capítulo 3.5, Seguridad, Protección, Espacio y Defensa, se aplica a todas nuestras áreas de aplicación específicas. En particular, deseamos enfatizar los siguientes temas subyacentes:

- **Sistemas, no solo componentes:** debemos proporcionar medios efectivos para la combinación de tecnologías para lograr los objetivos generales de los sistemas fotónicos.
- **Miniaturización:** muchas aplicaciones requieren subsistemas muy pequeños para poder integrarse en otros dispositivos como elementos sensores y smartphones.
- **Rentabilidad:** la posibilidad de la integración fotónica para lograr un alto rendimiento a un coste mínimo continuará brindando grandes oportunidades para productos innovadores.
- **Plataformas, más que soluciones individuales:** esta es la clave para conseguir el máximo retorno de la inversión y llegar al mayor número de sectores del mercado en el menor tiempo posible.
- **Robustez y confiabilidad:** muchos sistemas fotónicos se integrarán en sistemas críticos para la seguridad donde la fiabilidad y la resiliencia son obligatorias.
- **Eficiencia energética:** para mitigar el impacto ambiental de la implementación de sistemas electrónicos a gran escala y permitir nuevas aplicaciones que funcionan con baterías o con energía propia.
- **Eco-amigable:** en línea con las prioridades europeas, para preservar y mejorar el medio ambiente.
- **Accesibilidad:** las tecnologías clave de la plataforma deben estar disponibles para el mayor número de usuarios posible a través de medidas tales como líneas piloto de fabricación sostenible.

En los párrafos siguientes, identificamos cuatro temas técnicos principales para la investigación y la innovación, un desarrollo organizativo que hemos denominado "Fábrica de innovación", y una actividad de apoyo, que consiste en desarrollar y mantener hojas de ruta internacionales para tecnologías fotónicas clave, a fin de facilitar las decisiones de inversión de los organismos de financiación y de las empresas por igual.

Circuitos fotónicos integrados (PIC) para sistemas de monitorización/detección

Los sistemas de sensores/seguimiento fotónicos serán vitales para la calidad de vida de todos los ciudadanos de la UE y necesarios para resolver los principales desafíos sociales de la próxima década. Estos incluyen salud/ciencias de la vida (diagnóstico de múltiples analitos en tiempo real, tratamiento fisiológico, guía asistida de realidad aumentada (AR) intervencionista, medicina personalizada, secuenciado de ADN), detección ambiental (Internet de las cosas (IoT), casas/ciudades inteligentes, minería, agua, servicios públicos ecológicos, transporte), fabricación (IoT, Industria 4.0) , agricultura y alimentación (agricultura de precisión, alimentos seguros y saludables con reducción de residuos).

Para todas las aplicaciones anteriores, la atención se centrará en enfoques que permitan la medición de múltiples parámetros simultáneamente, combinados en muchos casos con acceso al mundo exterior o a la muestra que se analiza o trata (órgano en chip, microfluidos). Esto requiere un enfoque de sistemas a un nivel TRL suficiente, altamente integrados en chips (híbridos, heterogéneos u homogéneos), diseñados para una aplicación específica. El enfoque también debe ponerse en plataformas fotónicas ampliamente utilizables configurables mediante adaptaciones de firmware (fotónica definida por software) o personalizables de manera rentable.

Además, la integración de los PIC fotónicos en productos completos debe ser lo más fácil posible, lo que requiere módulos de subsistemas fotónicos completos y autónomos con interfaces de comunicación, control y bus digital adecuadas. Por último, el enfoque se centra en el enfoque de "chiplet", que actualmente es pionero en la industria de la microelectrónica, donde los PIC individuales altamente desarrollados se combinan en un sustrato estandarizado a través de un procedimiento de ensamblaje altamente eficiente y rentable.

Retos de investigación e innovación

- Sistemas de sensor y monitor de imágenes compactos (coherentes o incoherentes) (tomografía de coherencia óptica (OCT), espectroscopia, LiDAR, monitorización de la salud personal, secuenciado de ADN, etc.).

"Uno de los principales desafíos de las aplicaciones innovadoras es el manejo de Big Data. Los datos no solo deben recopilarse y procesarse, también deben transferirse."

- Sistemas compactos de sensores y monitores sin imágenes (diagnósticos de punto de atención (POC), escáneres y sistemas sensores ambientales, redes de sensores en industria, etc.).
- Fotónica para realidad aumentada (no solo para pantallas).
- Láseres de semiconductores y plataformas de integración fotónica para todos los rangos de longitud de onda requeridos, desde el ultra violeta y el visible hasta el infrarrojo medio.
- Integración multitecnología: silicio, nitruro, materiales III-V, grafeno, niobato de litio, electrónica, etc.
- Ensamblado, empaquetado y encapsulado fotónico

Fotónica generalizada en sistemas electrónicos de próxima generación

Uno de los principales desafíos de las aplicaciones innovadoras es el manejo de Big Data. Los datos no solo deben recopilarse y procesarse, también deben transferirse. Hoy en día, un cuello de botella significativo para todas las aplicaciones e industrias y de seguridad de Big Data, incluidas las soluciones basadas en *System-in-Package* y *System-on-Chip,* es la falta de interconexiones que aborden las comunicaciones fuera del chip (chip a chip, entre módulos) o en chip (entre núcleos) con baja latencia, baja potencia, alto ancho de banda y alta densidad El enfoque más prometedor para superar estos desafíos es el uso de la fotónica. Esto será clave para la introducción de tecnologías informáticas disruptivas y nuevas arquitecturas de sistemas, lo que conducirá a soluciones más rápidas, económicas, energéticamente eficientes, seguras y de mayor integración para aplicaciones industriales.Además, será posible la cointegración genérica con otras tecnologías informáticas, a medida que se introduzcan interfaces estándar entre los bloques fotónicos y electrónicos.

Retos de investigación e innovación

El impacto de la fotónica en los sistemas o redes electrónicos, de comunicación (5G) y de computación de próxima generación será doble:

- Resolverá problemas de eficiencia y capacidad en centros de datos, informática de alto rendimiento (HPC) y sistemas electrónicos
- El uso cada vez mayor de tecnologías ópticas dentro de la industria de las TIC brinda una oportunidad clave para limitar el consumo de energía al tiempo que permite un crecimiento masivo de la capacidad de generación de datos. Lograr la integración entre la electrónica y la óptica en un solo módulo de varios chips o chipset será una contribución significativa al desarrollo de sistemas más eficientes y de menor consumo, tanto a nivel de red y centro de datos como a nivel de placa, módulo y chip.

- La cointegración de la fotónica y la electrónica permitirá conmutadores a gran escala y eficientes y transceptores de alta densidad de ancho de banda/baja potencia. Estos son componentes esenciales para resolver los **cuellos de botella de E/S y de conexión cruzada** que se encuentran en las redes de comunicación, los centros de datos y los sistemas informáticos basados en arquitecturas de von Neumann.
- **El enfoque *chiplet*** (es decir, la integración de diferentes circuitos integrados fotónicos y electrónicos en un único módulo) reducirá los costes de fabricación al tiempo que permitirá adoptar la tecnología más adecuada para cada propósito específico. Procurando un alto rendimiento, compacidad, bajo coste y bajo consumo de energía, los componentes en todo el nivel de jerarquía de interconexión no pueden depender de una sola plataforma tecnológica. El objetivo aquí es crear las sinergias óptimas entre diferentes tecnologías, agilizando su implementación más allá de la escala de Tb/s para crear componentes y subsistemas de interconexión óptica de alto rendimiento, bajo coste y bajo consumo de energía. Una "mezcla y combinación" de componentes o bloques de construcción brindará la integración heterogénea óptima y alineará su implementación sinérgica para las necesidades específicas de las funciones individuales. El concepto Multi-Chip-Module, familiar en microelectrónica, se puede extender a los intercaladores fotónicos para interconectar una gran cantidad de núcleos de procesamiento/IP.
- Será apropiado un **enfoque de línea piloto de fabricación** para llevar la integración heterogénea/chiplet a los niveles necesarios de TRL y facilitar la adopción de esta nueva tecnología en los sistemas de producción. Hay que señalar que habrá una necesidad crítica de estandarización de todas las interfaces para esa iniciativa.
- El desarrollo del post-procesado (*back-end*) fotónico será crítico para la caracterización, encapsulado y test de estos sistemas en chip (*system on chip*, SoC) fotónicos basados en *chiplets*. Los mayores desafíos serán el acoplo óptico con tolerancias dos órdenes de magnitud más precisas que en electrónica, la optimización del rendimiento de los procesos de fabricación y encapsulado, y el manejo y análisis de la gran cantidad de datos de test generados.

"Será apropiado un enfoque de línea piloto de fabricación para llevar la integración heterogénea/chiplet a los niveles necesarios de TRL."

- Permitiendo nuevos paradigmas informáticos:
  - Las computadoras digitales convencionales basadas en arquitecturas de von Neumann ahora están alcanzando límites de capacidad de cómputo. Se necesitan nuevos estándares para romper el muro de la eficiencia energética en varios órdenes de magnitud. Las nuevas tecnologías disruptivas (computación cuántica, computación neuromórfica, computación espintrónica y óptica) allanarán el camino para nuevas aplicaciones impulsadas por sistemas ciberfísicos e inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (*machine learning*). Estas tendencias desafían las tecnologías informáticas gracias a:
    - El aumentar del rendimiento a costos aceptables para la computación de alto rendimiento (HPC) y la computación de bajo y ultra bajo consumo.
    - Una mayor integración de los sistemas informáticos en el mundo real.
    - Crear máquinas "inteligentes", y
    - El desarrollo de nuevas tecnologías disruptivas.
  - La **computación fotónica analógica y neuromórfica** proporciona una forma de superar las limitaciones de rendimiento inherentes a las arquitecturas tradicionales de von Neumann. La tecnología de integración fotónica, con altas velocidades de conmutación, gran ancho de banda de comunicación y baja diafonía, ofrece una oportunidad para el procesamiento neuromórfico ultrarrápido, que puede complementar la microelectrónica convencional o neuromórfica (por ejemplo, aceleradores de hardware óptico).
  - La **computación cuántica** promete una forma de computación mucho más eficiente que su contraparte clásica. La construcción de una computadora cuántica óptica escalable requiere cientos de miles de componentes integrados en obleas de silicio que cumplan con los requisitos modernos de rendimiento y escalabilidad. Se necesita una evolución drástica de las plataformas de integración actuales.

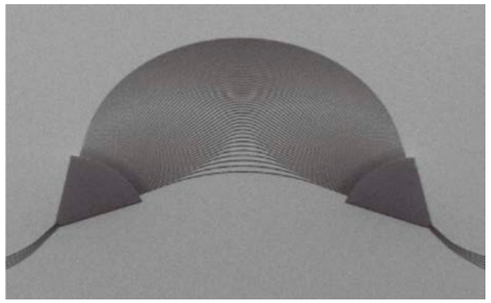
Integración fotónica para las comunicaciones

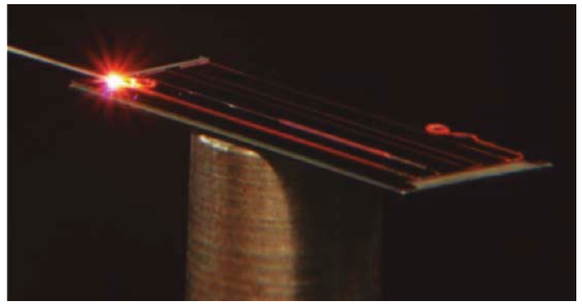
Como se señaló en la introducción, la integración fotónica ha sido y seguirá siendo un habilitador clave para las funciones de comunicaciones, cuya escala va desde los principales enlaces troncales de Internet que se extienden por continentes hasta las interconexiones de corto alcance en sistemas informáticos, centros de datos, instalaciones industriales e incluso equipos de consumo. Es vital que se mantenga el progreso en este campo, fundamental para todo tipo de sistemas en cualquier campo de aplicación.

Retos de investigación e innovación

Podemos encontrar varios desafíos específicos de RIA:

- Fotónica de microondas y tecnologías mixtas de integración analógico-digital para sistemas inalámbricos, de telecomunicaciones 5G y otros.
- PIC de bajo costo y alto rendimiento para la transmisión cualquier distancia a velocidades de datos superiores a 1 Tbit/s, que abarcan formatos de modulación coherentes y avanzados de gran ancho de banda (>40 GHz) y bajos voltajes.
- Integración de interconexión fotónica y encapsulado avanzado al nivel de las placas de circuito impreso, incluida la tecnología de guía de ondas de baja pérdida en vidrio delgado y materiales basados en polímeros, así como interfaces ópticas estándar de alto número de canales para PIC y MCM/basado en *chiplet*. motores ópticos de placa.
- Sustratos de interposición fotónica con guías de ondas ópticas integradas e interfaces de acoplamiento, alta capacidad de enrutamiento eléctrico y densidad de interconexión de paso fino como plataforma para el ensamblaje e integración de *chiplets* a gran escala.
- Soluciones para conectividad óptica de chip a chip y redes en chip.
- Tecnología para comunicación óptica en espacio libre, que complementa las técnicas inalámbricas de RF convencionales para oficinas, industrias y exteriores (por ejemplo, automoción).
- Componentes que admitan un ancho de banda muy amplio en fibra (p. ej., 120-200 nm), que complementen el desarrollo de nuevas tecnologías de fibra óptica que ofrezcan menor latencia, alta estabilidad de fase y bajas pérdidas.
- Diseño sinérgico de subsistemas de comunicaciones que incorporen circuitos microelectrónicos fotónicos y de alto rendimiento, p. ej. utilizando el enfoque de chiplet para la integración híbrida.
- Integración de nuevos materiales (desde materiales 2D como el grafeno, materiales no compatibles CMOS como el niobato de litio o polímeros, hasta sistemas nanomecánicos o materiales de cambio de fase) en tecnologías PIC estándar.
- Láseres de semiconductor de alta potencia (>100 mW) y sintonizables de banda ancha (>40 nm) para su integración en circuitos fotónicos integrados, para aplicaciones de óptica co-encapsulada (*co-packaged optics*) en centros de datos y sistemas de computación de alto rendimiento.





Imágenes cortesía del Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM), CSIC. WDM para comunicación y biosensor de fluorescencia.

Habilitación de componentes para sistemas futuros

Para atender nuestras áreas de aplicación elegidas, nuestras plataformas de integración deben completarse con nuevas funciones y mejoras de rendimiento, lo que requiere en muchos casos el desarrollo de nuevos materiales semiconductores y dispositivos de estructuras innovadoras. También enfatizamos la necesidad de desarrollos en la tecnología de fabricación de dispositivos fotónicos, que incluyen epitaxial, litografía, patrones, fabricación de troqueles y ensamblaje.

Retos de investigación e innovación

Son de destacar los siguientes desafíos clave para la tecnología de dispositivos fotónicos en el próximo marco de investigación e innovación, todos los cuales deben abordarse mediante las actividades de RIA:

- Fuentes de luz de banda ancha ("blanca") para detección.
- Fotodetectores de avalancha de alta sensibilidad (o grupos de fotodetectores) para la detección y la generación de imágenes con baja intensidad de luz.
- Láseres semiconductores de alta eficiencia (alto ancho de banda, alta potencia) que funcionen en varias bandas de longitud de onda y de forma estable a temperaturas extremas (>85 ˚C, <-20°C).
- Láseres de fibra óptica con aplicaciones en sistemas sensores de fibra óptica.
- Incorporación de nuevos bloques de integración, como elementos magneto-ópticos para funcionalidad no recíproca (por ejemplo, aislamiento óptico), manejo de polarización y funciones no lineales.
- Crecimiento epitaxial de estructuras emisoras de luz eficientes sobre silicio, por ejemplo, semiconductores III-V y nanoestructuras de SiGe, y su integración en plataformas fotónicas integradas.

- Desarrollos de tecnologías heterogéneas e híbridas que combinen beneficios clave de diversos materiales, por ejemplo, silicio, semiconductores III-V, polímeros electroópticos, ferroeléctricos, materiales magnéticos, nanoestructuras y estructuras plasmónicas.
- Aumento en la resolución de los desarrollos, hasta escala "subwavelength", mediante nuevos elementos ópticos combinados con láser empleando métodos respetuosos con el medio ambiente, exentos de productos nocivos y de bajo coste energético, combinado con la ausencia de máscaras y sin restricciones de diseño
- Integración electrónico-fotónica.
- Tecnologías de embalaje y montaje escalables, robustas y rentables.
- Integración de materiales 2D y de cambio de fase en fotónica integrada.
- Fotónica de microondas integrada.

Para los desafíos del proceso, remarcamos particularmente la necesidad de dominar el crecimiento y procesamiento de material epitaxial en obleas grandes con calidad mejorada, uniformidad y baja ratio de defectos.

Además de las actividades de investigación e innovación para establecer y probar nuevos conceptos de dispositivos y materiales, será valioso planificar programas en los que se puedan probar y evaluar nuevos equipos y procesos en un entorno de fabricación real, escalable e idealmente abierto.

"La Fábrica de Innovación debería cerrar las brechas en las cadenasde valor fotónicas europeas y establecer mecanismos de acceso fáciles y efectivos para todos los mercados objetivo relevantes."

Fábrica de Innovación Fotónica

Un elemento clave de nuestra estrategia para facilitar la comercialización de los resultados de la investigación y, por lo tanto, obtener los beneficios económicos y sociales mencionados anteriormente, es reducir el umbral de entrada para la fotónica en general y las tecnologías de integración fotónica en particular. Una *Fábrica de Innovación* es una institución virtual que ofrece soluciones para la cadena de valor completa de la fotónica, desde chips hasta paquetes y sistemas.

Combina múltiples instalaciones y tecnologías y aborda una multitud de aplicaciones diferentes. A lo largo de cada cadena de valor, habrá una actividad de investigación y desarrollo preindustrial que conducirá a niveles de desarrollo TRL5-6. Cada cadena de valor también estará conectada a una línea piloto e instalaciones de producción de pre-serie. De esta forma, los clientes potenciales, incluidas las pymes, podrán aprovechar un camino fluido desde el concepto inicial hasta la producción, empleando métodos de fabricación escalables apropiados para la industria y sin tener que preocuparse por las inversiones en fabricación antes de que se pruebe el mercado.

La financiación debe ser compartida equitativamente entre las instituciones contribuyentes (por ejemplo, desarrollar cadenas de valor con muchos miembros) y el cliente final.

Esta nueva forma de cooperación contribuirá significativamente a fortalecer la competitividad internacional de la fotónica europea y de la industria usuaria de la fotónica. También puede constituir una vía de evolución para las líneas piloto y proyectos realizados en el programa Horizonte 2020.

Retos de investigación e innovación

La Fábrica de Innovación debería cerrar las brechas en las cadenas de valor fotónicas europeas y establecer mecanismos de acceso fáciles y efectivos para todos los mercados objetivo relevantes. Esto implica dos pasos:

- Salvar las brechas en las cadenas de valor fotónicas, llevando los procesos fotónicos cuya funcionalidad ya ha sido demostrada (TRL3-4) a una madurez lo suficientemente alta para su implementación en los servicios de fábrica.
- Configurar la Fábrica Virtual. Los pasos clave aquí serán identificar las cadenas de valor más críticas, desarrollar interfaces apropiadas entre los elementos individuales de la cadena (eslabones de valor), implementar la logística entre estos eslabones de valor y definir lenguajes y protocolos de diseño, para lograr una fábrica virtual efectiva y dinámica con una estructura flexible y abierta, que permita una multiplicidad de actores y servicios competitivos y precompetitivos.

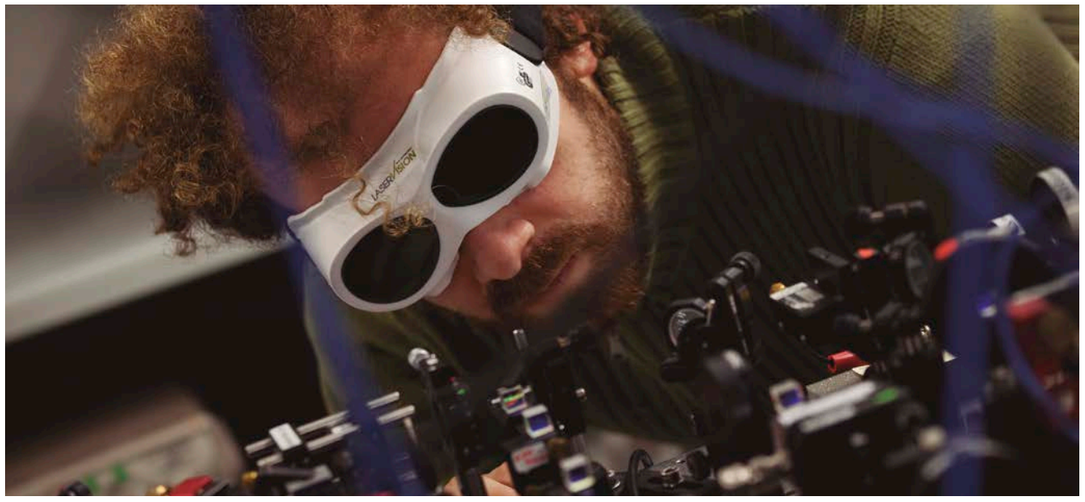


Imagen cortesía de ICFO (Institut de Ciències Fotòniques)

Actividad internacional de hoja de rutas fotónicas

Las inversiones en tecnología fotónica deben estar condicionadas por los requisitos y especificaciones técnicas que deberán cumplirse y los plazos de entrega. Esta información es vital para la aplicación generalizada de la fotónica en todos los campos de negocio. El consenso en toda la industria con respecto a las metas y objetivos proporcionará una base sólida y confiable sobre la cual planificar e invertir.

La hoja de ruta internacional de la fotónica debe ser la referencia para nuestra industria, informando no solo a todos los participantes en la cadena de valor de la fotónica, sino también a las industrias clientes que construirán su éxito sobre la adopción de la tecnología fotónica. Una hoja de ruta sólida proporcionará la base para la confianza en todo el ecosistema necesaria para cumplir con nuestras expectativas de crecimiento agresivo. La hoja de ruta debe cubrir objetivos estratégicos a corto, mediano y largo plazo, para orientar la investigación, el desarrollo de productos y los desarrollos de infraestructura a lo largo del próximo marco de investigación y más allá.

La actividad internacional de hoja de rutas fotónicas prevista aquí facilitará el mismo crecimiento exponencial que se ha experimentado en microelectrónica desde la década de 1970, que ha sido ayudado espectacularmente por la disponibilidad de una hoja de ruta clara adoptada en toda la industria (International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS).

Desafíos de coordinación y apoyo

La hoja de ruta internacional de fotónica debe abordar los dos aspectos siguientes:

- Actividad internacional de elaboración de mapas de ruta que aborda los circuitos y sistemas integrados fotónicos, en relación con la integración de los resultados de la investigación en diversas disciplinas científicas y tecnológicas, y aplicaciones que incluyen centros de datos, telecomunicaciones, industria aeroespacial, automotriz, atención médica, defensa, sector agroalimentario, fabricación industrial, Internet of Things (IoT), nanotecnología, biomedicina y ciencias cognitivas.
- Apoyo a la coordinación de la investigación y la estrategia/política para las actividades de integración fotónica europea.

"El consenso en toda la industria con respecto a las metas y objetivos proporcionará una base sólida y confiable sobre la cual planificar e invertir."

3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos

Dado que la misión de la actividad de *Core Photonics* es proporcionar la tecnología de componentes y sistemas que sustenta todas las áreas de aplicación específicas, nuestra prioridad es mantener la coordinación más estrecha posible con los grupos de trabajo de los desarrollos, de modo que se logre la máxima sinergia y se desarrollen las plataformas. que son verdaderamente ventajosos para todas las áreas deseadas.

Observamos que muchas de las áreas de aplicación requieren una combinación de tecnologías (fotónica con microelectrónica, MEMS/NEMS, microfluídica, materiales 2D, etc.). Por lo tanto, es esencial que hagamos las conexiones apropiadas con los programas de investigación e innovación en estos campos y asegurar que se identifiquen y adopten las soluciones óptimas para la integración de múltiples tecnologías. Los ejemplos específicos incluirán Quantum Flagship y la asociación Key Digital Technologies.

Como línea transversal adicional, se propone asimismo la creación de un directorio de laboratorios, empresas y centros de investigación relacionados con la fotónica, que dispongan de capacidades tecnológicas para abordar algunos de los retos propuestos. De esta manera, el directorio podría servir como núcleo de apoyo a la industria y a la academia, de forma que se puedan localizar potenciales colaboradores con experiencia en proyectos y aplicaciones concretas.

8

Investigación, Educación y Formación

1. Retos socioeconómicos

En una sociedad basada en el conocimiento, la fotónica es un motor importante para innovación y una ciencia emblemática que juega un papel fundamental en la creación y difusión de conocimientos e ideas.

Para explotar al máximo su potencial disruptivo, gobiernos, empresas, educadores/as, estudiantes y ciudadanos comunes de todas las disciplinas necesitan ser cada vez más conscientes de las oportunidades inherentes a la utilización luz para el desarrollo sostenible, el crecimiento económico y el beneficio de la humanidad.

Aunque se han logrado resultados importantes durante Horizonte 2020, y varios proyectos exitosos han aumentado la conciencia general de la omnipresencia de la fotónica y su impacto potencial como impulsor para la innovación digital, la competitividad industrial, el crecimiento económico y bienestar de los ciudadanos, queda mucho trabajo por hacer.

Los desafíos cruciales consisten en atraer a la próxima generación a la Ciencia, la Tecnología y la Ingeniería y Matemáticas (conocidos como STEM, según sus siglas en inglés) y ciencias e ingeniería en Fotónica, así como animar a los/as estudiantes que están finalizando sus estudios a continuar su desarrollo profesional en Fotónica (en academia y en la industria).

"La educación y explotación de la fotónica no debe limitarse a el área de ciencia y tecnología (...) ya que ofrecen oportunidades increíbles en las ciencias sociales, el arte y las humanidades, con un impacto significativo en la vida cotidiana."

Una sociedad basada en el conocimiento con industrias de alta tecnología requiere un personal altamente especializado. La base del conocimiento futuro y la competitividad industrial se basa en currículos adecuados y específicos en todos los niveles educativos em programas de aprendizaje permanente.

La educación y explotación de la fotónica no debe limitarse a el área de ciencia y tecnología. El potencial de la luz y las tecnologías basadas en la luz ofrecen oportunidades increíbles en las ciencias sociales, el arte y las humanidades, con un impacto significativo en la vida cotidiana. La necesidad de abordar áreas de aplicación diferentes e inexploradas requiere, por un lado, la explotación de las tecnologías e instrumentos existentes, y por otro, el desarrollo de nuevos lenguajes y esquemas.

Muchas tecnologías fotónicas y sus aplicaciones han alcanzado la madurez: permiten el diseño, la realización y la explotación comercial de muchos productos innovadores que abordan los principales desafíos sociales que estamos enfrentando. Tienen un considerable efecto multiplicador sobre crecimiento económico en muchos campos. Sin embargo, aún quedan nuevas áreas por explorar. Se deben abordar los nuevos desafíos para crear nuevos conocimientos disruptivos. La investigación fundamental y aplicada será la base para futuros desarrollos tecnológicos que nos permitirá dar respuesta a problemas que hoy no tienen solución.

Los avances en fotónica en los últimos años se han caracterizado por la cooperación activa y continua entre la academia y la industria, y ha demostrado ser una estrategia con éxito. La capacidad de compartir la agenda y las prioridades de investigación serán la clave del éxito futuro. De hecho, se pueden materializar muchas ideas disruptivas en el dominio de la fotónica. La creación de centros de innovación fotónica para implementar la cadena de valor completa, desde la creación de conocimiento hasta explotación del mercado a través de la educación, la investigación y la innovación, nos permite mantener y reforzar la competitividad europea y liderazgo en fotónica y tecnologías habilitadas mediante fotónica. El impacto de la fotónica seguirá siendo fundamental en la creación de nuevos puestos de trabajo.

2. Principales desafíos para la investigación e innovación, y educación y entrenamiento en fotónica

Principales desafíos de investigación e innovación en fotónica

La investigación disruptiva ha demostrado desempeñar un papel importante en el apoyo a la innovación a largo plazo. Los temas con avances significativos y probablemente con gran impacto en el futuro, son:

- La capacidad de **ampliar las funcionalidades y personalizar componentes ópticos** a través de nuevos materiales y nuevo diseño y técnicas de fabricación (materiales 2D, materiales no lineales, Micro y Materiales de nanoingeniería, óptica de forma libre, óptica adaptativa, fabricación avanzada basada en láser, fabricación de resolución nanométrica de bajo coste y procesamiento de materiales, etc.);
- El uso de **características de luz extendidas** (rango de longitud de onda más amplio desde rayos X hasta THz y más allá, potencias extremadamente altas o bajas, pulsos láser ultracortos con unos pocos ciclos ópticos) y la exploración de la interacción radiación-materia en condiciones extremas;
- La capacidad de **miniaturización** de elementos y sistemas ópticos (fuentes, óptica, guías de onda,…) para su aplicación concreta en diferentes áreas, como por ejemplo, las comunicaciones, sensórica, salud o medioambiente,…)
- El uso de **nuevos enfoques,** típicamente pasando de los clásicos interacciones con procesos cuánticos en la generación de luz, manipulación y detección.

"La investigación debe orientarse hacia las misiones impulsadas por aplicaciones donde los descubrimientos pueden generar el cambio de paradigma y establecer una cadena con mayor valor."

Sin embargo, el desafío principal es traducir el nuevo conocimiento que llega de la investigación fundamental al potencial de innovación real, haciéndolo disruptivo. Esto requiere un enfoque doble. Por un lado, requiere un cambio de mentalidad: la investigación fundamental ya no debería ser considerada como una prioridad independiente, en su lugar debe ser dirigida hacia las necesidades y retos tecnológicos a los que se enfrenta la industria fotónica, así como las industrias que están habilitadas por, o pueden beneficiarse de la fotónica. La investigación debe orientarse hacia las misiones impulsadas por aplicaciones donde los descubrimientos pueden generar el cambio de paradigma y establecer una cadena con mayor valor.

Por otro lado, existe la necesidad de crear un ecosistema adecuado que permite que las nuevas ideas se prueben de manera factible y se lleven a un nivel TRL suficientemente alto para que la industria sostenga los desarrollos siguientes. Para lograr este objetivo deben establecerse, una red de instalaciones flexibles y versátiles a nivel estatal, para ser integradas en Centros de Innovación Fotónica.

Idealmente, los centros deben realizarse cubriendo toda la cadena de valor, desde investigación disruptiva e instalaciones de bajo TRL, a través de incubadoras de PYME para líneas piloto para la explotación pre comercial. Los programas de educación y entrenamiento junto con las instalaciones adecuadas, deben ser un elemento esencial en el eje innovador español.

Principales desafíos de educación y capacitación en fotónica

La fotónica necesita convertirse en una disciplina generalizada en todos los niveles de educación y formación profesional. Esto debe de comunicarse de manera clara a toda la población y a los políticos utilizando una correcta información. De hecho, la sensibilización, la concienciación y el desarrollo de habilidades son vitales para la explotación exitosa del enorme potencial de las tecnologías fotónicas en una sociedad digital. La plataforma Fotónica21 que incluye a los principales investigadores/as y educadores/as en fotónica está en posición de ser un agente aglutinante y coordinador de las actividades educativas a nivel nacional.

Nuevos retos

Las habilidades para una futura fuerza laboral de fotónica tienen que ser definidas, y se debe dar la formación adecuada. Se deben tomar medidas a diferentes niveles con un enfoque español, pero con vocación paneuropea:

- La formación académica y profesional en fotónica debe ser una prioridad tanto en los currículos STEM y en otros campos educativos.

Sigue siendo un reto visibilizar la tecnología y aplicaciones fotónicas entre los/as estudiantes de bachiller y universitarios/as que, al no ser conscientes del impacto de la tecnología, desestiman la inclusión de la misma en su currículo. Los programas de difusión (*outreach*) entre las personas jóvenes cobran especial relevancia y tendrán un impacto positivo tanto en sus carreras profesionales como en la industria y la sociedad;

- Se debe abordar la generación de nuevas profesiones que generan el cambio tecnológico y la digitalización de la sociedad. Se trata de nuevas profesiones que no tienen visibilidad. Para el caso de la Fotónica algunos ejemplos pueden ser "Capacitación profesional en seguridad láser" o "Experto en manejo de imágenes".
- Se debe estimular la movilidad de los/as estudiantes y de los/as trabajadores/as, ya que el conjunto de habilidades requerido a menudo es altamente especializado, con habilidades educativas y las necesidades industriales a menudo no están alineadas geográficamente;
- El mundo académico debería establecer programas de aprendizaje a lo largo de toda la vida para necesidades de la industria, principalmente para las PYMES, ya que muchas veces carecen recursos internos para la formación. Se debe orientar una rama formativa a programas de fotónica adecuados para empresas que no son especialistas y que pueden beneficiarse de la adopción de tecnologías fotónicas;
- Las habilidades digitales deben ser parte de todos los programas para permitir la plena explotación del potencial de la fotónica en la innovación digital;
- Se debe estimular la mentalidad emprendedora y de innovación para maximizar el impacto de las tecnologías recién descubiertas;
- Debe abordarse y valorarse la necesidad de un enfoque interdisciplinario entre las KETs, por ejemplo, mejorando la visibilidad de la fotónica en currículos relacionados, como química, ingeniería eléctrica e ingeniería biomédica.
- En el ámbito de la formación profesional, el esfuerzo debe incorporarse para la formación en aspectos más prácticos, y explorar la formación dual con contenido fotónico.

Se necesita sacar provecho a nivel europeo de programas exitosos establecidos durante Horizonte 2020 para la divulgación hacia mentes jóvenes y estudiantes profesionales y el público en general. Deben existir infraestructuras adecuadas, las mejores prácticas deben ser compartidas, y la educación y la formación el material debe actualizarse y difundirse continuamente. Para permitir esto de manera sostenible, es necesario establecer una red de instituciones a nivel nacional, pero con

proyección europea dedicadas explícitamente a la divulgación de la fotónica a todos sectores de la sociedad, incluidos los/as estudiantes, los/as ciudadanos/as y la industria.

Otro desafío clave es llegar activamente a las iniciativas de la industria digital apoyando de la digitalización de las pymes fotónicas (y no fotónicas); la contribución de la Fotónica a la transformación digital de los trabajos tradicionales debe validarse adecuadamente.

3. Necesidades de cooperación con otras disciplinas y campos

La fotónica es una tecnología habilitadora clave y una ciencia que fomenta la innovación en una futura sociedad digital que apoye la sostenibilidad desarrollo tanto para una sociedad mejor y más segura como para el bienestar de nuestros ciudadanos. Necesita cooperar con otras disciplinas y campos, en particular con otras KETs previamente establecidas, a saber, micro y nanoelectrónica, materiales avanzados, nanotecnología, biotecnología y manufactura avanzada.

La fotónica es el núcleo de muchas nuevas disciplinas emergentes y una tecnología integral a desarrollos como inteligencia artificial, robótica y tecnologías cuánticas. De hecho, sólo combinando el potencial disruptivo de todas estas disciplinas, se pueden lograr importantes avances y todos los desafíos pueden abordarse adecuadamente. Se deben prever programas y acciones de trabajo interdisciplinario para fomentar la creación de conocimiento transversal y la cooperación efectiva. Es vital para cualquier desarrollo futuro el fortalecimiento de vínculos con excelentes programas científicos (acciones ERC y MSCA) y acciones FET-Flagship para favorecer la transferencia de nuevas ideas potencialmente disruptivas a la cadena de valor tecnológica.

"La fotónica es el núcleo de muchas nuevas disciplinas emergentes y una tecnología integral a desarrollos como inteligencia artificial, robótica y tecnologías cuánticas."

Se debe crear una asociación sólida con las partes interesadas y los formuladores de políticas que establecen las prioridades para los desafíos sociales. Por supuesto, centrándose en objetivos específicos a medio y largo plazo y las megatendencias del mercado, se logrará fomentar la innovación real y se estimulará el desarrollo de nuevas tecnologías y productos.

Más allá de las aplicaciones finales donde la fotónica tradicionalmente ha exhibió un papel significativo (TIC, producción industrial, ciencias de la vida, iluminación), hay que abordar nuevos campos emergentes como la automoción y la movilidad conectada, la agroalimentación, el medio ambiente limpio y sostenible, la preservación y el aprovechamiento del patrimonio cultural, las casas inteligentes y la vida urbana de alta calidad. Un enfoque tan amplio ayudará a dirigir los desarrollos tecnológicos y maximizar su impacto general, fomentando así la explotación óptima de un enfoque KET.

Agradecimientos

GT1 Infraestructura Digital:
Ignacio Garcés (I3A, Universidad de Zaragoza)

GT2 Fabricación:
Carles Oriach (MONOCROM)

GT3 Salud:
José Luis Arce (Universidad de Cantabria)

GT4 Clima, Movilidad y Energía:
Santiago Royo (CD6, Universitat Politècnica de Catalunya)

GT5 Seguridad y Espacio:
Ana Manzanares (GREENLIGHT SOLUTIONS)

GT6 Agricultura y Alimentación:
Ricardo Díaz (AINIA)

GT7 Plataformas Fotónicas:
Javier Gamo (Fábrica Nacional de Moneda y Timbre)

GT8 Investigación, Educación y Formación:
Santiago M. Olaizola (CEIT-IK4)

Adolfo Cobo (Universidad de Cantabria)
Aitor García de la Yedra (LORTEK)
Alastair Cunningham (ICFO)
Alberto Garmendia (DELASER)
Alejandro Martínez Abiétar
(NTC, Universitat Politècnica de Valencia)
Alicia Pons (IO, CSIC)
Ana Villacampa (EURECAT)
Andres Márquez (Universidad de Alicante)
Andrés Ruiz Quevedo
(Fábrica Nacional de Moneda y Timbre)
Antonio Fernández-Caballero
(Universidad de Castilla-La Mancha)
Antonio Marquina (Universitat de València)
Asier Villafranca (ARAGON PHOTONICS)
Beatriz Cerrolaza (ALISE DEVICES)
Blas Garrido (Universitat de Barcelona)
Borja Vidal (Universitat Politècnica de València)
Carlos Domínguez (IMB-CNM, CSIC)
Carlos Sánchez Somolinos (Universidad de Zaragoza)
Carmen Vázquez García (Universidad Carlos III de Madrid)
Crina M. Cojocaru (Universitat Politècnica de Catalunya)
David Cardador (Mapsi Photonics SL)
David Castrillo (HAMAMATSU)
David Ortiz de Zárate (NTC, Universitat Politècnica de València)
David Sánchez Montero (Universidad Carlos III de Madrid)
Demetrio López (ALTER TECHNOLOGY)
Eduardo Margallo (OMMATIDIA LIDAR)
Eduardo Sahuquillo (IBSA LASER)
Eduardo Selma (VLC Photonics)
Elvira Moreno (MULTISCAN)
Enrique Artacho (ANDALTEC)
Enrique Ataulfo Tahajuerce (Universitat Jaume I)
Eugenia Martínez (EURECAT)
Eusebio Bernabéu (Universidad Complutense de Madrid)
Eva Gómez Fenés (Universidad Carlos III de Madrid)
Félix Fanjul (Universidad de Cantabria)
Fernando López Martínez
(Universidad Carlos III de Madrid)
Fernando Mirapeix (AVANCEM ENGINEERING)
Fernando Moreno (Universidad de Cantabria)
Francisco J. Huertos (LORTEK)

Francisco J. Madruga (Universidad de Cantabria)
Francisco M. López Torres (ARAGON PHOTONICS)
Germán Francisco De La Fuente (Universidad de Zaragoza)
Gonzalo Wangüemert (Universidad de Málaga)
Gregorio Azcárate (PROMAX)
Guillermo Carpintero (Universidad Carlos III de Madrid)
Guillermo José Escobar (Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética, PTE-EE)
Guillermo Orellana (Universidad Complutense de Madrid)
Guillermo Sánchez Plaza (NTC, Universitat Politècnica de València)
Ignacio de Miguel Jiménez (Universidad de Valladolid)
Ignacio Esquivias (Universidad Politécnica de Madrid)
Ignacio Moreno (Universidad Miguel Hernández)
Iñaki Álvarez (CIUDEN)
Iñigo Artundo (VLC PHOTONICS)
Íñigo Molina (Universidad de Málaga)
Jaime García Rupérez (NTC, Universitat Politècnica de València)
Jaume Castellà (CD6, Universitat Politècnica de Catalunya)
Javier Alda (Universidad Complutense de Madrid)
Javier Hernández-Andrés (Universidad de Granada)
Javier Larrañeta (Plataforma Tecnológica Española de Seguridad Industrial, PESI)
Javier Moreno (LIDAX)
Javier Pérez (ICIQ)
Javier Renau (CSIC)
Javier Rodríguez Vázquez Aldana (Universidad de Salamanca)
Jesús Aivar (LIDAX)
Jesús Delgado Alonso (ARQUIMEA)
Jorge Omar Cáceres (Universidad Complutense de Madrid)
José A. Lázaro (Universitat Politècnica de Catalunya)
José Antonio Lázaro Villa (TSC, Universitat Politècnica de Catalunya)
Jose Blasco-Ivars (CIGR)
José Lens (DAISALUX)
José M. Sánchez Pena (Universidad Carlos III de Madrid)
Joseba Bilbatua (Plataforma Tecnológica Española de Fabricación Avanzada, MANU-KET)
Josefina Garrido (CETEM)
Josep M. Fabrega (CTTC)
Josep M. Serres (EURECAT)
Juan Antonio Vallés Brau (I3A, Universidad de Zaragoza)
Juan Carlos Martín Alonso (Universidad de Zaragoza)
Juan Navarro Arenas (NTC, Universitat Politècnica de València)
Julio Serna Galán (Universidad Complutense de Madrid)
Lluis M. Torner (ICFO)
Luis Miguel González (INTA)
Luis Portolés Griñan (AIDIMME)
Luis Roso (CLPU)
Luis-Guillermo Gerling (ICFO)
M. Isabel Salas (NTC, Universitat Politècnica de València)
Manuel Caño (Universidad Politécnica de Madrid)
Manuel Espínola (INDO)
Manuel López-Amo Sainz (Universidad Pública de Navarra)
Manuel Sánchez de la Asunción (AIDIMME)
Manuela Cano (ANDALTEC)
Maria Morant (NTC, Universitat Politècnica de València)
Maricio Rico (CLPU)
Markus Wilkens (VDI)
Michela Svaluto (CTTC)
Miriam García (LORTEK)
Olga Conde (Universidad de Cantabria)
Pablo M. Romero (AIMEN)
Rafael Bueno Barbeyto (NTC, Universitat Politècnica de València)
Ramon Vilaseca Alavedra (Universitat Politècnica de Catalunya)
Roberto Llorente (Universitat Politècnica de València)
Román Montalvo López (NTC, Universitat Politècnica de València)
Rosa M. Sánchez (SECPHO)
Rubén Alemany (ITEAM, Universitat Politècnica de València)
Rubén Pérez-Aranda (KDPOF)
Ruth Diego (CIUDEN)
Salvador Ponce (NTC, Universitat Politècnica de València)
Sergi Ferrando (ICFO)
Sergio Sáez (SECPHO)
Silvia Carrasco (ICFO)
Silvia Santos (ALUMISEL)
Sonia Martín López (Universidad de Alcalá de Henares)
Sonia Pérez (GREENLIGHT SOLUTIONS)
Stefano Chiussi (Universidad de Vigo)
Tatiana Alieva Krasheninnikova (Universidad Complutense de Madrid)
Teresa Molina (CANDELTEC)
Thierry Robin (TEMATYS)
Tomás Belenguer (INTA)
Vicente Fort (ITENE)
Víctor González (NEXT LIMIT)
Victor Herrero (ICFO)
Víctor Jesús Gómez Hernández (NTC, Universitat Politècnica de València)
Xavier Ventura (PROMAX)
Yolanda González Diez (CSIC)

2022

Agenda estratégica

de Investigación e Innovación
de la Fotónica en España

Ayuda PTR2020-001189 financiada
por MCIN/AEI/10.13039/501100011033

fotónica21
Plataforma Tecnológica Española de Fotónica

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

AGENCIA
ESTATAL DE
INVESTIGACIÓN