FOTÓNICA21: Agenda Estratégica de Investigación 2011

Valencia, Noviembre 2011

1. INTRODUCCIÓN 6
2. TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN 10
2.1. Descripción de la situación. 10
2.2. Los retos de I+D+i para la Fotónica de las TIC. 12
2.3. Redes de acceso: Redes ópticas para móviles (RoF), Redes del hogar (Home networking), FTTH, Redes SOHO (Small Office/Home Office) y CPDs 14
2.4. Redes de acceso 15
2.5. Redes de transporte 16
2.6. Análisis de la realidad española 17
2.7. Resumen 18
ANEXO 1 20
ANEXO 2 22
ANEXO 3.Análisis DAFO: La I+D en Fotónica de TIC en España. 23
3. PROCESOS DE FABRICACIÓN INDUSTRIALES 24
3.1. Introducción 24
3.2. Tendencias generales y retos de futuro 24
3.3. La posición de España 26
3.4. Descripción del estado del sector 28
3.5. Aplicaciones láser y calidad 31
3.6. Retos tecnológicos e Investigación 33
3.7. Discusión 34
ANEXO. Análisis DAFO: La I+D en Fotónica de los procesos de Fabricación en España. 35
4. CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA SALUD 36
4.1. Objeto 36
4.2. Visión general del mercado, principales tendencias, actores y retos 36
4.3. Posición de la tecnología en Europa y España 36
4.4. Retos tecnológicos y áreas de investigación prioritarias para España 37
4.5. Impacto en el mercado, objetivos a medio plazo 38
4.6. Resumen ejecutivo. Conclusiones y recomendaciones clave 38
ANEXO. Análisis DAFO: La I+D en Fotónica de las Ciencias de la Vida en España. 39
5. ILUMINACIÓN Y DISPLAYS 40
5.1. Objeto 40
5.2. Visión general del mercado 40
5.3. Posición de la tecnología en Europa y España. 41
5.4. Retos tecnológicos y áreas de investigación prioritarias 43
5.5. Impacto en el mercado 44
5.6. Conclusiones y recomendaciones clave 45
ANEXO. Análisis DAFO: La I+D en Fotónica de la Iluminación y los Displays en España. 46

6. SEGURIDAD, SENSORES Y COMPONENTES 47
6.1. Objetivo 47
6.2. Visión 47
6.3. Principales áreas de actividad y valor añadido. 48
6.4. Impacto 49
6.5. Rol de la UE 50
6.6. Socios e infraestructura 50
6.7. Diseño y fabricación de componentes y sistemas ópticos 51
6.8. Las principales áreas de Ciencia y Tecnología 51
6.9. Resumen ejecutivo. Conclusiones y recomendaciones clave 54
ANEXO. Análisis DAFO: La I+D en Fotónica de la Seguridad, los sensores y los componentes ópticos en España. 55
7. INVESTIGACIÓN DE FRONTERA, FORMACIÓN E INFRAESTRUCTURAS 56
7.1. Introducción 56
7.2. Recursos humanos 56
7.3. Innovación 57
7.4. Divulgación y difusión 57
7.5. Redes de investigación 57
7.6. Instalaciones para la investigación 58
7.7. Resumen de Recomendaciones 58
ANEXO I 60
ANEXO II 70

Estimados colegas,

Como Presidente de la Plataforma Tecnológica Española de Fotónica, FOTÓNICA21, tengo nuevamente el placer y el privilegio de introducir esta versión actualizada de la Agenda Estratégica de Investigación en su tercera edición. Ésta es fruto del trabajo continuo y dedicación de los miembros de esta Plataforma, con el fin de trasladar la visión estratégica de las tendencias de la Fotónica que el tejido innovador nacional identifica a todo órgano u administración responsable del impulso tecnológico e innovador que nuestro país necesita. Ahora con las vistas puestas en la preparación de las bases del Desarrollo empresarial y competitivo para los próximos diez años (Horizon2020, EEI,…), pilares para la implantación de un modelo de crecimiento económico sostenido y sostenible es más que nunca necesario aportar una visión nítida, justificada y argumentada de las capacidades nacionales en nuestro campo con el fin de mostrar "los mimbres" que nuestras Administraciones disponen para armar la mejor estrategia de desarrollo económico basado en una innovación que sea competitiva, la mejor manera de que la tecnología contribuya al crecimiento del PIB nacional.

Desde el punto de vista organizativo, el documento presenta dos partes diferenciadas; una primera más "operativa", resultado de los trabajos de análisis y prospección de los grupos de trabajo que componen esta Plataforma. La segunda, más enfocada a resumir las conclusiones y recomendaciones que estos grupos identifican y elevan para la implantación eficaz de toda actuación en el marco de la Fotónica encaminada a mejorar la competitividad del sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa.

Esperando que la dedicación encomiable de los miembros de la Plataforma, y plasmada entre otras iniciativas en la redacción y mejora continua de esta Agenda, pueda aportar su contribución al impulso tecnológico y competitivo de nuestro estado español, se despide cordialmente:

-Jorge Julián Sánchez Martínez-

1. INTRODUCCIÓN

Apostar por la Fotónica no es poner un pie en la puerta del futuro, sino construir el edificio cuya entrada es esa puerta

La Fotónica es la disciplina científica que se ocupa del aprovechamiento de la luz, incluyendo la generación, detección, transmisión, control y manipulación de los fotones, las partículas elementales de la luz.

Hoy en día, las aplicaciones de la Fotónica están por doquier a nuestro alrededor. Desde las aplicaciones del láser en la industria a las redes de telecomunicaciones de alta capacidad, desde el diagnóstico no invasivo de enfermedades hasta la iluminación de nuestras casas, desde la detección remota de elementos peligrosos hasta la fabricación de componentes de micro y nanoescala, son aplicaciones de la Fotónica que ya se ha convertido en realidades cotidianas.

La Fotónica se está convirtiendo rápidamente en un pilar fundamental en los avances científicos y tecnológicos de nuestro tiempo en áreas muy diversas siendo, por tanto, un vector fundamental para el posicionamiento futuro de empresas y países. De la misma forma que la electrónica evolucionó rápidamente a partir de la invención del transistor en los años 1940, se espera que la Fotónica siga la misma pauta en las próximas décadas, influyendo en distintos aspectos de nuestras vidas, revolucionando la industria y la sociedad[1].

En España la Plataforma Tecnológica FOTÓNICA21, desde su creación en 2007, es el foro que articula el sector: aunando la visión de futuro y las prioridades en la innovación, desde la I+D hasta las aplicaciones; siendo punto de encuentro de todos los actores de este ámbito, propiciando encuentros con otros sectores; y promoviendo, como fin último, la generación de proyectos y riqueza estableciendo relaciones entre la oferta y la demanda de tecnología.

La situación de la Fotónica en España es fiel reflejo de la realidad empresarial del país. Existe un importante número de empresas de pequeño tamaño con gran capacidad tecnológica que operan con las grandes empresas usuarias nacionales e internacionales, siendo éstas últimas, en su mayoría, proveedoras de servicios a la sociedad, los cuales se ven continuamente reforzados con la visión innovadora de estas PYMES. En efecto, éstas son generadoras activas de conocimiento, tecnología y riqueza, pero dado su pequeño tamaño tienen dificultades evidentes para competir en el mercado internacional, aunque sus productos sean de altísimo nivel. De igual modo, una gran cantidad de grupos de investigación son generadores de conocimiento de primer nivel mundial.

Durante los próximos meses, desde la plataforma FOTÓNICA21, se realizará un estudio sobre el impacto económico que la Fotónica tiene actualmente en la economía española para determinar cuál es su peso en el PIB nacional y su potencialidad de crecimiento y generación de riqueza en el futuro próximo. Este estudio permitirá establecer por vez primera una fotografía real del sector en España, su composición y sus potencialidades tecnológicas y económicas.

Desde el mundo Fotónico se está convencido que esta tecnología será parte fundamental de grandes innovaciones en los más diversos sectores productivos y será, por tanto, una de las herramientas para el lanzamiento de aplicaciones y productos exitosos en el futuro próximo. **Por tanto, existe el convencimiento de que España debe**, **como ya ocurre en los países más avanzados de nuestro entorno y propicia la propia Comisión Europea**, **sumarse a la consideración de que la Fotónica es una de las tecnologías clave para el futuro**, constituyendo herramientas de apoyo a la I+D y la innovación tecnológica del sector. En los países de referencia, el apoyo a la generación de conocimiento y adelantos tecnológicos es firme, y cuenta con programas de apoyo específicos para este fin.

---

[1] PHOTONICS – Our Vision for a Key Enabling Technology of Europe. Published by the European Technology Platform Photonics21. 2nd edition, May 2011.

❖ El entorno internacional.

Cuando se habla del entorno tecnológico actual no se puede centrar el análisis sólo en el contexto nacional. Se debe entender que, a nivel de I+D, los resultados tienen que estar necesariamente orientados a la generación de productos o procesos del alcance global que hagan competitivas a nuestras empresas.

De acuerdo con la declaración de Lund[2] de Julio de 2009, en opinión del panel de expertos de la Comisión Europea, Europa debe enfocar sus esfuerzos decididamente hacia la resolución de los grandes retos de nuestro tiempo si quiere recuperar su competitividad perdida. Aquellas compañías que aporten soluciones a estos *grand challenges* serán las que logren una mejor posición competitiva en un contexto de mercados globales. El cambio climático, los problemas de calidad de vida causados por el envejecimiento poblacional, la competitividad de la industria europea, la brecha digital o la seguridad interna y de fronteras son los grandes retos a abordar en los próximos años y decenios.

Como paso decisivo para afrontar los retos del futuro, la Comisión Europea ha definido, como marco estratégico global en I+D, las cinco tecnologías habilitadoras clave para el futuro de Europa[3], *Key Enabling Technologies* (KET), tecnologías cuyo desarrollo será el corazón de cientos de aplicaciones y productos que permitirán a la economía europea mantener su posición competitiva frente a otras potencias y países emergentes.

Estas cinco tecnologías son: nanotecnología, micro/nanoelectrónica, Fotónica, materiales avanzados y biotecnología. Además de ellas se ha considerado también como fundamental los avances en fabricación avanzada que permitan convertir en productos o aplicaciones reales los resultados de estas 5 KET. Como indica su propia definición, el avance y progreso de las KET propiciará la aparición de herramientas que facilitarán el avance de aplicaciones y sistemas en casi cualquier sector industrial. Estas tecnologías básicas estarán en el corazón de los sistemas usados en el día a día, tanto en la industria como en el hogar o el entretenimiento.

Este reconocimiento de la Fotónica se refleja, por una parte, en la aceptación del potencial desarrollo, durante los próximos años, de las tecnologías relacionadas y, por otra, la potenciación de esta temática en las convocatorias de I+D del presente y venideros programas marco.

Estudios realizados por la Plataforma europea de Fotónica, Photonics21, muestran que la cuota europea del mercado mundial de la Fotónica es del 25%, con una industria dominada por PYMES. El estudio muestra que la influencia de la Fotónica en relación con el resto de la economía europea es muy importante; Sobre 20% -30% de los ámbitos de la economía europea basan su competitividad en la Fotónica y 1 de cada 10 trabajadores europeos utilizan la Fotónica en sus actividades diarias[4].

La propuesta presupuestaria que la Comisión Europea ha planteado a finales de 2011 para el nuevo programa marco de I+D 2014-2020, Horizon2020, refleja claramente esta relevancia de la Fotónica.

Algunos datos sobre la propuesta de la Comisión Europea para el programa Horizon2020.

- 80.000 millones de euros para investigación, desarrollo e innovación, frente a los 56.000 millones del FPVII.
- Un paquete para el conjunto de las KET con un presupuesto de 6.663 millones de euros. De estos la Fotónica y la Nanoelectrónica, recibirían1.795 millones de euros en total, por lo que serían las más favorecidas.
- Nuevas potenciales acciones de Public Private Partnership (PPP) se consideran en la propuesta. La Fotónica es actualmente la única candidata a constituir una PPP. con una contribución prevista por parte de la industria de 5.000 millones de euros.

Por tanto, si la propuesta de la Comisión es aceptada, existe una oportunidad importante para participar en proyectos de excelencia en Fotónica y prepararse para la transferencia posterior de los resultados a la industria. Esta potencialidad no es solo de futuro, en las próximas convocatorias de la Comisión

[2] http://www.se2009.eu/polopoly_fs/1.8460!menu/standard/file/lund_declaration_final_version_9_july.pdf
[3] Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU"{SEC(2009) 1257}
[4] "The Leverage Effect of Photonics Technologies: the European Perspective". Potonics21. March 2011

Europea, para 2012 y 2013, ya hay temáticas y referencias expresas a la Fotónica y al resto de las KET, lo que implica que hay oportunidades ahora mismo que debemos aprovechar.

❖ Las aplicaciones que vienen. Impacto futuro de la Fotónica

Como ya se ha explicado, es comúnmente aceptado que las empresas que dispondrán de mayores oportunidades de éxito en los próximos años serán aquellas que den respuesta a grandes retos, esto es, lancen aplicaciones y soluciones que mejoren los aspectos clave de la sociedad.

TIC – Cubriendo la agenda digital

El avance en las infraestructuras futuras de internet con capacidad multi-terabit vendrá acompañado de nuevos y sofisticados productos y servicios que, explotando esta conectividad, impactarán en todas las áreas de la sociedad. Además, mediante la utilización de nuevos conceptos de Fotónica se espera conseguir una reducción drástica en los consumos energéticos de los sistemas de telecomunicación futuros, así como un aumento de su seguridad. Aplicaciones audiovisuales sobre cualquier formato o dispositivo, inmersivas, en línea, personalizadas, de alta definición, interactivas, bajo demanda y de 3D que aprovechen estas altísimas capacidades de transmisión llegarán a los hogares y negocios en los próximos años aprovechando las infraestructuras *FTTH* (Fiber to the Home), las filosofías inalámbricas *Gigabyte everywhere* o el desarrollo de *POF* (Plastic Optical Fibers) para las redes domésticas de gran capacidad.

Procesos industriales – Mejora de la competitividad en Europa

Las tecnologías Fotónicas de fabricación resultarán estratégicas para el futuro de la industria y su competitividad, como ya lo están siendo. Herramientas de fabricación como el láser permiten automatizar procesos de forma flexible, produciendo componentes y productos de extraordinaria calidad. La tendencia a la personalización y la creciente importancia del diseño industrial, como se ha podido observar en la electrónica de consumo, requerirá de nuevos métodos que permitan nuevas geometrías y capacidades de fabricación por lotes, así como de nuevas herramientas de metrología y control en tiempo real que permitan la fabricación con cero defectos. La flexibilidad inherente de la herramienta láser la convierten en la elección ideal para satisfacer estos requisitos. Además, ventajas como el no desgaste de herramienta y la integración de sistemas de monitorización y control basados en técnicas de sensado fotónico inteligente, permitirán alcanzar una producción con cero defectos, aspecto que repercute directamente en un incremento de la calidad y reducción de deshechos.

Los retos de desarrollo futuros se enfocarán en ampliar el rango de aplicación de las tecnologías de producción con láser. Algunas oportunidades realistas son: la conversión de energía, la electrónica, los materiales híbridos, las construcciones ligeras, la personalización masiva e inmediata, las tecnologías de impresión, la microfabricación, el rapid manufacturing y el marcaje de productos. Las fuentes de emisión ultravioleta generadas por láser serán la herramienta necesaria para la miniaturización futura y reducción de costes de la microelectrónica. Además, dada la forma precisa, controlable y localizada de aportar la energía, los procesos láser contribuyen, por si mismos, a obtener una fabricación “verde”.

Salud y biotecnología – Aplicaciones para una población que envejece.

En el ámbito de la salud, uno de los objetivos básicos es pasar de los costosos tratamientos post-detección de las enfermedades a la detección y prevención temprana que aumentarán las probabilidades de supervivencia de los pacientes. Así mismo, se necesitarán tratamientos menos agresivos que reduzcan significativamente los inconvenientes post-tratamiento. También se podrán emplear métodos quirúrgicos menos invasivos, basados en instrumentos miniaturizados y/o automáticos que localizarán y extirparán completamente los tumores. Las técnicas foto-quirúrgicas empleando sustancias fotosensibles avanzarán considerablemente.

Se espera que la detección temprana de tumores y otras patologías sea mejorada mediante el desarrollo de nuevos sensores y técnicas multiespectrales e hiperespectrales de microscopía y espectroscopia, así como, de técnicas ópticas tomográficas y de nuevos sistemas endoscópicos y sondas de fibra óptica, que permitirán realizar el diagnóstico a nivel celular o tisular. Muchos procesos actuales mejorarán y permitirán, por ejemplo, la medida funcional en tiempo real de muestras biológicas tridimensionales. Nuevas técnicas de captura y procesado de imagen menos invasivas y con menor necesidad de radiación se desarrollarán como integración de técnicas Fotónicas y no Fotónicas.

Las técnicas de micro y nano fabricación y microfluídica permitirán diagnosticar enfermedades mediante biodispositivos integrados, *Lab on a Chip,* que realizarán análisis y detección con métodos no o

mínimamente invasivos, con sensores fotónicos y ultra sensibles. Permitirán monitorizar simultáneamente un gran número de parámetros del paciente, allí donde esté.

Medio ambiente y cambio climático – Iluminación para ciudades inteligentes

La integración de dispositivos fotovoltaicos de nueva generación, nuevos materiales fotónicos (orgánicos, inorgánicos procesados en disolución etc.) y sistemas digitales de control adaptativo de iluminación en edificios y ventanas, junto con las nuevas fuentes de iluminación, propiciarán edificios y ciudades que generarán más energía que la que consuman, *positive energy communities*. La iniciativa europea *Smart Cities* va en esta dirección y pretende la creación de ciudades sostenibles mediante la incorporación de sistemas de ahorro y control energético, entre otros aspectos.

En iluminación se alcanzarán muy reducidos consumos energéticos gracias al empleo de tecnología digital, nuevos emisores como los LED u OLED, al mismo tiempo que se integrarán sensores y se emplearán microprocesadores para dotarlos de "inteligencia".

Los sensores fotónicos en general y, las técnicas de imagen en particular (convencional, multiespectral e hiperespectral) contribuirán a la conservación del medioambiente mediante la detección avanzada y precoz de contaminantes, al mismo tiempo que proporcionarán niveles más elevados de seguridad mediante el empleo de sofisticados métodos de supervivencia y de detección de sustancias ilegales.

Los sistemas de fabricación láser permitirán que la tecnología empleada en la fabricación de células fotovoltaicas sea más eficiente y respetuosa con el medio ambiente a través de la implantación de nuevas técnicas de soldadura, microestructuración… Los productos resultantes serán más eficientes tanto en coste como en prestaciones, dando lugar a nuevas aplicaciones y mayor penetración en el mercado.

Seguridad y defensa

La seguridad, tanto desde el punto de vista militar, aplicaciones para defensa, como civil, es una de las prioridades de las autoridades, que han visto como las amenazas para los ciudadanos, los bienes y los intereses de los países se han hecho más difusas e impredecibles.

En el terreno del sector defensa, el control de fronteras tienen una importancia capital y es en estas aplicaciones donde las tecnologías espectrales y multiespectrales con avanzados sistemas de procesado de imagen tienen un campo de aplicación importante, si bien la penetración en este dominio es compleja. La protección de infraestructuras críticas y el soporte al despliegue de contingentes en entornos urbanos o zonas de catástrofes son campos abonados para el desarrollo de sensores fotónicos que permitan, por ejemplo la detección de explosivos; o sistemas LADAR, por ejemplo para la identificación de componentes agresivos en zonas de despliegue.

La vigilancia de fronteras exige controlar unos terrenos de grandes dimensiones, por lo que un despliegue de infraestructura fija podría resultar extremadamente costoso por su volumen y las obras civiles necesarias debidas a la orografía del terreno. Por esta razón, los sistemas de vigilancia basados en vehículos aéreos no tripulados, UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*), se han convertido en una alternativa muy interesante. El UAV dispondrá de las cabezas sensoras necesarias (cámaras de visión nocturna, sensores térmicos, etc.…) que generen los datos que serán procesados a bordo en un primer nivel y enviados vía satélite a un centro de control terreno. La sensorización Fotónica de UAV es uno de los campos de mayor efervescencia en esta área en los próximos años, como consta en la Estrategia de Investigación para la Defensa, publicada por el Ministerio de Defensa español.

La seguridad civil tiene así mismo problemas no resueltos en los que la incorporación de sensores y sistemas de procesado de imagen convencional o hiperespectral tienen mucho que aportar. El control e identificación de pasajeros en transporte público, la vigilancia y detección de elementos extraños en entornos urbanos o la monitorización de la seguridad en infraestructuras (por ejemplo grandes plantas petroquímicas) son solo ejemplos de los problemas que aún están por resolver.

2. TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

2.1. Descripción de la situación.

❖ La Fotónica en las TIC

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) son la base de la última gran revolución económica de nuestra sociedad. Su aparición y popularización en las tres últimas décadas ha supuesto una modificación del modelo social tan profunda como en su día lo fueron la aparición de la máquina de vapor o de los medios de transporte.

El papel principal que en las TIC juega la Fotónica hoy en día, y va a seguir jugando, es el de "transportador" de la información. Aunque en otras labores tales como captación y almacenamiento de información también su papel es significativo, sin duda el transporte de datos y su gestión, en un sentido amplio, es su principal actividad y vía de desarrollo.

Por tanto, **la Fotónica tiene como misión ineludible propiciar el incremento de la capacidad, la fiabilidad y la penetración de las TIC, mediante el desarrollo de infraestructuras de transporte y acceso más rápidas, más dinámicas, más transparentes y que consuman menos energía**.

Una característica primordial de este tipo de tecnologías es que sus ciclos económicos (desarrollo-implantación-explotación-obsolescencia) son muy cortos, por lo que es imprescindible una labor continua de innovación en equipos y componentes.

❖ El enfoque de Europa

Las TIC están consideradas por la Unión Europea (UE) un elemento imprescindible en el crecimiento inteligente, sostenible e integrador necesario para mejorar nuestra sociedad, y declara que la Fotónica jugará un papel primordial en la TIC como **responsable del acceso, transporte y gestión del flujo de información**, calificándola como una de las cinco actividades científico-tecnológicas fundamentales que permitirán alcanzar una economía sostenible y con proyección de futuro (KET - Key Enabling Technology).[5]

Por otra parte, el documento de la CE: Una Agenda Digital para Europa, establece claramente cuál va a ser el marco en el que las actividades de I+D+i de las TIC deben desarrollarse. En dicho documento se pone de manifiesto que, en el sector TIC, Europa sigue:

- invirtiendo poco,
- fragmentando sus esfuerzos,
- infrautilizando la creatividad de las PYME, y
- fracasando en su empeño por transformar la ventaja intelectual de la investigación en la ventaja competitiva de unas innovaciones basadas en el mercado.

Sin embargo, la única actuación técnica concreta contemplada por la CE en dicho documento es la invitación que hace a los estados miembros a crear demostradores en los que probar la viabilidad de las nuevas tecnologías y su repercusión en los servicios sociales de las TIC.

Ejemplos de este tipo de demostradores son las denominadas Smart-Cities, de las que Smart-Santander es un ejemplo (liderado por Telefónica), o proyectos como el FI-WAVE, que pretende profundizar en las aplicaciones urbanas de Internet (liderado por Telefónica I+D).

❖ El Reto

Como se ha dicho, el principal reto al que se enfrenta la Fotónica de las TIC es **conseguir que el ancho de banda accesible deje de ser una limitación en el servicio de las TIC**.

---

[5] http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/key_technologies

Si bien este criterio ha sido, y seguirá siendo, variable a lo largo de la historia de las telecomunicaciones, hoy en día se considera que un límite racional de las necesidades domésticas de ancho de banda se sitúa entre los 100 y 200 Mbps.

Este ancho de banda, que es técnicamente accesible para un número de usuarios limitado, resulta un reto importante cuando se pretende aplicar al conjunto de la sociedad[6]

Para lograr su objetivo, la Fotónica debe trabajar en tres aspectos básicos:

- Facilitar el acceso a la red óptica de los usuarios finales, auténticos generadores y consumidores de la información, garantizando los anchos de banda demandados.
- Soportar la agregación en las redes de transporte metropolitanas e interurbanas de las necesidades de anchos de banda precisos.
- Gestionar el encaminamiento y control del transporte de la información y su calidad en la capa físico-óptica de dichas redes.

La Fotónica no es la única tecnología responsable del buen funcionamiento de este transporte, pero si es el principal candidato a ocupar el liderazgo y, si no hay sorpresas tecnológicas, el más eficiente desde el punto de vista energético.

❖ Proyección de la Fotónica en las TIC

La disponibilidad de ancho de banda es entendida hoy como la auténtica piedra angular de las telecomunicaciones. Se pretende ofertar a los usuarios tasas de bits 1000 veces superiores a las disponibles en la actualidad con tecnología no basada en FO. Esta perspectiva exige intensos esfuerzos y continuos avances en una serie de ámbitos científicos y tecnológicos tales como:

- Nuevas arquitecturas ópticas para redes de transporte que permitan la explotación eficiente de la mayor cantidad de ancho de banda disponible con un bajo costo de operación de las redes y elevado nivel de seguridad.
- Nuevas arquitecturas ópticas para redes de acceso. No sólo los grandes enlaces interurbanos y metropolitanos se beneficiarán de los desarrollos de la Fotónica. Poder poner a disposición del usuario final, o en su proximidad, la información requerida es un reto, ya que su coste actual y la dificultad de su materialización son un fuerte impedimento para un despliegue más rápido y eficaz.
- Nuevas técnicas ópticas para el procesamiento y gestión de señales en los nodos de red y terminales de usuario. Las técnicas de procesado óptico de señales son potencialmente varios órdenes de magnitud más rápidas que las conseguidas mediante procesado electrónico. Esta alternativa tecnológica permitirá disponer de tasas de transporte efectivas muy por encima del Terabit por segundo con una reducción significativa de las cifras de consumo de energía de las redes.
- Interconexiones ópticas. La Fotónica también será clave para el futuro de las telecomunicaciones de datos a corta distancia. La cantidad de información que se intercambia hoy en día ya está creando limitaciones reales en los centros de proceso de datos (CPD) modernos. La incorporación de miles de servidores ha provocado la necesidad de transferencia de grandes cantidades de datos que necesitan inevitablemente de conectividad a través de interconexiones Fotónicas.
- Redes del hogar ópticas. Se considera necesario el desarrollo de infraestructuras baratas y fáciles de instalar tanto en edificaciones nuevas como en remodelado de construcciones existentes. Las redes basadas en fibras ópticas de plástico (POF) se postulan como la mejor alternativa frente a otras opciones “new wires” basadas en cobre, como son los cableados Cat 5/6, a la hora de dar mayores anchos de banda y calidad de experiencia (QoE) de opciones “no new wires” como son el WiFi o el PLC (Power Line Communications).
- Redes mixtas Radio-Fibra. La compenetración de tecnologías ópticas con otras de distinta naturaleza (p. ej. inalámbricas) ofrece potencialidades de crecimiento y eficacia significativas. Las redes móviles de comunicaciones futuras (4G…) trasladan el cuello de botella del ancho de banda a las estaciones de las celdas base, que deben ser capaces de trasladar estos altos anchos de banda

[6] Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

(> 1Gbps) a la red troncal de forma eficaz. A este respecto, la fibra óptica se muestra como el medio de transmisión ideal.

- Los nuevos materiales y tecnologías de integración para componentes y subsistemas fotónicos. De una manera similar a lo sucedido en la electrónica, la integración Fotónica representa una vía para el desarrollo de circuitos fotónicos y subsistemas capaces de soportar funcionalidades avanzadas, fiables y económicas.
- Nuevos enfoques para aumentar la capacidad de las fibras ópticas, tales como:
    - Nuevos soportes físicos (fibras de núcleos múltiples,…)
    - Nuevas técnicas de multiplexación (por modos,…)
    - Nuevos formatos de modulación…

2.2. Los retos de I+D+i para la Fotónica de las TIC.

A la vista de lo expuesto, la I+D+i Fotónica de las TIC debe enfocarse principalmente en las siguientes áreas de actividad:

- el acceso de las redes a los usuarios,
- el transporte de la información, y
- la gestión de dicho transporte.

Con el objetivo final de reducir el coste real por bit transportado procurando que las redes sean[7]:

- más rápidas,
- más dinámicas,
- más transparentes, y
- más eficientes energéticamente.

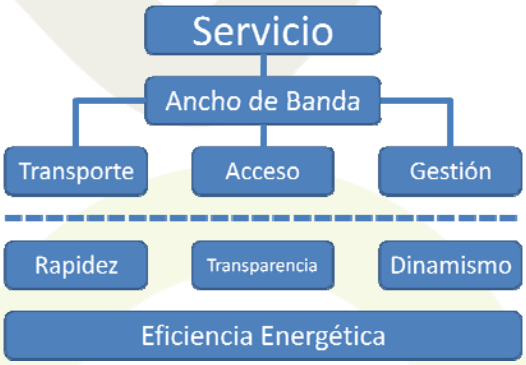

Fig. 2.1: Retos de I+D+i para la Fotónica en las TIC

❖ **Redes ópticas más rápidas.**

El consenso de la industria mundial de las telecomunicaciones es que la demanda de ancho de banda seguirá creciendo a un ritmo exponencial y que esta demanda incesante por parte de los servicios está impulsando la necesidad de redes ópticas más rápidas.

Para ello resulta imperativo desarrollar una nueva generación de sistemas, subsistemas y componentes que ofrezcan tasas de transmisión de 40 Gbps, 100 Gbps y superiores de forma rentable, tanto económica como energéticamente.

Se han realizado numerosas demostraciones en laboratorio y en campo de tecnologías de 40 Gbps, 100 Gbps, etc… pero ninguna se ha aproximado a la reducción de los costes necesarios para su implantación comercial rentable.

[7] Photonics21, SRA Work Group 1

El aumento de la complejidad conforme aumenta la tasa de datos, los problemas de dispersión, el consumo de energía y otros muchos factores (incluyendo la disminución de la distancia de enlace conforme aumentan las tasas de transmisión) contribuyen a un aumento en los costes de transporte en comparación con el uso de la actual tecnología de DWDM de canales de 10 Gbps. El enfoque de la investigación en este campo debería, por lo tanto, tener como objetivo una sustancial reducción de los costes.

El objetivo debe ser conseguir que el transporte mediante canales de 40 Gbps reduzca los actuales costes de transporte de canales de 10 Gbps, lo que significa una reducción de, al menos, cuatro veces en el actual coste por bit de dichos sistemas.

Las industrias de componentes y sistemas son los principales agentes de este crecimiento y de la creación de riqueza, potencialmente inmensa, que lleva asociado. Sin embargo Europa ya se está quedando atrás en la definición y desarrollo de sistemas y tecnología para el transporte de 100 Gbps (en España apenas existe soporte para su desarrollo, ni industrial ni investigador, pero si demanda por parte de los operadores).

Una alternativa para España sería que "una gran empresa" (como Telefónica) ejerciera un efecto tractor realmente eficaz de las pequeñas empresas españolas del sector de las TIC"8.

	Retos tecnológicos	Áreas de Investigación
Transporte	- Convergencia dinámica de redes y enlaces. - Respuesta de la red a las demandas del tráfico fluctuante. - Protección y restauración. - Implementación de nuevo equipamiento.	- Previsión y reconfiguración de alta velocidad. - Algoritmos de enrutamiento y del plano de control. - Aprendizaje, descubrimiento de recursos y reconfiguración automática exclusivamente Fotónica. - Ancho de banda variable. - Cross-connects ópticos. - Adición y extracción de sub canales en señales multi-proveedor. - Conmutación óptica de paquetes. - Conmutación fluida.
Acceso		- Integración opto-Fotónica: uso de la electrónica para mejorar el funcionamiento y las funcionalidades de las funciones Fotónicas a coste marginal.

Tabla. 2.1: Retos tecnológicos / Áreas de Investigación

❖ **Redes ópticas más dinámicas.**

El dinamismo está relacionado con la posibilidad de la red óptica de controlar y gestionar los flujos de información de forma automática y dinámica. Con ello se pretende restaurar las conexiones en caso de fallo del equipo, tanto por motivos de explotación, mantenimiento o bajo petición del cliente. Esta capacidad repercutiría en una mayor protección de la red. A más largo plazo, una red verdaderamente ágil debería disponer de procedimientos de auto-aprendizaje de los recursos disponibles.

La introducción de tecnología óptica de cross-connect (interconexión cruzada) es uno de los primeros requisitos para obtener el dinamismo de la red de transporte deseado.

Pero el dinamismo también requiere software de supervisión y control de la red. En cada nodo, se debe manejar la configuración de los equipos de cross-connect ópticos, especialmente el encaminamiento

8 Cristina Garmendia, Ministra de Ciencia e Innovación. 5ª Conferencia del VII Programa Marco de I+D de la Unión Europea en España. San Sebastián. 20/06/11.

(que longitud de onda de una fibra de entrada va a determinada fibra de salida) y la ecualización (la potencia de una determinada longitud de onda debe ajustarse al camino elegido en cada caso).

Para conseguir este dinamismo se precisa obtener y gestionar los parámetros de control de la señal adecuados que permitan a los componentes fotónicos determinar rápidamente los algoritmos de encaminamiento óptimos.

El dinamismo será también un elemento clave para las futuras redes de acceso óptico al permitir el suministro a los usuarios finales de flujos de información variables, que pueden combinarse con la asignación dinámica de ancho de banda en tiempo, en longitud de onda e, incluso, en sub-portadora.

2.3. Redes de acceso: Redes ópticas para móviles (RoF), Redes del hogar (Home networking), FTTH, Redes SOHO (Small Office/Home Office) y CPDs

Si bien la Fotónica encuentra algunas de sus aplicaciones más exigentes en las redes de acceso y metropolitanas, en las que se conectan equipos situados a muchos kilómetros de distancia, también es una tecnología clave en las comunicaciones de corto alcance utilizadas para interconectar dispositivos dentro de una misma zona, hogar, oficina, sala o edificio. Enlaces de fibra óptica también se utilizan masivamente en la actualidad en diferentes tipos de redes dedicadas (RoF, FTTH…), de datos de área local (LAN) y de almacenamiento (SAN).

En estos entornos, las conexiones varían en longitud, desde unos pocos metros hasta pocos kilómetros y las tasas de transmisión de datos por conexión se situarán, en un periodo de cinco a diez años, en el rango de los Gbps para, redes celulares, oficinas y SOHOs y Tbps para CPDs.

En estos entornos juega un papel importantísimo tanto la rentabilidad económica como la sencillez de instalación y la reducción drástica del consumo de energía.

Posibles temas de I + D en este campo incluyen:

- el acceso a los puntos de conexión necesarios (estaciones base, rosetas, ONTs…)
- el aumento de la velocidad por canal de los actuales 10 Gbps a 100 Gbps o superior.
- la transmisión por canal en paralelo basada en TDM y/o WDM
- el incremento del ancho de banda con soporte de fibras multimodo y de plástico (POF).

	Retos tecnológicos	Áreas de Investigación
Transporte	- Convergencia de fibra óptica con sistemas inalámbricos - Reducción de las transiciones O-E-O - Operación sobre distintos tipos de fibra SM. - Tasa de transmisión variable. - Tráfico multi-operador y multi-servicio - Asignación dinámica de recursos	- Convergencia de redes. - Nuevas arquitecturas de redes. - Redes malladas transparentes - Formatos de datos: QPSK, SCM, OFDM. - Coherencia y uso de DSP. - Incremento del alcance. - Redes de acceso de largo alcance - Diseño de enlaces - Bypass óptico. - ROADM de nueva generación - Procesado totalmente óptico (regeneración y conversión de portadoras)
Acceso	- Convergencia de fibra óptica con sistemas inalámbricos. - Convergencia de redes metropolitanas y de acceso FTTH.	- Integración de procesamiento completamente óptico. - Modulaciones RoF y dRoF.

Tabla. 2.2: Retos tecnológicos / Áreas de Investigación

❖ **Redes ópticas más transparentes.**

El potencial de las tecnologías Fotónicas para manipular la luz sigue estando, en gran medida, sin explotar. Su desarrollo beneficiará tanto a las redes de transporte como a las de acceso, al permitir que diferentes tasas de transporte, distintos formatos de modulación y variados estándares de radio puedan viajar simultáneamente a través de una misma infraestructura de fibra. Una mayor transparencia repercutirá muy positivamente en los costes de explotación de las redes.

En el caso ideal, un flujo de datos ópticos viajaría desde el nodo de entrada a través de varios nodos intermedios alcanzando su nodo de destino sin necesidad de conversión electrónica a lo largo de la ruta.

En el caso de redes interurbanas de gran distancia, esta flexibilidad requerirá de nuevos componentes (fibras…) y diseños de los enlaces, con el objeto de mitigar los problemas asociados a la dispersión y al incremento de ruido en la señal.

Las interacciones entre señales de diferente velocidad, viajando a través de distintos tipos de fibras, provocará la aparición de nuevas alteraciones en la propagación (sobre todo debido a efectos no lineales) que deben ser caracterizadas y controladas. También tendrá que ser contemplada la evaluación precisa de las distorsiones generadas en los nodos transparentes: interferencia, filtrado… Consecuentemente, todos los parámetros empleados para evaluar el rendimiento (OSNR, DC, PMD…), tendrán que ser redefinidos a la vista de la nueva realidad.

La convergencia de redes metropolitanas y de acceso podría facilitarse si la agregación y distribución de señales fueran realizadas por medios ópticos.

La transparencia tiene la ventaja adicional de contribuir a la creación de redes más eficientes energéticamente, sin disminuir su flexibilidad y agilidad.

	Retos tecnológicos	Áreas de Investigación
Transporte	- El aumento de la velocidad de transmisión desencadena un sustancial aumento del consumo energético. - Previsible aparición de limitaciones debidas a OSNR y otros fenómenos. - Disponibilidad y evolución de la tecnología de componentes. - Tecnología de procesado DSP tanto Soft como Hard. - Operación sobre distintos tipos de fibra SM.	- Transmisión espectral eficiente. - Formatos de modulación DQPSK, OFDM. - Detección Coherente - 100 Gbps - Acceso óptico de 10 Gbps - Tecnología de procesado DSP tanto Soft como Hard. - Gestión de efectos no lineales. - Corrección de errores anticipada - Etherner de 1 – 10 Tbps.
Acceso	- El aumento de la velocidad de transmisión desencadena un sustancial aumento del consumo energético. - La sustitución de los enlaces de cobre por ópticos puede ser ligeramente traumática. - Escalabilidad.	- Integración de Fotónica y electrónica. - Láseres de alta velocidad de modulación interna o externa. - Procesado integral de la señal. - Disminución de los costes por bit a niveles competitivos.

Tabla. 2.3: Retos tecnológicos / Áreas de Investigación

❖ **Redes ópticas más verdes.**

El consumo de energía de las redes de comunicación se encuentra fuertemente condicionado por la arquitectura existente.

Las propiedades fundamentales de la luz permiten que la información sea guiada con muy bajas pérdidas y su uso en la conmutación permitiría reducir significativamente el consumo energético. De hecho, la tecnología Fotónica tiene el potencial de contribuir sustancialmente a la lucha contra el cambio climático mediante la reducción de la demanda de energía del sector de las TIC.

Para conseguir una mejora significativa, la eficiencia energética debe ser incluida desde el principio como un criterio indispensable en el diseño y evaluación de nuevas arquitecturas de redes.

2.4. Redes de acceso

Una red de acceso óptico optimizada tendría un impacto significativo en la eficiencia energética de la red global. Los requisitos que deben cumplirse son:

- ✓ un mayor alcance (del orden de 100 kilómetros, frente a los actuales 20 km),
- ✓ un mayor ancho de banda por usuario (en el rango del Gbps, frente a los actuales 100 Mbps obtenidos en FTTH), y
- ✓ el uso de tecnologías ópticas simples y pasivas (en la medida de lo posible).

La Fotónica es la única tecnología de transmisión conocida capaz de cumplir con estos requisitos. Las redes FTTX están siendo implementadas actualmente. La sustitución de soluciones DSL mediante técnicas ópticas reduce, además, el consumo de energía en el acceso y en las redes internas. Nuevas técnicas y criterios de despliegue y planificación para redes FTTH son necesarias para proporcionar una solución apropiada a las diferentes condiciones de cada realidad.

El actual modelo de PON y FTTH aún no debe considerarse definitivo, y la investigación en topologías pasivas debe ser prioritaria en el caso de España, tanto por sus repercusiones industriales como sociales, evitando dejar la elección del modelo en manos de los agentes (operadoras) y evitando, de este modo, que se pierda el carácter abierto que debe regir su diseño

2.5. Redes de transporte

Las redes de transporte, por su parte, ya utilizan la transmisión óptica en gran medida, pero todavía hay una necesidad de mayor capacidad y mejora de la eficiencia energética.

Una visión de la futura red de transporte es el de una red de transporte de paquetes, optimizado en costes y energía, con un rendimiento escalable hasta 100 Tbps.

Al igual que en la red de acceso, el número de elementos de red (routers, switches…) debe reducirse aún más, para lo cual es imprescindible poder tener enlaces más eficientes y con mayor BL (Ancho de Banda x Longitud).

La integración de tecnologías Fotónicas e inalámbricas es prometedora. Están apareciendo nuevas técnicas para la generación y distribución de señales de microondas que podrían reducir sensiblemente las necesidades energéticas de los sistemas de 3G/4G, en base, por ejemplo, a una mayor densidad de micro-células de baja potencia en entornos urbanos, donde la estructura arquitectónica penaliza a los modelos basados en nodos de antenas centralizados.

	Retos tecnológicos	Áreas de Investigación
Transporte	- Balance energético total del transporte extremo a extremo. - Balance entre la eficacia espectral y la disipación energética por bit. - Existencia de conversores O-E-O. - Traslado de las necesidades energéticas al borde de la red. - Eliminación de estructuras de transporte de propósito específico	- Dispositivos sin refrigeración y de alta temperatura de trabajo. - Minimización de la disipación energética. - Estrategias del ahorro de energía en base a nuevos procedimientos. - Dispositivos pasivos, en particular a los situados a nivel de calle. - Implementación de bypass de tráfico usando tecnologías ROADM. - WDM-PON de largo alcance. - Integración Fotónica. - Arquitecturas de red energéticamente eficiente con enfoque extremo/extremo. - Diseño de redes energéticamente planificada.
Acceso	- Eficiencia en la conversión O-E-O - Existencia de conversores O-E-O - Mejora de la eficiencia de los conversores O-E-O basados en óptica comercial de alto consumo (LEDs) - Aumento de las longitudes de enlace manteniendo el link power Budget y el BER con fibras POF y optoelectrónica comercial.	- Integración electrónica – Fotónica: uso de la electrónica para compensar derivas térmicas, reducción de la figura de ruido y aumento del ancho de banda de los dispositivos de conversión O-E-O. - Disminución del consumo energético por bit para competir con los enlaces de cobre. - Transceptores integrados de bajo coste. - Moduladores, ecualizadores y codificadores integrados de bajo consumo energético y alta eficiencia espectral. - Conectores ópticos para POF que no precisen de terminaciones especializadas y que sean de bajo coste y alta fiabilidad.

Tabla. 2.4: Retos tecnológicos / Áreas de Investigación

2.6. Análisis de la realidad española

❖ La Brecha Digital

Como se ha comentado ampliamente, los servicios de la "sociedad de la información y del conocimiento" se suministran a los usuarios a través de conexiones de Internet de banda ancha. Su importancia ha llegado a ser tal que el acceso a la red es considerado actualmente como un derecho de todos los ciudadanos.

La velocidad y la calidad de estas conexiones pueden tener una gran influencia en la capacidad de las personas y comunidades para ser competitivas. Las áreas con una débil penetración de la banda ancha pueden llegar a tener una desventaja significativa con respecto a zonas con servicios de alta calidad. Este fenómeno es conocido como brecha digital.

Llevar los beneficios de la banda ancha a todos los ciudadanos es a la vez el reto y la recompensa para la próxima generación de sistemas fotónicos (tanto de transporte como de acceso), ya que las redes ópticas serán parte integrante de nuestros hogares y lugares de trabajo.

En España, la brecha digital es sustancialmente significativa siendo su principal causa el dispar reparto geográfico de infraestructuras de fibra óptica, tanto de transporte como de acceso. Esta realidad ha sido fruto de un tratamiento exclusivamente mercantilista de las TIC de banda ancha, con total desprecio de su papel de armonización social. Sin embargo esta situación está cambiando significativamente en los últimos 2 años con la aparición de las primeras medidas correctoras en forma de leyes. España está siendo uno de los primeros países en seguir las recomendaciones de la UE encaminadas a facilitar la existencia de infraestructuras de transporte abiertas, aunque los costes asociados parece que no son suficientemente bien aceptados por las administraciones responsables que se plantean dejarlas nuevamente en manos privadas, repitiendo el error ya cometido en 1995.

❖ La realidad industrial, de servicio y de I+D9

La situación de España en relación a la actividad empresarial relacionada con la Fotónica y las TIC es sustancialmente distinta de la europea, por lo que no resulta adecuada una simple implantación de los modelos diseñados para Europa.

Europa es sede de tres de **las cinco mayores empresas fabricantes de equipamiento fotónico en el ámbito de las TIC** (Ericsson, Nokia-Siemens y Alcatel-Lucent), siendo las otras dos de nacionalidad china: Huawey y ZTE.

En España, el importe neto de la cifra de negocios de las empresas industriales TIC del área de actividad de Fabricación fue, para el ejercicio 2009, de 5.635 millones de euros (un 20% menos que en 2008)

La producción manufacturera de TIC en España se basa principalmente en el ensamblado de hardware, y la fabricación de equipos de telecomunicaciones y componentes electrónicos y supuos un volumen de facturación próximo a los 3.000 millones de euros (el 0,3% del PIB).

El tejido empresarial sobre el que se asienta la fabricación TIC está formado en su mayoría por empresas con menos de 10 asalariados, y que suponen el 75% del total.

En el periodo 2005–2009 se consolidó un proceso de fuerte desaceleración de la industria TIC.

Con estos datos, queda claro que, en España, no se localizan empresas con el nivel de presencia de las europeas.

Como contrapunto, España es la sede de una de las cinco mayores **operadoras de servicios de telecomunicaciones mundiales: Telefónica (Movistar)**, que tenía una capitalización bursátil cercana a 90.000 millones de euro (aprox. equivalente al 9% del PIB español) en 2009[10].

---

9 La mayor parte de la información de este capítulo procede del Informe del Sector de las TIC en España 2009 (Edición 2010) elaborado por el ONTSI para el MITYC.

[10] http://www.bolsamadrid.es

España también dispone de un notable nivel, tanto en número como en calidad, de **centros de I+D en Fotónica**. Por desgracia, este nivel de conocimiento no se ha visto reflejado en la aparición de un tejido industrial equiparable o acorde a esta potencialidad.

2.7. Resumen

❖ El Reto

Facilitar a los usuarios el acceso inmediato a la información necesaria, mediante una disponibilidad de ancho de banda prácticamente ilimitada, a un coste económico y energético sostenible, lo que se traduce en:

- Necesidad de una infraestructura para Internet con capacidad multi-terabit.
- Penetración de la Fotónica en la gestión y enrutamiento de nueva generación.
- Mayor ancho de banda disponible en el hogar y en las redes inalámbricas y celulares.
- Responsabilidad en la reducción drástica del consumo mundial de energía.

❖ Áreas de trabajo

- Nuevos componentes, sistemas y arquitecturas ópticas para las redes de transporte, acceso y domésticas que permita la explotación eficiente del ancho de banda disponible,
- Nuevos enfoques para aumentar la capacidad de los elementos pasivos de la red (fibra ópticas…) y la explotación de formatos de modulación avanzados.
- Nuevos materiales y tecnologías en circuitos y subsistemas fotónicos así como técnicas de procesamiento de señal que permitan cumplir con los desafíos energéticos y la mejora del ancho de banda.
- Nuevas comunicaciones de datos de corta distancia que satisfagan los ingentes anchos de banda demandados por las redes inalámbricas, LAN, SAN, etc… a un coste económico y energético asumible.

❖ Instrumentos

La Fotónica en las TIC requiere de importantes inversiones ya que su corto ciclo económico demanda esfuerzos intensos y, por lo general, de una investigación interdisciplinaria altamente competitiva.

Para alcanzar las oportunidades que aparecen en el horizonte, deben ser superados importantes desafíos científicos y tecnológicos. La colaboración resulta imprescindible, por lo que la función de las plataformas tecnológicas, tales como Fotónica21, pueden ser primordial para facilitar y potenciar la coordinación de los actores clave en la investigación de la Fotónica bajo una visión común.

Los instrumentos de financiación actualmente disponibles son en gran medida escasos e ineficazmente enfocados. Algunos ajustes en su definición y el alcance resultan necesarios si se pretende que sean ventajosos, en particular en lo que respecta a su simplificación, para permitir a las PYME su participación en este camino de innovación.

❖ Impacto

Mercado

Desde una perspectiva general, las inversiones en tecnologías Fotónicas representan el único camino viable para que la próxima generación de infraestructuras de telecomunicaciones sea capaz de gestionar y transportar las ingentes cantidades de datos necesarias para cubrir las necesidades de tráfico previstas en el futuro.

Energía

Los avances tecnológicos que la Fotónica puede introducir en las redes de telecomunicaciones, redes de datos y los sistemas informáticos en cuanto a funcionalidad y velocidad de operación, cuentan con la ventaja abrumadora de aumentar la eficiencia energética, y tiene en la práctica un gran potencial para luchar **contra el cambio climático** mediante la reducción de la demanda de energías por parte de las TIC.

Sociedad

Se espera que el desarrollo de aplicaciones y servicios de banda ancha tenga un gran impacto en el crecimiento económico y la productividad en un sentido más amplio, y que contribuya significativamente al impacto social de actividades tales como la educación, la salud sostenible, la asistencia social, el gobierno electrónico…

- **España**

Si bien para Europa la inversión en nuevas tecnologías Fotónicas para las TIC es una elección estratégica de gran importancia al estar encaminada a garantizar la actual cuota de mercado de la industria europea, en España, al no existir este tipo de industria, no tiene sentido el enfoque europeo. El esfuerzo debería estar encaminado, más bien, a crear dicha industria e intentar colocarla en un puesto más significativo aprovechando las oportunidades que brinda la alta rotación tecnológica de la Fotónica en las TIC.

Para materializar esta estrategia, y como fruto de los esfuerzos realizados en los últimos años, se dispone de un intenso tejido de centros de I+D en Fotónica dotado de los conocimientos técnicos necesarios para soportar el nacimiento y desarrollo de esta industria, y de la presencia de operadores nacionales de significativa presencia mundial, capaces de actuar como tractores en I+D de las pequeñas empresas españolas, si el marco diseñado es el propicio para ello.

ANEXO 1

Algunas cifras[11]

Mundo

El mercado de las telecomunicaciones alcanzó un volumen de facturación de 3,4 billones de dólares en 2008, con un crecimiento del 3,2% respecto a 2007. El valor estimado para 2.020 se sitúa próximo a los 6 billones de dólares.

Las telecomunicaciones ópticas representan hoy una parte significativa se este mercado, con un incremento anual constante de aproximadamente el 10% a pesar de la crisis económica.

La venta de **equipos de redes ópticas** se sitúa por encima de los 15 mil millones de dólares y se prevé que siga creciendo hasta más de 20 mil millones en 2020.

El mercado de **componentes fotónicos** para TIC alcanza en la actualidad un volumen mundial de 4 mil millones de dólares de ventas.

En 2008, el número de **suscriptores de banda ancha en los países de la OCDE** era de más de 250 millones, lo que representa más de un 20% de penetración, con **una tasa de crecimiento anual del 14%**.

La cantidad de datos accesibles en internet en estos momentos supera el medio Billón de gigabytes y los servicios asociados están teniendo una tasa compuesta de crecimiento anual del tráfico de la red próximo al 50%, lo que significa **que el tráfico se duplica cada 18 meses**.

El consumo actual de energía debido a Internet (incluidos los centros de datos, los nodos de red y los terminales de usuario) se sitúa próximo al 4% de la electricidad mundial (equivalente al consumo energético del transporte aéreo mundial). Se espera que en menos de 10 años **el consumo de energía de Internet sea 64 veces mayor que el actual**, lo que requerirá más del doble de la electricidad que actualmente se genera en todo el mundo.

Datos relativos a las tecnologías de telecomunicación en 2020 frente a 2010:

	2010	2020
Móviles en el Mundo	5.000 Mill.	6.000 Mill
Usuarios de Internet	2.000 Mill.	5.000 Mill
Dispositivos en Internet	9.000 Mill.	50.000 Mill.
Información en Internet	0,8 ZB	35 ZB

Tabla. 2.5: Retos tecnológicos / Áreas de Investigación

11 La mayor parte de la información de este capítulo procede de: World telecom, optical equipment and components market Source: OIDA Global Optoelectronics Industry Market Report and Forecast 2009 y del video de Telefónica I+D titulado ¿Cómo será el mundo en 2020?

Europa

Incremento de actividad de las KET previsto en Europa[12]:

	Current Market size (2006/08) USD	Expected Market size (2012/15) USD	CAGR in percent
Nanotechnology	12	27	16%
Micro- and Nanoelectronics	250	300	3 %
Industrial Biotechnology	90	125	6 %
Photonics	230	480	8 %
Advanced Materials	100	150	6 %
Advanced Manufacturing Systems	150	200	5%
Total	832	12182	

Fig 2.2: Incremento de actividad de las KET previsto en Europa

Las compañías europeas fabrican en la actualidad cerca del 50% de equipos de telecomunicaciones para redes ópticas, de los cuales 1/3 corresponden a exportación y 2/3 a consumo europeo.

En Europa el sector de las telecomunicaciones es uno de los principales empleadores, con más de un millón de trabajadores, cifra que ha permanecido prácticamente constante en los doce últimos años.

En 2020, el mercado europeo representará más de 1,5 Billones de dólares (el 25% del global).

Europa es el **mayor consumidor mundial de banda ancha** (más de 100 millones de usuarios en 2008), pero está por detrás de Japón y Corea del Sur en el empleo de fibra óptica en el entorno del hogar (**y con un retraso de un 30% sobre las previsiones para 2010 hechas en 2007**).

Gracias a la implantación de FTTH, el número de conexiones de banda ancha de más de 30 Mbps europeas está aumentando un 20% anual, generando 3 veces más trafico que el resto de tecnologías en conjunto.Se prevé que en 2013 todos los ciudadanos europeos tendrán acceso a internet y se pretende que en **2020 la velocidad de transmisión doméstica mínima sea de 30 Megabits por segundo en el 100% de los hogares** y que **al menos la mitad dispongan de conexiones de más de 100 Megabits por segundo**[13].

12 Source: Background study Confindustria (2009)
13 Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

ANEXO 2

Situación de las redes de acceso de Banda Ancha en España.

En España, a finales de 2010, sólo menos de 350.000 hogares disponían de potencial acceso a FTTH, por lo que es uno de los países que más retrasados se encuentran en la implantación de las redes de acceso de nueva generación (NGA) de Europa.

El principal operador de televisión por cable ha incorporado en 2.011 la tecnología DOCSIS 3.0 en su red, lo que permite que casi 2 millones de hogares puedan disfrutar de anchos de banda de 30 Mbps (Down). Esta tecnología precisa infraestructura de fibra óptica hasta el edificio (FFTB).

En Abril de 2011 se ha publicado el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones (ICT), en aplicación de las recomendaciones de la UE para dinamizar la implantación de este tipo de redes.

Recientemente ciertas administraciones públicas han iniciado la creación de infraestructuras comunes de transporte metropolitano independientes, disponibles a todos los operadores en régimen de libre competencia (generalmente bajo la fórmula de alquiler de fibra obscura), bien bajo su responsabilidad directa, bien propiciando la actuación de nuevos agentes privados (normalmente empresas con disponibilidad de “espacio” para tender fibra óptica). Esta iniciativa se ha visto frenada por la falta de liquidez que la crisis financiera ha puesto de manifiesto en estas administraciones públicas.

En estas circunstancias, Telefónoca-Moviestar se ha comprometido a tener pasados por FTTH más de 3 millones de hogares antes de finalizar 2012, declarando para este objetivo unas inversiones de 3 millones de euro.

Por desgracia, el esfuerzo de las operadoras se centra en los grandes núcleos urbanos, provocando el aumento de la brecha digital existente con el mundo rural.

ANEXO 3.

Análisis DAFO: La I+D en Fotónica de TIC en España.

❖ Debilidades

- La Fotónica en las comunicaciones se considera una tecnología madura en la que la I+D debe ser realizada exclusivamente por las empresas para mejorar productos o servicios.
- Inexistencia de compañías de telecomunicaciones líderes en España (fabricantes).
- Dificultad para la internacionalización de los productos españoles (imagen, costes…).
- Débil, errática y desenfocada (ineficaz) política de las administraciones públicas españolas en I+D.
- Carencia de un modelo eficaz en política de I+D que sea capaz de armonizar y potenciar a los agentes involucrados.

❖ Amenazas

- La presión tecnológica de los países emergentes.
- Mala y costosa protección de la propiedad intelectual.
- Elevado coste y dudoso retorno de las inversiones en I+D.

❖ Fortalezas

- Existencia de centros de I+D y Universidades con alto nivel tecnológico (infrautilizado por falta de modelo eficaz de colaboración con las empresas).

❖ Oportunidades

- Existencia de un operador líder mundial que debería potenciar su I+D+i a nivel nacional, desencadenando un efecto Tractor significativo.
- Mercado en desarrollo creciente a pesar de la crisis.
- La zona euro es un importante y accesible mercado potencial.
- Estrategia Europa 2020 (potenciación del ancho de banda de consumo). La Fotónica es una KET europea.
- Nueva política nacional de infraestructuras de transporte y acceso en las redes de telecomunicación.
- Producto de ciclo corto, rápida obsolescencia e imprescindible mejora continua.

3. PROCESOS DE FABRICACIÓN INDUSTRIALES

3.1. Introducción

Uno de los sectores de la Fotónica con más presencia en España es el de Procesos de Fabricación Industriales. Está formado principalmente por dos vertientes: por un lado, una gran cantidad y calidad de centros de investigación especializados; por el otro, un gran número de pequeñas y medianas empresas relacionadas con éste sector. Al contrario de lo que pasa en otros segmentos, en el campo de los Procesos de Fabricación Industriales no hay grandes empresas tractoras. Eso da lugar a que su evolución dependa en buena medida de la interacción entre empresas y, sobretodo, entre empresas y centros de investigación. Las empresas pueden beneficiarse de la investigación de vanguardia y de los servicios específicos que los Centros pueden dar. Por su parte, los Centros pueden tener en las empresas la implementación de sus desarrollos en el mundo real y el vínculo con el mercado.

La comunicación entre los distintos actores es pues primordial; de ahí la relevancia de plataformas y otros conglomerados como Fotónica21. Los procesos de fabricación con base Fotónica pueden aplicarse a un sinfín de contextos con lo que es muy importante también, la interacción entre plataformas, clústeres, etc.

Este apartado pretende dar una visión del estado actual del sector, sus ambiciones, retos, limitaciones y sus perspectivas de futuro.

3.2. Tendencias generales y retos de futuro

La Fotónica se espera que permita avances en las más diferentes ramas de la tecnología. En el contexto de los procesos de fabricación, se espera disponer de nuevos o mejorados procesos de fabricación de muy elevada calidad que permitirán la personalización de productos de forma masiva, la fabricación rápida y la fabricación sin defectos.

Las **tecnologías Fotónicas de fabricación**, van a resultar estratégicas para el futuro de la fabricación, como ya lo están demostrando. Herramientas de fabricación como el **láser** permiten automatizar procesos de forma flexible, produciendo componentes y productos de extraordinaria calidad. La tendencia a la personalización y la creciente importancia del diseño industrial, como se ha podido observar en la electrónica de consumo, requerirá de nuevos métodos que permitan nuevas geometrías y capacidades de fabricación por lotes, así como de nuevas herramientas de **metrología y control en tiempo real** que permitan la fabricación con cero defectos. La flexibilidad inherente de la herramienta láser la hace la elección ideal para satisfacer estos requisitos. Además, ventajas como el no desgaste de herramienta y la integración de sistemas de monitorización y control basados en técnicas de **sensado fotónico** inteligente, permitirán alcanzar la producción cero-defecto, aspecto que repercute directamente en un incremento de la calidad y reducción de deshechos.

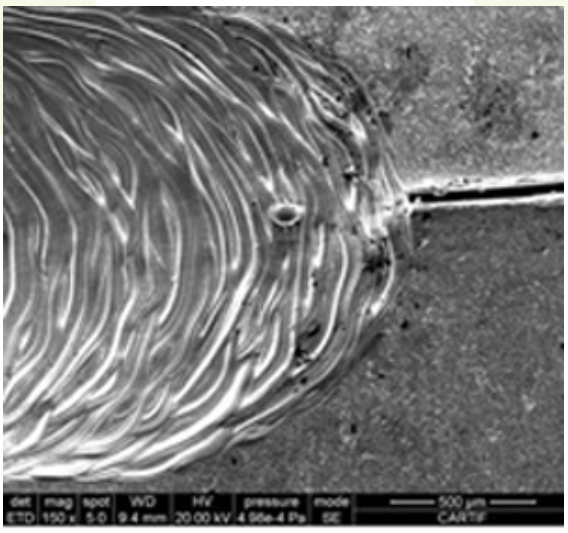

Fig. 3.1: microfotografía de la superficie de un cordón hecho con láser pulsado (Cartif)

El **láser** en general es un elemento clave para una futura economía europea sostenible. Procesos láser innovadores están incrementando la eficiencia de dispositivos fotovoltaicos y de almacenamiento de energía, que son fundamentales por ejemplo para el futuro coche eléctrico y un transporte sostenible. La posibilidad de procesar y mecanizar materiales muy difíciles de tratar con técnicas convencionales, hace del láser la herramienta ideal para la fabricación de **estructuras ligeras** de alta tenacidad, como las que hacen falta en los **automóviles** o alabes de **aerogeneradores**. En sí mismos los procesos láser contribuyen a una **fabricación "verde"** dada la forma precisa, controlable y localizada de aportar la energía en la pieza. Otro aspecto "verde" del procesado láser es el que tiene cuando reduce el empleo de productos químicos, como en los procesos de textura superficial o de limpieza que es posible realizar por vía seca. Un claro ejemplo se tiene en la industria de **artes graficas,** donde la **limpieza por láser** sustituye al proceso de limpieza química de los rodillos de impresión.

Fig. 3.2: Texturizado de aceros con láser de alto brillo. (Aimen)

Los retos de desarrollo futuros están en ampliar el espectro de aplicación de las tecnologías láser de producción. Esto se aplica en todos los sectores en los que el láser puede ofrecer nuevas soluciones, nuevas calidades de producto y más beneficios. Oportunidades clave están en la **conversión de energía, electrónica, materiales híbridos, construcciones ligeras, personalización masiva y *rapid manufacturing*, tecnologías de impresión, microfabricación y marcaje de productos**.

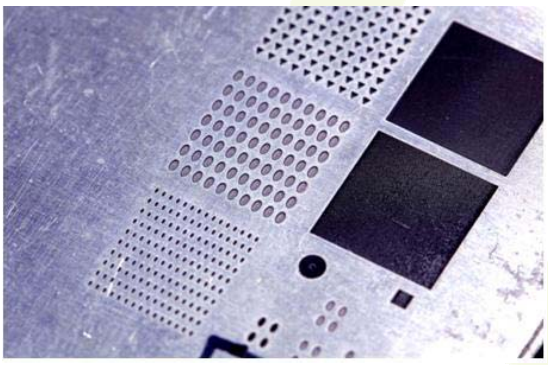

Fig. 3.3: Texturas superficiales por láser sobre aluminio (Aimen)

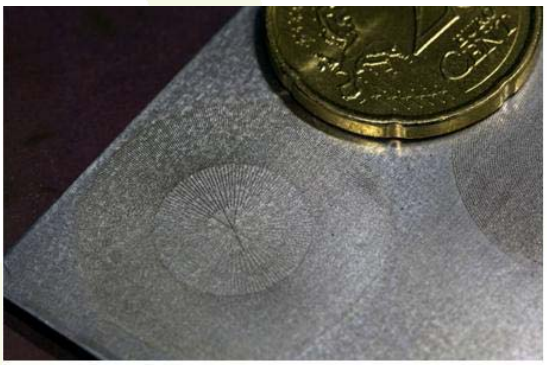

Fig. 3.4: Microrrecargue láser sobre acero de herramientas. (Aimen)

Las principales áreas de investigación tienen que cubrir los pasos en los procesos de fabricación, desde la investigación básica y desarrollo a través de los mismos productos y su introducción en el mercado. En términos de las fuentes láser y los componentes ópticos, hay que centrar esfuerzos en métodos reproducibles y precisos de **ensamblado automático** de dispositivos fotónicos y láseres con **rendimientos mejorados** en términos de potencia, propiedades del haz, eficiencia y tamaño, así como

con **mejor control** y estabilidad, y todo con **precios más bajos**. Otros aspectos incluirían **sistemas de guiado de haz reconfigurables y adaptativos** para altas intensidades y potencias. Se esperan **nuevas aplicaciones**, por ejemplo, gracias al empleo de los nuevos láseres de **pulsos ultracortos** (pico y femtosegundo). Aunque para aprovechar al máximo el potencial de este tipo de láseres también hará falta el desarrollo de **sistemas de deflexión del haz de más alta velocidad**.

Fig. 3.5: Celda de soladura láser (Cartif)

Además del claro beneficio para la Sociedad, el impacto de la próxima generación de procesos de fabricación fotónicos en los principales retos actuales de la sociedad será alto. Tres ejemplos concretos son:

- **Economía "verde" sostenible**: coches ligeros, baterías y células de combustible, módulos fotovoltaicos altamente eficientes, entre otros, todos requieren de tecnología láser para su fabricación. Un aspecto clave es que los láseres reducen el consumo de energía y la utilización de productos químicos.
- **Envejecimiento de la sociedad**: desde marcapasos a huesos sintéticos y de endoscopios a micro-cámaras empleadas en procesos in-vivo, la tecnología láser juega un papel principal resolviendo necesidades de una sociedad que envejece.
- **Tecnologías de la información**: Las fuentes de emisión ultravioleta generadas por láser serán la herramienta necesaria para la miniaturización futura y reducción de costes de la microelectrónica.

3.3. La posición de España

Para entender la posición de España en el sector es importante conocer el estado de éste a escala Europea y mundial. Europa es, actualmente, el líder mundial del uso de la Fotónica en la producción industrial. Sin embargo, esta situación ventajosa está amenazada por la continua mejora de la calidad y los bajos precios provenientes de Asia. A nivel mundial, la necesidad de soluciones Fotónicas no deja de aumentar. El mercado para procesado láser ha incrementado significativamente en los últimos años.

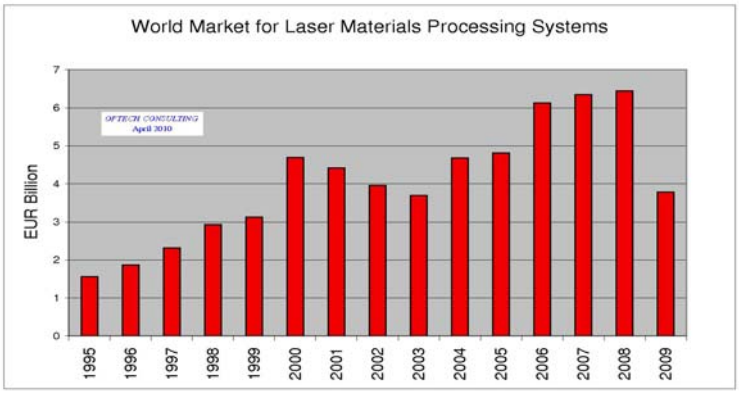

Fig. 3.6: Mercado mundial del láser[14]

Sin embargo, la situación en España es muy distinta a la del conjunto de Europa. En España no hay grandes empresas tractoras en el sector que arrastren el grueso del desarrollo. En su lugar, España goza de la presencia en el tejido investigador de varios Centros Láser consolidados con experiencia en este campo. Asimismo, la coyuntura económica actual fomenta la reparación y mejora de componentes de alto valor añadido mediante técnicas tecnológicamente avanzadas, frente a compras de componentes a fabricante, que en la inmensa mayoría de casos es extranjero. Eso incentiva el trabajo de los Centros y Universidades y fomenta el incremento de PYMEs con vertiente innovadora.

El reto presente, sin embargo, es la necesidad de un gran esfuerzo de divulgación, para subsanar el desconocimiento del mercado respecto a la tecnología. Cuando, en algunos casos, hay redundancia de esfuerzos en instalaciones entre las OPIs, la gran mayoría de empresas no son conscientes de que estas soluciones existen en España y se sigue sufriendo de dependencia tecnológica de otros países. Las tareas de divulgación no se han hecho desde los Centros Láser, por lo que corresponde al tejido industrial detectar las oportunidades y divulgar la tecnología. Se percibe, asimismo, la ausencia de estudios que analicen la posible aplicación de las técnicas Fotónica en los grandes proyectos de alto impacto social.

En estos vacíos presentes se encuentran las oportunidades. Hay un mercado sub-explotado con un gran potencial de crecimiento a nivel nacional. Cada vez hay más demanda de sistemas más automatizados y con capacidades adicionales. Sectores como el del Patrimonio, textil, médico, alimentación,… necesitan de nuevas tecnologías y nuevo equipamiento ante cambios en el mercado, en las normativas de calidad o en necesidad de diferenciación. Asimismo, siguiendo las prerrogativas Europeas, hay objetivos sociales prioritarios (fuertemente respaldados social y políticamente), como la Low Carbon Society, que propician el impulso de las Green Photonics, tecnologías láser habilitadoras de métodos de fabricación limpia y sostenible. Además, no hay que olvidar que el mercado láser internacional sigue creciendo (por ejemplo el láser cladding que experimenta un gran crecimiento tanto en Europa como en EUA) lo que brinda una buena oportunidad de exportación para las empresas españolas, aún estando sujetos al fluctuante cambio Euro/Dollar. Existe en el mercado español la posibilidad de satisfacer esta demanda de solucionas más complejas, específicas o de más calidad, y para eso es muy importante que las empresas sepan aprovechar la cantidad y calidad de los Centros investigadores. De ahí también la importancia de entidades cómo clústers y plataformas que ayudan a vincular los distintos actores.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la oportunidad que ofrece España como mercado sub-explotado en este sector propicia también la entrada de competidores extranjeros, de donde proceden la mayoría de fabricantes de equipos, que actualmente focalizan su esfuerzo en sus mercados internos al presentar tasas de crecimiento elevadas, pero que en un futuro pueden priorizar la exportación. Para evitar que esta demanda se cubra mayoritariamente por aportaciones extranjeras es necesaria también la financiación pública. En estos momentos, las herramientas de financiación tienden a enfocarse en grandes consorcios, con presupuestos muy altos, inasumibles para la mayoría de las PYMES, que solo

14 http://www.optech-consulting.com/html/laserprocessingmarkets.html

pueden articularse si se cuenta con una gran empresa tractora en el consorcio, cosa que, como se ha dicho, no sucede en este sector.

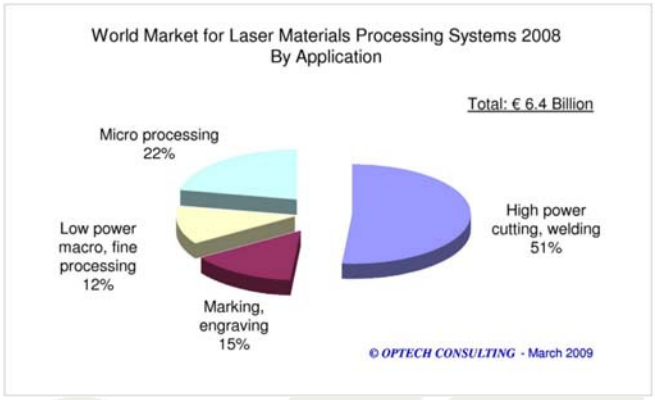

Fig. 3.7: Mercado mundial de las aplicaciones del láser[15]

3.4. Descripción del estado del sector

Hay una gran cantidad de actividades que se están llevando actualmente tanto en Centros de Investigación y Universidades como en empresas para dar soluciones a las necesidades del sector. Estas incluyen la mejora de las fuentes de fotones y componentes, el desarrollo de nuevos procesos y la aplicación de procesos fotónicos en nuevos contextos, y su impacto en la fabricación y en el control y mejora de la calidad.

❖ Fuentes de fotones y componentes ópticos

La herramienta Fotónica principal para el sector de la fabricación es el láser. La mejora de las fuentes láser y los componentes ópticos relacionados es primordial tanto para satisfacer las necesidades de procesos industriales, que ahora no se ven cubiertas o que utilizan otras soluciones menos eficientes y limpias, como para abrir la posibilidad de nuevos procesos y aplicaciones.

La mejora de las fuentes láser va en varias direcciones. El avance en los diferentes tipos de fuentes, ya sean láseres de semiconductor, de estado sólido, de fibra, etc. se consigue, tanto en el material activo (el semiconductor en sí, en los cristales de un láser de estado sólido) como en el diseño óptico y opto-mecánico de estos, pasando por la mejora de las tecnologías de montaje y la calidad de los procesos involucrados.

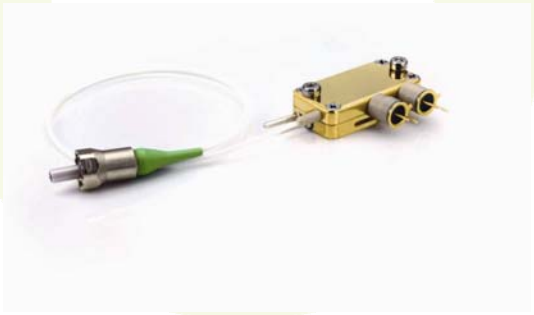

Fig.3.8: Prototipo de fuente laser para el Raman Laser Spectrometer de la Misión NASA/ESA Exomars (monocrom s.l.).

15 http://www.optech-consulting.com/html/laserprocessingmarkets.html

Una mejora imprescindible para el uso más extenso del láser en el tratamiento de materiales es el obtener más potencia con mejor calidad de haz. Esto es importante, tanto para tratar materiales directamente como para poder enviar cada vez más potencia en fibras ópticas más estrechas, lo cual tiene también aplicación en un gran número de contextos. También se está trabajando mucho en la consecución y mejora de nuevas longitudes de onda láser, preferiblemente con sistemas sintonizables, para abordar necesidades específicas como el micromecanizado. Otra rama importante de desarrollo es el de los láseres de pulsos ultracortos. Existe una gran demanda de este tipo de fuentes y ahora está cubierta por equipos muy costosos y poco compactos. Las mejoras se centran en incrementar las prestaciones de los sistemas presentes por un lado y, por otro, conseguir este tipo de pulsos en equipos mucho más compactos y eficientes. Todo esto con el objetivo de conseguir fuentes cada vez más económicas.

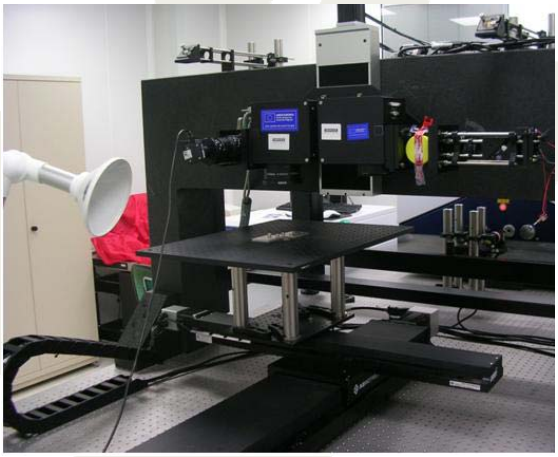

Fig. 3.9: Láser de picosegundos para de microfabricación (AIDO).

La mejora de las fuentes abre la posibilidad a nuevas tecnologías de ensamblaje y tratamiento de materiales, pero requiere también de la mejora en los componentes ópticos. Se trabaja, por ejemplo, en fibras ópticas con nuevos conceptos de guías de onda (altas transmitancias y menores dispersiones) y mejor acoplamiento. Se necesitan también sub-sistemas de guiado de haz más rápidos (galvos más rápidos, para pulsos ultracortos y alta repetición, o métodos alternativos de guiado de haz a alta velocidad). Finalmente, también es importante el conformado del haz, para conseguir haces hechos a medida, temporal y espacialmente, ópticas de focalización dinámicas, adaptativas y sistemas de modulación espacial de luz.

❖ **Desarrollo de procesos y sistemas de fabricación**

La evolución de los procesos de fabricación pasa por conseguir un conocimiento más íntimo de la **interacción entre luz láser y materia**. Por eso también es fundamental tanto el conocimiento de los materiales involucrados como la simulación y monitorización de los procesos.

Estos conocimientos resultan claves para conseguir uno de los objetivos más importantes en fabricación: la **actividad ininterrumpida.** Esto se conseguiría gracias a **sistemas de manufactura láser de mantenimiento mínimo y predictivo**. Este objetivo requiere de profundos desarrollos científico-técnicos, y es uno de los campos de investigación importantes en varios Centros de Investigación nacionales. El hecho es que el láser es, por sus características (herramienta remota, sin desgaste, de energía concentrada y altamente controlable), un candidato ideal a ser la fuente de energía más fiable, capaz de proporcionar producción con Cero Defectos y un 100% de disponibilidad. Sin embargo, no ha satisfecho esta expectativa hasta ahora, esencialmente, por causa de la sensibilidad del proceso láser a numerosas condiciones de contorno difíciles de codificar o incluso medir. Por eso se está trabajando en diferentes entidades en:

- Obtener mayor fiabilidad en la fuente, gracias a diseños de resonadores intrínsecamente robustos y sin mantenimiento (como los láseres sellados).

- Métodos de monitorización del estado de todos los componentes ópticos del sistema láser. Procesamiento de señal avanzado y sensores reales y virtuales para determinar el estado interno de los sistemas láser.
- Métodos de monitorización del propio proceso láser y condiciones de contorno (medio de trabajo). Diagnosis y prognosis del proceso de fabricación láser para mantenimiento predictivo.
- Medios de regulación y control en tiempo real: ópticas motorizadas, ópticas adaptativas, regulación de parámetros, etcétera.

En particular, uno de los campos de investigación con mayor repercusión es del **diagnóstico de procesos y control "online"** de los mismos. En este dominio se está trabajando en el desarrollo de sensores capaces de medir la profundidad de penetración en la soldadura láser en tiempo real. La finalidad de estos sensores no es sólo detectar el defecto asociado a la falta de la penetración, sino además que sirvan para controlar el proceso de soldadura en lazo cerrado. Eso permite asegurar la calidad del producto y tender hacia una producción con cero defectos. Sin embargo, estos sensores también pueden ser útiles para conseguir la configuración automática del proceso cuando se ha de fabricar un producto nuevo (diferente material, espesor, etc.). De esta manera se puede conseguir un ahorro de costes que haga más sencilla y rentable la fabricación de pequeños lotes en talleres pequeños. Además de la soldadura, estos controladores y sensores pueden usarse en otros procesos, como el corte o la ablación, después de ser adaptados convenientemente.

En paralelo a la mejora y control de los procesos, se están desarrollando **nuevas técnicas** basadas en el láser como los **procesos láser aditivos** o las **Tecnologías híbridas de procesado**. La combinación de la energía del láser con otras fuentes de energía puede dar lugar a lo que tradicionalmente ha venido llamándose "procesos aumentados por láser" (Steen), que mejoran la productividad y efectividad de procesos tradicionales como el mecanizado o la soldadura al arco gracias al efecto de la energía extra proporcionada por el láser. Sin embargo, se consideran procesos híbridos cuando se obtiene un efecto que es muy superior, o totalmente diferente, a la combinación lineal de los efectos de ambas fuentes de energía.

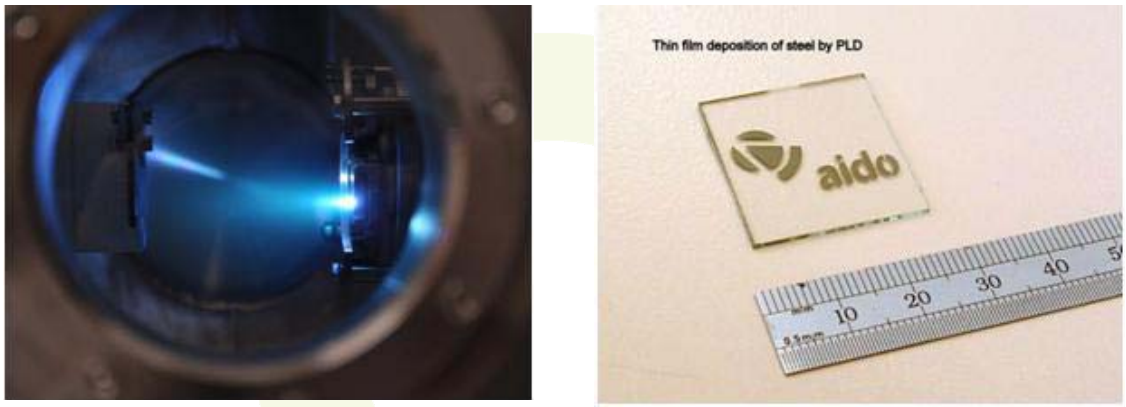

Fig.3.10: Pulsed Laser Deposition (AIDO).

La soldadura híbrida arco-láser es uno de los ejemplos más conocidos de tecnologías híbridas de procesado de materiales, siendo una técnica de alta productividad, alta fiabilidad y gran robustez, que aun no ha sido investigada en todas sus posibles variantes. Sin embargo, otras combinaciones de láser con fuentes de energía diferentes están siendo consideradas y estudiadas en mayor profundidad:

1. Láser+acción mecánica:
   - Conformado híbrido, capaz de multiplicar varias veces la velocidad de procesos incrementales de conformado y extender el límite de conformabilidad de materiales de comportamiento comprometido.
   - Mecanizado híbrido láser+herramienta, con posibilidad de mecanizado a alta velocidad y calidad de materiales frágiles o difíciles de procesar por arranque de viruta.

2. Láser+energía química:
   - Ataques químicos selectivos, al emplear el láser combinado con disoluciones o medios de ataque para litografía asistida por láser, texturizado de alta velocidad, pasivación selectiva, etc.…
   - Micromecanizado láser en atmósferas reactivas, para aumentar la calidad de la superficie resultante, dotar de funcionalidad adicional a la superficie o inducir nuevos efectos sobre el material.
3. Láser+otras fuentes radiantes:
   - La combinación de láser más fuentes infrarrojas no puntuales resulta ventajosa para la unión, modificación superficial o sellado de polímeros y composites.
   - La combinación de láser con lámparas ultravioletas de elevada potencia también ha sido probada en modificación superficial de polímeros y cerámicos.

Para el aprovechamiento de estos procesos híbridos, es necesario un estudio básico del efecto de fuentes combinadas de energía sobre los materiales, el estudio de la interacción entre ambas fuentes de energía, y estudios prácticos de aplicabilidad de los nuevos procesos desarrollados, además de desarrollos tecnológicos para su implementación industrial.

La consecución de la fabricación ininterrumpida y con cero defectos y la implementación de nuevas técnicas láser en los procesos de fabricación industriales son objetivos muy ambiciosos y complejos, pero el impacto potencial en la industria es grande y justifica los esfuerzos en investigación. Además, la consecución de estos objetivos permitiría dinamizar industrias en España como las de sensórica, control, procesado por hardware, óptica, etcétera.

Fig.3.11: Proceso de laser cladding (AIDO).

3.5. Aplicaciones láser y calidad

Las fuentes y procesos anteriormente descritos van encaminados a la mejora de las aplicaciones, especialmente aplicaciones emergentes.

Una de las aplicaciones que se beneficia más de las nuevas técnicas y procesos fotónicos en detrimento de las técnicas usadas tradicionalmente es el campo de la conservación del Patrimonio. Esto incluye por ejemplo la caracterización del estado de los bienes patrimoniales mediante sensores fotónicos no invasivos o técnicas de espectroscopia láser. También involucra la limpieza o restauración de los bienes, como la fotoablación con láser pulsado, los tratamientos fotoenergéticos para la eliminación de colonias biológicas en los materiales o la estabilización físico-química en procesos de deterioro. Finalmente, también se pueden utilizar técnicas Fotónicas en el marco de la conservación, como con el desarrollo de nuevos materiales fotosensibles para la protección de los bienes frente al deterioro lumínico o tratamientos anticorrosión por láser.

En el contexto de las prioridades sociales a nivel europeo, los procesos de fabricación industriales pueden propiciar avances en sectores como las *Green Photonics* o la *Ageing Society*. En el contexto de las Green Photonics, estarían, por ejemplo, aplicaciones en las **energías renovables** y la **fabricación sostenible**. En relación a las energías renovables destacan aplicaciones en la fabricación de células fotovoltaicas de alto rendimiento, colectores solares térmicos, aerogeneradores (soldadura en estructura,

recargue láser en la caja de engranajes, procesado de composites en las palas). Dentro del **campo fotovoltaico**, la tecnología láser permite obtener extraordinarios aumentos de eficiencia en las células solares, tanto de silicio como de capa delgada, silicio amorfo y células de concentración, gracias a procesado localizado y selectivo, imposible de conseguir por métodos convencionales. Esto permite acercarse al objetivo de la paridad de red, necesario para la implantación realista de la energía fotovoltaica de forma independiente de los incentivos estatales. Además, el láser está siendo planteado como técnica de reciclaje o recuperación de paneles fotovoltaicos dañados o usados, reduciendo su huella ambiental y recuperando su valor en cuanto a sostenibilidad. En el contexto de la fabricación sostenible, se está trabajando en mejoras en ahorro de energía, por ejemplo, gracias al procesado local sustituyendo a grandes hornos y sistemas de procesado global; reducción de la generación de efluentes o contaminantes, dando alternativas secas a procesos tradicionalmente en húmedo, con ataques ácidos, generación de taladrinas usadas, lubricantes usados, humos y demás contaminantes; uniones libres de adhesivos; y el uso raciona de los recursos materiales y energéticos gracias a dar lugar a procesos de alta eficiencia y elevado rendimiento.

En el marco de la *Ageing Society*, bio-medicina y la salud en general, los avances en los procesos de fabricación van en la dirección de la microfabricación para la miniaturización del instrumental empleado por ejemplo en cirugía mínimamente invasiva (laparoscopia y cateterismo), o en las fuentes para cirugía láser en sí, lanzando cada vez más potencia en fibra más pequeña.

Otra gran rama de aplicaciones es la del **tratamiento de materiales**. Se trabaja, por ejemplo, en la procesabilidad de **materiales de difícil tratamiento** necesarios por sus propiedades elevadas o mayor calidad, como serían aceros de alta resistencia (con mejoras en soldadura, corte, tratamiento térmico localizado, conformado y texturizado por láser), los compuestos o "**composites**" (unión de fibras, métodos aditivos de capas unión y corte), o **aleaciones exóticas** para aplicaciones aeronáuticas, aeroespaciales o biomédicas (con microprocesado, soldadura de estanqueidad o de altos requisitos, conformado asistido por láser, pulido por láser, marcado sin rugosidad, …). También se trabaja en **materiales híbridos** para automoción, obra civil, el "coche verde" y seguridad. Se consigue mejorar las estructuras anti-choque ligeras para automóviles. Pueden requerir unión por láser para proporcionar elevada rigidez estructural, unión composite-metal o polímero-metal, corte 3D, modificación superficial por láser. Además dan lugar a una reducción del tiempo de ciclo, reducción del espacio utilizado, reducción de consumo energético, aumento de la seguridad del producto, aumento de la versatilidad en el diseño, etc. En la industria cerámica, con el corte en seco de cerámicas, sistemas multimaterial (cerámica más resina, cerámica más metal, etc.…) muy difícil de lograr con otras técnicas, corte *free form*, Vitrificación selectiva por láser, Texturizado (i.e. texturas antideslizantes), funcionalización superficial (i.e. antibacteriana), Procesado de polímeros.

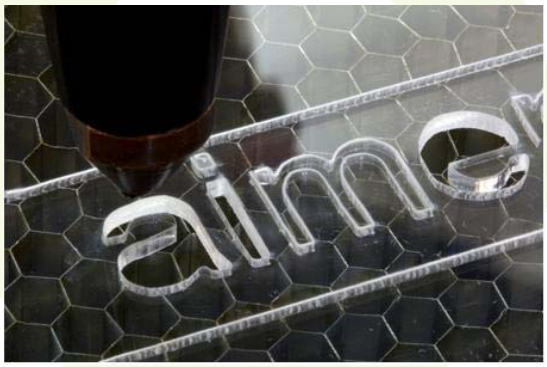

Fig.3.12: corte láser de policarbonato (Aimen)

También hay interés en **aplicaciones comerciales** o más estrictamente **de fabricación**, como serían la mejora de la trazabilidad de producto. Emplear marcado láser como una forma inequívoca de asociar el producto y su proceso de fabricación (marcado integrado en las fases del proceso productivo), y asimismo como método de seguimiento eficaz y de garantía de autenticidad. En este sentido, el marcado como alternativa al etiquetado permite introducir información extra en textiles y productos similares, el marcado de materiales transparentes, marcado por oxidación para piezas de altos requisitos superficiales, marcados con alta densidad de información (data matrix, etc.…). También se dan mejoras en la **automatización de las inspecciones**: el láser, tanto como forma de energía radiante como por los

fenómenos físicos asociados con su interacción con la materia, genera un amplio abanico de señales características durante el procesado de materiales, que pueden ser empleadas para diagnóstico.

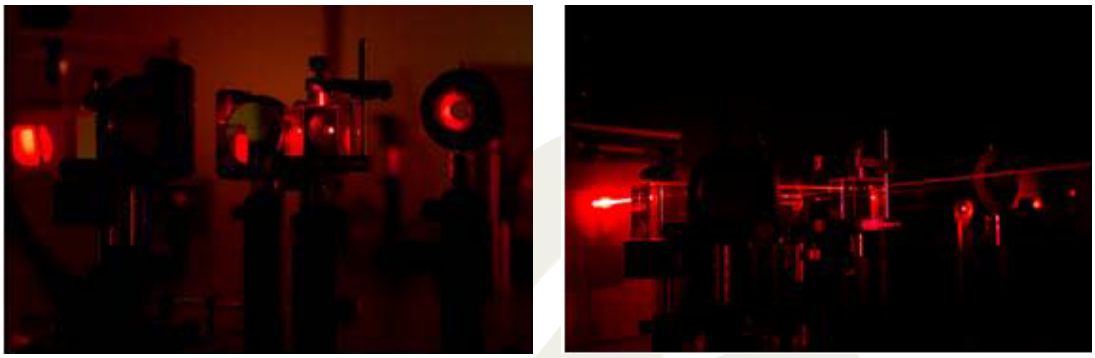

Fig.3.13: Montaje interferométrico para control de deformación durante el procesado por ondas de choque por láser (Aimen)

Asimismo, el láser como herramienta transparente y la posibilidad de guiado y detección selectiva de longitudes de onda permite aprovechar ese fenómeno para observar la totalidad del proceso. El mayor problema es que muchos procesos mantienen una relación muy compleja entre estado del proceso y señales emitidas, por lo que es necesario mantener un esfuerzo investigador elevado para modelizar dicha relación y aplicar este conocimiento en la comprensión de las señales capturadas. El uso de señales del proceso, por ejemplo, señales acústicas generadas durante corte o soldadura, permite no sólo identificar el estado del proceso, sino también identificar y cuantificar defectos, integrando así las tareas de inspección y de fabricación. El uso de sistemas multisensor y de convergencia de distintas formas de energía para el sensado (ultrasonidos generados por ondas de choque, métodos magnéticos de detección de temperatura, etc.…), junto con métodos multiespectrales de captura de señales, permitirán ampliar la profundidad y precisión de esta inspección, además de desarrollar nuevos productos para el control de calidad, de alto interés para la industria. Se tiende, también a **sistemas de fabricación láser reconfigurables y adaptativos** capaces de hacer producción a pequeña escala. Mejora de los sistemas de producción láser actuales para gestionar a la vez un número alto de variantes, modelos o productos para hacer frente de manera rápida a la evolución del mercado.

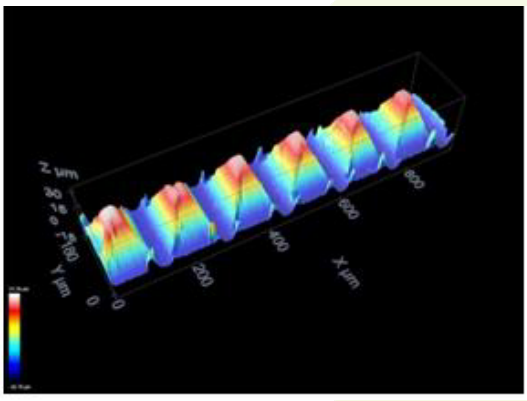

Fig.3.14: Micromecanizado láser de una microlente.

Fig.3.15: Micromecanizado de polímeros.

3.6. Retos tecnológicos e Investigación

Muchos de los retos tecnológicos ya se están afrontando en las actividades presentes descritas en la sección anterior, por ejemplo, yendo un paso más allá en los sistemas de procesado láser de materiales incluyéndolos como elementos mecatrónicos: integración de sensores, capacidad de procesado, autonomía y funcionalidades integradas en módulos plug-and-produce. O por ejemplo en diagnósticos y calidad con imagen 3D, termografía, hiperespectal y multiespectral, técnicas espectroscópicas. O el control a tiempo real de los procesos de fabricación.

También hay los retos de aumentar la calidad y la escalabilidad de estos procesos, o la mejora de su eficiencia energética.

Sin embargo, uno de los puntos más importantes es saber responder a las implicaciones de los resultados de los presentes desarrollos. Al estar trabajando con tecnologías emergentes, cada nuevo logro es potencialmente una nueva aplicación o una nueva manera de hacer algo que ya existía. Por eso es muy importante tener la capacidad de rediseñar procesos existentes para adaptar soluciones Fotónicas o de explorar las sinergias entre estas nuevas herramientas Fotónicas y nuevos mercados potenciales. De ahí la relevancia de hacer estudios sectoriales de los mercados potenciales, y estudios económicos y de viabilidad técnica para la introducción de la Fotónica en éstos; así como actividades intensas de difusión de dichos estudios.

Todo esto, sin embargo, pasa por mejorar la relación Universidad o Centro de Investigación – Industria. Eso podrías hacerse, por ejemplo, movilidad de personal entre industria, academia y centros; mejora del conocimiento mutuo; mejora de actividades de difusión, etc.

Por último, un reto a nivel nacional es apoyar el desarrollo de tecnología propia para reducir la dependencia.

3.7. Discusión

Aunque la hoja de ruta y los objetivos genéricos de los procesos de fabricación industriales fotónicos a nivel nacional siguen las mismas directrices del sector a nivel Europeo, cabe destacar que hay diferencias considerables entre ambos ya que el tejido empresarial e investigador nacional es distinto al de Europa en general. A nivel nacional, la realidad del sector se basa en una mayoría de PYMES, una falta de grandes empresas en el sector y una gran cantidad y calidad de Centros de Investigación e Universidades con interés en este campo. Los objetivos a nivel tecnológico se pueden resumir en:

- Incrementar la productividad y la competitividad industrial en España.
- Aumentar la calidad del producto y reduciendo su precio.
- Propiciar la entrada de nuevos e innovadores productos y procesos de nueva generación.
- Reducir los residuos y el consumo de energía para proteger el Medio Ambiente.
- Mejorar la seguridad de las personas tanto en el trabajo como fuera de él.

El estudio, sin embargo, ha puesto en evidencia el principal reto de esta área de la Fotónica: el incremento y la mejora en las relaciones entre las empresas y el mundo investigador. Esta sinergia es imprescindible para el progreso del sector en general, de aquí la importancia de agrupaciones que aglutinen a representantes de ambos mundos y agilicen su interacción.

Asimismo, dada la falta de grandes inversiones del sector privado en este entorno, es especialmente importante la ayuda del Estado en forma de ayudas adaptadas a la realidad del tejido empresarial y investigador en este campo, más cercano a las necesidades de las PYMES, para poder afianzar el vínculo con los centros de investigación y para permitir que los procesos de fabricación industriales, no solo sigan prosperando al más alto nivel en los Centros, si no que penetren más en la industria y permitan la apertura a nuevas aplicaciones y la renovación de procesos de fabricación que ya están perdiendo el tren de la innovación a nivel Europeo y mundial.

ANEXO.

Análisis DAFO: La I+D en Fotónica de los procesos de Fabricación en España.

❖ Debilidades

- Absoluto desconocimiento del mercado respecto a la tecnología: necesidad de un gran esfuerzo de divulgación, con el coste que conlleva.
- Las tareas de divulgación no se han hecho desde los Centros Láser, por lo que corresponde al tejido industrial detectar las oportunidades y divulgar la tecnología.
- Ausencia de grandes tractores en el campo en España.
- Ausencia de estudios identificando aplicaciones de gran potencial económico, y descartan aplicaciones en instalaciones de generación de energía, de tratamiento de aguas o de desalación de agua marina, entre otras de alto impacto social.
- Dependencia tecnológica de otros países.
- Comunicación entre actores. No saber que estas tecnologías existen en España. Lo que comporta que las empresas pequeñas no las demanden.
- Redundancia de esfuerzos e instalaciones, poca diferenciación entre OPIs.

❖ Amenazas

- La mayoría de los fabricantes de equipos están fuera y son más accesibles.
- Fuerte crecimiento de los competidores establecidos en el extranjero, que actualmente focalizan su esfuerzo en sus mercados internos al presentar tasas de crecimiento elevadas, pero que en un futuro pueden priorizar la exportación y encontrarán en España un mercado sub explotado.
- Competencia del lejano Oriente en provisiones a corto plazo. A medio-largo plazo también en innovación, si la capacidad de innovar se va a Asia.
- La falta de herramientas adecuadas de financiación del desarrollo tecnológico. La financiación pública se enfoca a consorcios muy grandes, con presupuestos inasumibles para las pequeñas empresa si no hay una gran empresa tractora en el consorcio.
- Dependencia cambio Euro/Dólar demasiado fluctuante, que afecta la exportación.

❖ Fortalezas

- Presencia en el tejido investigador de varios Centros Láser consolidados con experiencia en este campo
- La coyuntura económica que fomenta la reparación y mejora de componentes de alto valor añadido mediante técnicas tecnológicamente avanzadas, frente a compras de componentes a fabricante, que en la inmensa mayoría de casos es extranjero.
- Incremento de PYMES con vertiente más innovadora.
- Crecimiento de plataformas como FOTÓNICA21.

❖ Oportunidades

- Mercado sub explotado que permite crecimientos muy importantes a corto y medio plazo.
- El mercado láser internacional sigue creciendo. (Gran crecimiento del mercado de láser cladding en USA y Europa, lo que crea un mercado potencial de gran crecimiento para la exportación a las empresas españolas.)
- Demanda de sistemas más automatizados y con capacidades adicionales.
- Existencia en el mercado español de posibilidades para satisfacer la demanda de soluciones más complejas, específicas o de más calidad.
- Aprovechar la cantidad y calidad de los centros por parte de las empresas.
- Sectores como el del Patrimonio, textil, médico, alimentación, etcétera necesitan de nuevas tecnologías y nuevo equipamiento ante cambios en el mercado, en las normativas de calidad o necesidades de diferenciación.
- “Green Photonics”: tecnologías láser como habilitadoras de métodos de fabricación limpia y sostenible. Fuerte concienciación social y política que permite impulsar este tipo de aplicaciones.

4. CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA SALUD

4.1. Objeto

Emplear la Fotónica para conseguir nuevos enfoques en las ciencias de la vida y en el cuidado de la salud que permitan pasar del costoso tratamiento actual después de la aparición de una enfermedad, a la detección y la prevención de la enfermedad lo antes posible, en etapas previas o iniciales de desarrollo. Esto ofrece una mayor supervivencia del paciente, tratamientos menos intensivos, y una reducción significativa de los costes de atención después del tratamiento. Métodos quirúrgicos menos invasivos que utilizan herramientas automatizadas, y en miniatura capaces de localizar y eliminar totalmente los tumores. Emplear tratamientos no invasivos o mínimamente invasivos, pero altamente orientados, basados en la luz, que se utilizan en combinación con otras medidas terapéuticas, junto con diagnóstico fotónico en tiempo real durante el tratamiento, con lo que se espera mejorar considerablemente la eficacia de la curación y reducir los tiempos de recuperación.

4.2. Visión general del mercado, principales tendencias, actores y retos

Los cambios demográficos globales pueden tener consecuencias drásticas para los sistemas de salud de los países industrializados. El grupo de edad 0-15 ya está disminuyendo, mientras que el número de las personas mayores de 65 años se duplicará, y ascenderán a 1000 millones en todo el mundo, en 2030. Por consiguiente, la aparición de enfermedades relacionadas con la edad como el Alzheimer, infarto de miocardio, accidente cerebro vascular, degeneración macular relacionada con la edad, y el cáncer se incrementará dramáticamente.

La creciente carga de las poblaciones mayores para los sistemas de salud está en conflicto directo con la disminución del número de personas en edad de trabajar que tienen que cumplir con el contrato de apoyo intergeneracional. Según el Instituto de Berlín para Población y el Desarrollo actualmente hay 25 personas en el grupo de edad de mayores de 65 años por cada 100 europeos en edad de trabajar (15 - 65). Para el año 2050 esta relación se deteriorará aún más y pasará a ser de 53 adultos mayores de 65 años por cada 100 europeos en edad de trabajar. En ese año se espera que Italia, España y Bulgaria tengan la población más envejecida de Europa. Mientras que en Alemania la proporción entre las personas en edad de trabajar y los jubilados se reducirá casi a la mitad, de 3 a 1,6. El gasto sanitario por habitante en edad de trabajar (la métrica relevante para una solidaridad basada en sistema de salud) se multiplicará, y nos encontramos ante un enorme desafío para proporcionar un cuidado adecuado de la salud para todos los ciudadanos europeos en el futuro. Este desafío puede alcanzarse mediante avances que conduzcan a nuevas tecnologías médicas rentables.

Además de aumentar los costes del apoyo social y las necesidades médicas, el aumento de las personas mayores con una movilidad menor será acompañado con una disminución del número de médicos. Proporcionar atención médica integral será cada vez más difícil, sobre todo en las zonas rurales.

Para afrontar estos retos, necesitamos un cambio de paradigma, pasar del tratamiento actual de costos de obra después de la aparición de la enfermedad, a la detección y la prevención de la enfermedad lo antes posible. Tres cuartas partes de los gastos mundiales en salud se dedican al tratamiento de enfermedades avanzadas. En este caso, la Biofotónica demuestra su enorme potencial como una tecnología clave para identificar la causa raíz de las enfermedades en lugar de aliviar síntomas existentes. Los avances tecnológicos en Biofotónica traerán una nueva esperanza con respecto al diagnóstico y tratamiento de enfermedades que no pueden ser tratadas en la actualidad. Ello permitirá, en los próximos 5 a 10 años, establecer puntos de atención al paciente con equipos para la medida de multitud de parámetros biomédicos que trabajen en tiempo real. En un futuro no muy lejano, nuestro asistente digital personal, será capaz de controlar nuestro estado de salud y proporcionar la orientación necesaria. La BioFotónica también podrá mejorar y acelerar el diagnóstico molecular, por lo que contribuirá a dar el gran paso hacia la medicina personalizada y una mejor calidad de vida.

4.3. Posición de la tecnología en Europa y España

Las aplicaciones industriales de las tecnologías ópticas y Fotónicas se enmarcan dentro de un gran número de sectores industriales, entre los cuales se encuentran las ciencias de la salud o la nanotecnología. La creciente demanda de tecnología de última generación en dichos sectores marca una clara tendencia hacia la interdisciplinaridad y desarrollo de nuevas líneas de investigación que permitan

dar respuesta a las necesidades de un mercado en alza debido fundamentalmente al aumento de la esperanza de vida y el envejecimiento de la población. En el campo de la salud la mejora de los procedimientos de diagnóstico y tratamiento actuales se ve fuertemente condicionada por los futuros avances tecnológicos que se produzcan en el campo de la óptica y la Fotónica. Por lo tanto los retos tecnológicos identificados en este sector, no sólo darán respuesta a la demanda sanitaria actual sino que servirán como fuente de nuevo conocimiento para el desarrollo de nueva tecnología como respuesta a una inminente demanda futura.

4.4. Retos tecnológicos y áreas de investigación prioritarias para España

Para dar respuesta a la incipiente demanda en las ciencias de la vida y de la salud, las áreas de investigación prioritarias en el campo de la óptica y la Fotónica deben enfocarse en dos vertientes fundamentales. Una de ellas relacionada con el diagnóstico precoz y la otra con el tratamiento personalizado, con la posibilidad de aunar ambas en una plataforma de teranóstico que incluyera diagnóstico y terapia combinada. Ambas vertientes marcan los retos tecnológicos que habrá que afrontar en un futuro y presentan implicaciones en diversos campos del conocimiento.

Para poder diagnosticar de forma precoz el riesgo de sufrir una futura patología o detectarla en un estado inicial, es preciso desarrollar equipos ópticos que permitan identificar y estudiar el origen y la evolución de una patología a nivel celular. También es necesario trabajar a nivel macroscópico (tejido, órgano), procurando el desarrollo de técnicas ópticas que permitan realizar un diagnóstico preciso in vivo y mínimamente invasivo. Por lo tanto la implantación de una medicina preventiva conlleva la implicación de diversos sectores en diferentes líneas de investigación relacionadas con:

- Técnicas ópticas para el entendimiento de los mecanismos bioquímicos, metabólicos y procesos de las células, que permitan realizar diagnósticos a nivel celular e identificación de riesgo de padecer una determinada patología.
- Sistemas de creación y manipulación de imágenes en 3D para la visualización in-vivo y monitorización de regeneración de tejidos y evolución de terapias.
- Técnicas de diagnóstico in vivo no invasivas robustas de gran resolución y sensibilidad (Tomografía de Coherencia Óptica (OCT), microscopía, métodos espectroscópicos o técnicas no lineales (dos fotones, Raman o CARS)).
- Identificación de los biomarcadores implicados en procesos de inicio de enfermedades como proteínas, microRNA, alteraciones epigenéticas, mutaciones genéticas, entre otras. La técnicas Fotónicas podrían ayudar a agilizar la identificación de dichos biomarcadores.
- Biosensores fotónicos de altas prestaciones para la detección de biomarcadores identificativos del comienzo de una enfermedad o propensión a la misma en volúmenes muy reducidos de todo tipo de muestras de pacientes (sangre, orina, suero, lágrimas, sudor, saliva, etc…) Los dispositivos podrían permitir un análisis descentralizado y mínimamente molesto para los pacientes.
- Monitorización de regeneración de tejidos
- Cirugía guiada in vivo e in situ.

Igualmente el desarrollo de nuevas terapias cuyo denominador común sea la personalización de un tratamiento mínimamente invasivo irá ligado a la evolución de dispositivos y componentes ópticos que permitan no sólo aplicar una radiación óptica como parte del tratamiento sino que posibiliten la mejora de las técnicas de iluminación utilizadas actualmente. Para ello se precisará aunar esfuerzos en diferentes líneas de investigación como:

- Investigación con células madre.
- Terapia fotodinámica (desarrollo de nuevos fotosensibilizadores, fuentes de iluminación, nanotecnología).
- Terapias fototérmicas (nanotecnolgía).
- Desarrollo de fármacos a medida.
- Enfermedades neurodegenerativas.
- Cirugía endoscópica mejorada y mínimamente invasiva.
- Ingeniería de tejidos.

4.5. Impacto en el mercado, objetivos a medio plazo

En la actualidad, muchos de los desarrollos en este campo se encuentran aún en su infancia o en un estado de demostración. Están muy lejos de alcanzar los niveles esenciales de seguridad y eficacia requeridos para la aceptación clínica o utilización comercial, tampoco coinciden con los ciclos cada vez más cortos de la producción industrial. Por otra parte, es importante tener en cuenta la manejabilidad del producto final, el cual debe ser simple y seguro en su utilización. Estas medidas llevan tiempo y necesitan una inversión importante.

A pesar de esto, está claro que los beneficios potenciales de Biofotónica darán lugar a una multitud de nuevos desarrollos que mejorarán la salud, la esperanza de vida y la calidad de vida en Europa y España. Además, reducirán los costos de manera significativa y contribuirán a reforzar la posición europea y mantener su liderazgo en Biofotónica en comparación con Asia y los Estados Unidos. La financiación pública ha sido clave para el progreso de la medicina, y es sin duda esencial para seguir avanzando en la atención de la salud. La buena salud es, sin duda, algo que todos buscamos, y una población sana es una medida primaria de la verdadera prosperidad de España y Europa.

4.6. Resumen ejecutivo. Conclusiones y recomendaciones clave

Las nuevas soluciones en Biofotónica desempeñarán un papel clave en la envejecida sociedad europea y española. Su aplicación en las ciencias de la vida y la medicina ayudarán a detectar y tratar enfermedades graves, como el cáncer, las patologías y demencias relacionadas con el envejecimiento de la población, como por ejemplo el Alzheimer, y las enfermedades del ojo, entre otras, de manera más eficiente y fiable. La Biofotónica también se utilizará para obtener un conocimiento más preciso del origen de las enfermedades con el fin de prevenirlas. La salud futura se centrará en una medicina personalizada que responda a las necesidades de pacientes individuales. Todo ello contribuirá a conseguir un sistema de asistencia sanitaria más eficiente y ayudar a contener los costes crecientes del cuidado de una población envejecida.

ANEXO.

Análisis DAFO: La I+D en Fotónica de las Ciencias de la Vida en España.

❖ Debilidades

- Dificultad para involucrar a compañías biosanitarias/biomédicas líderes en España.
- A pesar del buen nivel teórico/fundamental hay un escaso nivel de desarrollos tecnológicos en los centros de I+D que pudieran ser potencialmente transferibles a las empresas privadas.
- Falta de planificación estratégica a largo plazo de las administraciones públicas españolas en I+D.
- Fragmentación y falta de coordinación entre los diferentes agentes involucrados en desarrollos interdisciplinares (Biología, Bioquímica, Clínica, Medicina, Ingeniería biomédica, Física, Farmacia, Química).
- Falta de visibilidad y concreción de la biofotónica debido a su transversalidad (física, biología, química, ingeniería).
- Falta de cultura de creación de Spin-Off universitarias, consorcios y agrupaciones con fines concretos (a corto y largo plazo: Plataformas, UTEs…).
- Falta de cultura de capital riesgo emergente, con la subsiguiente dificultad para obtener los elevados niveles de inversión para el desarrollo de nuevos productos en éste sector.
- Débil transferencia desde el entorno del sector público al sector socio-económico.
- Falta de infraestructuras científico/tecnológicas adecuadas para la fabricación de dispositivos fotónicos, especialmente a escala nanométrica. Las infraestructuras existentes están muy fragmentadas y no pueden aportar el grado de desarrollo tecnológico necesario para ser competitivos.

❖ Amenazas

- La presión tecnológica y corporativa de los países y empresas tractoras.
- Amplia competitividad en Biofotónica de los países emergentes europeos y no europeos.
- Europa ha aceptado la biotecnología y la Fotónica como KET (tecnología clave habilitadora): No hacer lo propio en España sería una grave amenaza.
- Reducción de presupuestos, una falta cada vez mayor de planificación y un escaso impulso al desarrollo tecnológico.

❖ Fortalezas

- Existencia de centros de I+D y universidades con alto nivel científico y tecnológico.
- Hospitales, nuevos centros de I+D y agrupaciones empresariales de referencia específicas en biociencias.
- Mayor nivel de interrelación entre los diferentes actores incluidos hospitales, gracias a iniciativas como CIBER o a los propios grupos/centros de investigación.

❖ Oportunidades

- Mercado con un fuerte desarrollo creciente a pesar de la crisis económica.
- Grandes posibilidades tanto de nichos de mercado como de nuevos campos de aplicación.
- La Fotónica es una de las tecnologías que realmente puede contribuir al desarrollo de nuevas técnicas de bajo coste, que pueda asegurar un diagnóstico precoz y un tratamiento no invasivo.
- La Fotónica es una tecnología clave habilitadora europea.
- Nueva política de aplicación de los fondos estructurales europeos. Con convocatorias específicas para Biofotónica y Fotónica médica.

5. ILUMINACIÓN Y DISPLAYS

5.1. Objeto

El objeto de este capítulo es hacer una revisión general de la agenda estratégica dentro del campo de la iluminación y los displays en España. Se pretende dar una visión del estado actual del sector, sus ambiciones, retos, limitaciones y sus perspectivas de futuro.

En la sección 2, se hace una revisión del mercado, con sus principales motores y retos. La sección 3, pretende dar una visión objetiva del sector en Europa y España, identificando tanto sus puntos fuertes y sus oportunidades, cómo sus debilidades y amenazas. En la sección 4, se describen los principales retos a nivel tecnológico, y las prioridades en los sectores de diseño de materiales, fabricación de dispositivos e integración de sistemas. En la sección 5 se describe el impacto de esta tecnología en el mercado europeo y español. Finalmente, en la sección 6, se resumen las conclusiones y recomendaciones que nos parecen más pertinentes.

5.2. Visión general del mercado

Uno de los sectores de la Fotónica con mayor presencia en el entorno popular es el de la iluminación y los displays. Como ejemplo, todos tenemos la necesidad de iluminar nuestros hogares, preferiblemente de una forma cada vez más económica, y por otro lado, existe una altísima difusión de todo tipo de equipos electrónicos (comunicaciones, juegos, ocio) que se consumen a todas las edades. Este consumo masivo de sistemas de iluminación de estado sólido (Solid State Lighting, SSL) y la capacidad española de desarrollar nuevos sistemas de visión (fuentes orgánicas, componentes fotónicos, visualizadores ópticos y electrónica), pueden posicionarnos como un actor importante en el campo de la iluminación, la electrónica orgánica y de gran formato (OLAE) o los sistemas de óptica integrada.

Es de esperar que, a lo largo de la próxima década, los sistemas de iluminación convencionales vayan actualizándose a nuevos sistemas basados en tecnologías digitales: LEDs y OLEDs, sensores fotónicos y sistemas inteligentes. Combinando la gran experiencia de que se dispone en diseño de iluminación y la emergente fortaleza en tecnología Fotónica, la industria española puede jugar un importante papel ofreciendo iluminación de alta calidad con una menor huella ecológica. Este conocimiento y reconocida tradición en aplicaciones de iluminación reside en un buen número de PYMES y centros de investigación españoles.

Las ventajas potenciales ofrecidas por las soluciones SSL permiten asumir una producción a gran escala y ecológicamente eficientes que pueden suponer un crecimiento sostenido en nuevas áreas tangenciales a este sector. Como ejemplo:

- ✓ La integración de sistemas fotovoltaicos híbridos y orgánicos en edificios y ventanas podrá contribuir significativamente a la realización de comunidades y edificios eco-energéticos.

La fabricación económica en serie de componentes específicos y los sistemas inteligentes que éstos posibilitarán desarrollar, resultarán en la creación de más oportunidades de negocio. Como ejemplos:

- ✓ Etiquetas orgánicas inteligentes pueden proporcionar una gran funcionalidad electrónica en el entorno de la logística, que es muy sensible a los precios.
- ✓ En el campo de la salud, la adaptabilidad de la electrónica orgánica a las necesidades individuales puede ser el camino para la realización de diagnósticos y terapias médicas personalizadas.

El desarrollo de técnicas de producción escalable y de bajo coste puede proporcionar a España una oportunidad de introducirse en el mercado de la fabricación de luminarias y displays, pasando a tener cierto control sobre todo el proceso de producción: diseño, fabricación e integración de los sistemas.

En resumen, las principales tendencias y retos que se identifican en el mercado español son los siguientes:

	Iluminación	Displays
Tendencias	Incorporación LED/OLED de manera inmediata y rápida (como sustitución de sistemas antiguos).	3D y grandes formatos
	Control de la iluminación alumbrado: urbano, interior, control de nivel de iluminación, temperatura de color, sensores, pre-programación (sistemas regulables).	
Retos	Reducción de precios / Incremento de la eficiencia / Ahorro energético.	

Tabla 5.1: principales tendencias y retos identificados en el mercado español

5.3. Posición de la tecnología en Europa y España.

Tres aspectos primordiales son necesarios conseguir para poder instrumentalizar y llevar a cabo la visión explicada en el apartado anterior:

- Nuevos materiales con funcionamientos optimizados.

  La investigación en nuevos materiales para iluminación y displays debería enfocarse en la optimización de su funcionamiento a un coste menor. En concreto, en el sector de los OLAE, se necesita mejor significativamente el rendimiento de los diseños así como su funcionamiento para grandes tamaños si se desea competir con otras soluciones tecnológicas existentes actualmente. Con el fin de servir al mercado nuevos sistemas sostenibles, escalables, adaptables y de fácil uso, es necesario que los nuevos componentes fotónicos se integren en todo tipo de sistemas que sean además eficientes energéticamente.

- Mejores componentes, integración de dispositivos y arquitecturas de sistemas que sirvan para solucionar las necesidades de las diferentes aplicaciones.

  La integración de estos sistemas ya se está produciendo en displays y dispositivos inteligentes. Sin embargo, la llegada del control digital de iluminación requerirá definir los procesos de integración en estos ámbitos. Comparado con los sistemas TIC, los sistemas de iluminación típicos requieren una densidad nodal mucho mayor y disponen de un menor ratio de intercambio de datos, por lo que se necesitarán desarrollar nuevas arquitecturas que permitan proporcionar soluciones económicamente viables al mercado.

- Procesos y metodologías de fabricación sostenibles y de bajo coste.

  El tipo de proceso de fabricación tiene impacto en el precio final de la tecnología: ensamblaje de alta velocidad, recubrimientos y grabado de entramados de grandes superficies, así como la fabricación por extrusión o roll-to-roll son tareas críticas para el abaratamiento de costes, por ejemplo de OLED, por debajo de los actuales. Dentro del sector particular de las aplicaciones móviles y flexibles, se espera poder ofrecer nuevas técnicas de impresión y laminación más económicas que las actuales o, al menos, procesos de fabricación compatibles con la maquinaria actualmente disponible.

❖ Papel de la UE y de España en el estado de la tecnología

En relación al papel de Europa en estas tecnologías, hay que tener en cuenta que el coste de la I+D en Fotónica es sustancial, comparable al nivel de la industria de semiconductores. Sólo los esfuerzos de investigación conjunto a nivel europeo, o al menos nacional, es viable y efectivo dados los limitados recursos disponibles. La integración vertical de los diferentes entornos (diseño de materiales, fabricación

de dispositivos, integración de sistemas) dentro del programa marco puede propulsar este esfuerzo de I+D.

Además de la necesidad de la investigación, es necesario soporte vital para las tecnologías más cercanas al mercado, con el fin de promover la industrialización y la comercialización. Sólo la investigación no garantiza el éxito comercial. Por ejemplo, a pesar del hecho que durante los pasados cinco años un gran número de estudios de alto nivel han mostrado que la inversión en iluminación eficiente rápidamente amortiza los costes iniciales de la inversión, estos costes iniciales aún siguen viéndose por los usuarios como un obstáculo para adoptar esta tecnología. La UE y otras autoridades públicas pueden representar un papel fundamental, y modificar la mentalidad de las compañías y los ciudadanos, adquiriendo o promocionando estatalmente estas tecnologías y actuando como clientes prescriptores validando los resultados del I+D realizados en condiciones del mercado real. Como resultado de esta validación, la UE/España sería capaz de establecer los requerimientos precisos para adjudicaciones públicas ecológicas en toda Europa y en nuestro propio país.

Otra tarea importante sería la protección de los ciudadanos de productos fabricados por debajo de los estándares, normalmente importados de fuera de Europa. Esta tarea requeriría la introducción rápida de etiquetas de calidad para iluminación de estado sólido SSL y fotovoltaica PV que restringieran la difusión de productos baratos de bajísima calidad y pervivencia incierta en el tiempo.

❖ Infraestructuras y otras plataformas

La integración vertical del esfuerzo de investigación mencionado antes (Diseño – Fabricación – Integración) no solo aplica a la UE o al país, sino a otras plataformas tecnológicas relacionadas con este sector. La reunión de esfuerzos conjuntos entre las plataformas en torno a temas sociales relevantes es la forma óptima de coordinar acciones dentro de los diferentes instrumentos de la UE. Sin perder de vista el objetivo de la industrialización y comercialización, es también necesario formar acuerdos efectivos con todos los componentes de la cadena de valor: usuarios/as, propietarios/as, instaladores/as de sistemas, diseñadores/as de iluminación y arquitectos/as.

En cuanto a la fabricación, por ahora requiere equipos de producción sofisticados, así como infraestructuras de salas blancas, que son la primera causa del incremento en el precio de I+D y fabricación de estos dispositivos, aunque también favorecen la eficiencia en la producción permitiendo grandes rebajas de costes con un mínimo de inversión. Por una falta de coordinación, se han construido a todo lo largo de Europa infraestructuras similares que cubren muchas de las aplicaciones potenciales. Por ello, es recomendable que los centros existentes tengan un enfoque claro acerca de las posibles aplicaciones y que se hagan mejoras significantes en su acceso a potenciales usuarios dentro del campo de la industria de la iluminación.

Más concretamente en relación al papel de España, la posición tecnológica se centra en la parte inicial y final del proceso: se diseñan componentes y se integran, pero no se fabrican, por lo que se debería:

- ✓ Actualizar los procesos de producción de industrias fabricantes en España para que puedan fabricar sin demasiada variación en sus procesos otro tipo de productos fotónicos (por ejemplo, serigrafías en tintas electroluminiscentes).
- ✓ Promover el entrenamiento en los procesos de producción a Spin-offs, Start-ups y PYMEs, así como su posterior adquisición de maquinaria para la fabricación (por ejemplo, mediante la facilitación del acceso a capital riesgo).
- ✓ Mejorar la capacidad de fabricación de los centros existentes con equipos de producción de pocas unidades o prototipos, con el fin de que tengan acceso a industrias que son usuarios potenciales de la tecnología (por ejemplo, muchas OPIs y centros de investigación con equipamiento para I+D)

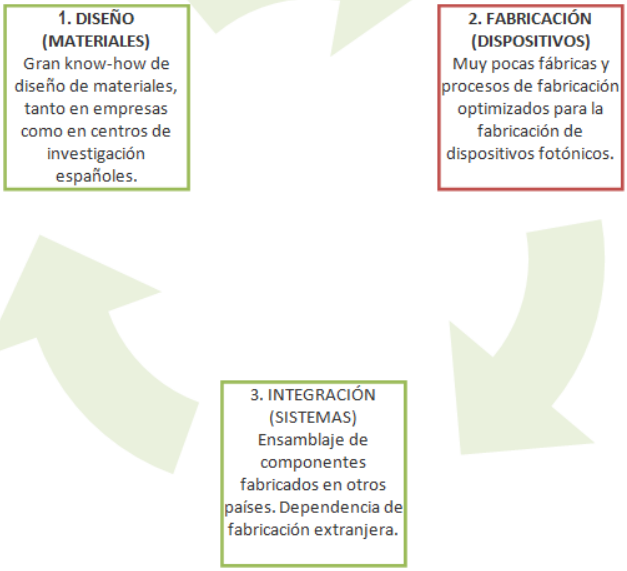

Fig.5.1: Relación entre el diseño, la fabricación y la integración

5.4. Retos tecnológicos y áreas de investigación prioritarias

A corto plazo (2-4años)

Sectores	I+D	Industrial
Materiales (Diseño)	Vidrios electrocrómicos. Optoelectrónica impresa: Tintas electroluminiscentes para OLED.	Materiales para LED: alta eficiencia interna (>80%), nuevos sustratos y emisores, conversores de color.
Dispositivos (Fabricación)	Tecnologías de packaging: gestión de calor, mejora de la transmisión, soldaduras, nano-estructurados.	
Sistemas (Integración)	Realización de patrones de referencia de iluminación, p.e. Intensidad luminosa. Percepción de la imagen en 3D y estudios de salud ocular en la visión. Percepción de iluminación y su adecuación a diferentes actividades humanas. Sistemas de control de la emisión luminosa.	Displays en color. Displays para personas con discapacidad visual o auditiva. Aprovechamiento de la luz natural (lumiductos, guiado por fibra óptica). Optoelectrónica LED impresa: optimización de procesos de fabricación (basados en serigrafía). Uso de microdisplays para conformado de haces luminosos.

Tabla 5.2: Retos a corto plazo

A medio plazo (4-7 años)

Sectores	I+D	Industrial
Materiales (Diseño)	Materiales para LED inorgánicos: nuevos sustratos + baratos y eficientes, gestión de calor.	
Dispositivos (Fabricación)	Integración de emisores nano estructurados: nanotubos, nanohilos, puntos cuánticos. Tejidos fotónicos.	OLED de gran formato para iluminación general.
Sistemas (Integración)	Integración monolítica de tecnología LED. Inteligencia ambiental.	Visualizadores ópticos basados en láseres de cavidad vertical (VCSEL). Iluminación para control vegetal (invernaderos). Vidrios electrocrómicos para edificios inteligentes.

Tabla 5.3: Retos a medio plazo

5.5. Impacto en el mercado

Volumen de mercado

A nivel europeo, las acciones planteadas en el campo de la iluminación producirán un incremento del mercado europeo de un 35% por encima del nivel actual. El mercado global de la iluminación está previsto que crezca desde los 50 billones de euros actuales (de los cuales menos de 5 billones de euros son debidos a la tecnología SSL) a 120 billones de euros en 2020 (de los cuales 90 billones serán debidos al SSL).

En definitiva, el mercado de la iluminación es enorme y se estima que se triplique hacia el 2020.

El mercado europeo de OLAE se estima que crecerá hasta 100 billones de euros para el año 2020. En España existen empresas de fabricación de partes de esta tecnología, en concreto, de recubrimientos en vacío e impresión, lo que podría posicionarnos dentro del mercado si se consiguen actualizar y optimizar los procesos de fabricación para permitir fabricar estos dispositivos sin demasiada inversión en nueva maquinaria.

Ahorro energético

Se espera que las fuentes de luz de estado sólido SSL superen las especificaciones de funcionamiento de los otros tipos de fuentes de luz en términos de eficiencia y ofreciendo ahorros energéticos del 50%.

A este cálculo se añade un 20% de ahorro energético que se produciría combinando la iluminación por SSL (LED, OLED) con sistemas de gestión inteligente para regular la emisión luminosa de acuerdo con las condiciones ambientales o con la presencia de personas y su actividad concreta.

El análisis de McKinsey, sobre la bajada del coste del carbón, muestra que el uso de SSL es la segunda fuente potencial de ahorro, después del aislamiento de los edificios. En este sentido las inversiones en iluminación SSL contribuirán sustancialmente al Plan Europeo Estratégico y Tecnológico de la Energía y a reducir costes en muchas administraciones y grandes empresas españolas.

Integración con otros sistemas (PV)

La integración de SSL, fotovoltaica orgánica y sensores de gran área en componentes de edificios creará un gran avance hacia la realización de edificios consumidores de poca energía y comunidades eco-

eficientes. Sin embargo, para hacer frente a la futura demanda de energía de las ciudades, también se requerirá la instalación de grandes áreas con placas solares. Con la tecnología actual fotovoltaica basada en el silicio, no sería posible incluir estas grandes superficies en una infraestructura urbana, de forma que el desarrollo de sistemas OLAE que cumplan con esta función, sobre varias superficies (ventanas, fachadas) y sin interferir en su funcionalidad, puede hace posible la colección de energía para consumo urbano.

Fabricación

Debido a la alta difusión y uso popular de estas tecnologías, estas tienen muy altas posibilidades de proyección, sobre todo en productos cuya tecnología de fabricación no es radicalmente diferente de la existente (por ejemplo. impresión de tintas electroluminiscentes).

Así mismo tendrán alto impacto en el mercado nacional si se desarrollan tecnologías de fabricación propias, pasando del reconocido know-how académico a la optimización de procesos industriales propios.

5.6. Conclusiones y recomendaciones clave

Existen grandes oportunidades de desarrollo del sector de la iluminación los displays ante las políticas de ahorro energético.

Es necesario facilitar y proponer el acercamiento entre grupos de investigación y empresas desarrolladoras para realizar una rápida transferencia de tecnología y poder desarrollar productos tecnológicos novedosos.

Es necesario incentivar las empresas de base tecnológica con el fin de promocionar el desarrollo de la tecnología industrial de fabricación.

Todas estas recomendaciones mejorarán significativamente el posicionamiento internacional de la empresa española si se asumen nuevas *tecnologías de fabricación* en iluminación y en displays.

ANEXO.

Análisis DAFO: La I+D en Fotónica de la Iluminación y los Displays en España.

❖ Debilidades

- Ausencia de industria tecnológica de fabricación de base (componentes)
- Falta de conexión entren investigación y fabricación/integración, entre centros y empresas.
- La falta de actividad de I+D en empresas frena en la velocidad de tecnificación en iluminación.
- Nos vendemos mal: existencia de gente especializada, existe conocimiento e información tecnológica de personal en las empresas de iluminación.
- Falta de cultura de inversión capital-riesgo para la realización de proyectos tecnológicos.

❖ Amenazas

- La innovación industrial externa
- La gran velocidad de desarrollo que llevan otros países con respecto a la nuestra
- Falta de multinacionales españolas en el sector o implantación de fábricas extranjeras en el territorio nacional
- Migración del conocimiento
- Falta de competitividad

❖ Fortalezas

- Gran valor añadido en la manufactura artesanal y tradicional
- En el mercado de “Aparatos de iluminación” (y decoración) se entiende que el producto español tiene una gran calidad
- Entrada en el mercado de iluminación de empresas que vienen del campo de la electrónica (de domótica en construcción)
- Después de Alemania e Italia, España es la tercera potencia europea en iluminación (fabricación de luminarias, normativa)
- Buena base científico-tecnológica académica

❖ Oportunidades

- Preocupación por el ahorro energético: implica inversión en desarrollos
- Gran impacto mediático: la iluminación es de dominio público
- Legislación europea que indica requerimientos de ahorro obligatorio
- Transferencia tecnológica de los grupos de investigación a las empresas con el fin de actualizar, incrementar o tecnificar el catálogo de productos para competir
- Internacionalización

6. SEGURIDAD, SENSORES Y COMPONENTES

6.1. Objetivo

La mejor manera para que las necesidades y capacidades del mundo de la fotónica, y en particular las de los procesos de fabricación fotónicos, sean mejor valoradas por las instituciones es enfocando la agenda estratégica en la dirección de abordar necesidades a corto y medio plazo de la sociedad. Siguiendo esta premisa, se sugiere preparar la SRA de este año con un enfoque claro a las aplicaciones, en particular, a aquellas que afronten retos sociales reales (siguiendo la línea marcada por Photonics21).

6.2. Visión

El siglo XXI es el siglo de los fotones, como el pasado fue de los electrones. El desarrollo de la tecnología fotónica impactará en todo el campo de aplicaciones y servicios de la sociedad europea: comunicaciones, industria manufacturera, Salud, Biotecnología y Ciencias de la Vida, Iluminación y Seguridad, por citar algunos ejemplos. La generalización de las ventajas ofrecidas por la Fotónica en sus campos de aplicación requiere previamente que exista un "ojo" para ver y/o gestionar la luz, siendo éstos los sensores fotónicos, lo cual los confiere como indispensables para el dominio de los fotones y las ventajas para cada una de las aplicaciones.

En efecto, y a modo de ejemplos, los sensores fotónicos son la técnica clave para proporcionar atención sanitaria moderna a coste asumible. El desarrollo de conceptos como "laboratorio en un chip" ofrecen la posibilidad de diagnóstico precoz en línea no invasivo y fiable de las enfermedades. Los sensores de fibra serán capaces de distinguir a nivel de tejido partes enfermas de partes sanas, facilitando su eliminación mediante cirugía mínimamente invasiva. Para finalizar, los detectores de rayos x de máxima sensitividad y resolución reducirán la dosis de exposición a rayos x necesaria en los exámenes radiológicos quedando muy por debajo del límite de riesgo, y aumentando considerablemente la seguridad del paciente.

Para garantizar y generalizar la implantación del concepto de Seguridad dentro de Europa, los controles de datos biométricos en las fronteras nacionales (aeropuertos, puertos marítimos, …) se están convirtiendo en indispensables. En el futuro se llevará a cabo la mayoría de estos controles por sensores ópticos altamente sensibles e inteligentes que serán capaz de detectar todos los datos necesarios (cara, reconocimiento de iris, huellas dactilares, patógenos, etc.). Éstos incluso podrían colocarse remotamente para permitir mediciones fiables y minimizando los tiempos de espera, pero sin comprometer la fiabilidad de los controles. De relevancia en este campo es la utilización del rango del espectro electromagnético denominado “Terahercios” (THz), que puede tiene una amplia gama de penetración en los materiales permitiendo una inspección en materiales de embalaje, y así tiene aplicaciones amplio potenciales para la producción de alimentos y la seguridad. En particular drogas y explosivos tienen firmas características en el rango de frecuencia THz, lo que ofrece mucho mejores capacidades para la detección de estos materiales. Incluso en protección de fronteras y aeropuertos es un competidor directo a los sistemas de Rayos X por dos principales motivos: menor dosis de exposición energética a personas y comodidad en los controles puesto que se evitarían las colas actuales en los accesos a aeropuertos precisamente por su alta capacidad de detección de sustancias ocultas precisamente por su transparencia a los materiales.

Las mejoras y optimización de los procesos manufactureros es un desafío clave para Europa en las próximas décadas con vistas a la competitividad en los mercados y al cuidado medioambiental. La fotónica en general (y los sensores en particular) desempeñará un papel fundamental en lograr esto. Sensores compactos, totalmente integrados, y de bajo consumo energético que sean capaces de proporcionar medidas 3D en tiempo real permitirán un control preciso del proceso de producción. Un beneficio económico adicional resultará de la capacidad para producir productos totalmente personalizados con requisitos de configuración de equipo mínimo. Además, la combinación de sensores ópticos con bajo consumo de fuentes de luz (LEDs) proporcionará los componentes clave de sistemas de iluminación inteligentes futuras, ofreciendo seguridad y mejorar la seguridad, mientras que minimizará consumos de energía, contribuyendo a la sostenibilidad del modelo energético futuro.

El desarrollo de sensores fotónicos inteligentes repercutirá rápidamente numerosos aspectos de nuestra vida cotidiana. Por ejemplo, y un sector industrial donde se prevé a corto plazo que la fotónica tendrá un impacto relevante, si no lo está teniendo ya, es la industria de la automoción. Así, el coche del futuro estará lleno de sensores fotónicos inteligentes: éste reconocerá al conductor cuando entra en el coche, gestionará la electrónica del vehículo para ajustar la configuración preferida del conductor identificado, e

incluso supervisará el estado de fatiga durante el viaje, lo que permitirá prevenir y evitar accidentes de tráfico. Otro tipo de sensores fotónicos supervisará el estado de la carretera y el entorno del vehículo durante su trayecto, mediante sistemas de visión tanto diurna como nocturna. Estos sistemas de visión ya se implantan en ciertas marcas de gama media-alta. La tendencia es que este tipo de sensores desarrollen el concepto de "conducción autónoma", un desarrollo considerado esencial para mantener la movilidad de los individuos en una sociedad que tiende a envejecer como la europea.

En el campo de las comunicaciones e información, las crecientes capacidades de los sistemas TIC incorporando comunicaciones de alta velocidad, procesadores más poderosos, o computación óptica incluso, requerirá una mayor sofisticación de interfaz de usuario para maximizar la eficiencia. Sensores fotónicos utilizados junto con las pantallas inteligentes se utilizará para proporcionar entradas de usuario basada en la gesticulación corporal y realidad aumentada para la mejora del control de futuros sistemas de computación.

6.3. Principales áreas de actividad y valor añadido.

Por citar un ejemplo de subsector basado en los sensores fotónicos, en la actualidad, se estima que el mercado europeo en el campo de los sistemas automatizados de visión supera el 30% del mercado mundial, estimado en 2010 en torno a unos 23 billones de euros, con un crecimiento incluso en estos días superior al 5% anual durante la presente década, al menos. A fin de posicionar y reafirmar esta posición competitiva europea en nuestro país, se estima que las siguientes líneas de actividad pueden ser relevantes a fin de alcanzar una posición competitiva en nuestras líneas de innovación activas en el estado:

Para el campo de los sistemas de navegación automatizada de aplicación en automoción, aeronáutica y ferroviaria, el desarrollo de sensores de alta sensibilidad, basados en la técnica denominada "single-photon detection", capaces de operar en toda condición ambiental, de bajo consumo y con capacidades de procesado de señal incorporadas a nivel de detector, el cual debe ser de área grande (matrices 3 D).

En el campo de la geriatría y monitorización vital, sensores de monitorización continua y remota de constantes biológicas de mínima intrusión.

En el campo de la seguridad (control de fronteras-tránsito de mercancías y personas-), sistema sensoriales en el campo de los THz que permitan controles en tiempo real (dinámicos) fiables y que minimicen la exposición a Rayos X de las personas.

Para muchas aplicaciones, tradicionalmente el objetivo de las actividades de innovación en el campo de sensores ha sido el de lograr cada vez mayor sensibilidades. Sin embargo, con vistas a aplicabilidades generalizadas y susceptibles de ser competitivas en el campo de sistemas autónomos como los descritos anteriormente, deben ser explorados otros enfoques con los objetivos explicados en los puntos anteriores. Esto da lugar a esfuerzos adicionales incluso a nivel de dispositivos (subsistemas) que deben estar enfocados a capacidades multifuncionales que se adaptan a las necesidades específicas de la aplicación en particular. Estos dispositivos deberán tener al menos la característica de ser monolíticos, proporcionando funcionalidades adicionales mediante la capacidad de procesamiento de señales y computación integrada e implementada a su nivel. Para ello, se consideran esenciales actividades de innovación orientadas a la aplicación nuevos conceptos de detección que se integran en el chip, procesamiento previo de capacidades tales como la correlación, filtrado de Fourier y otras funciones avanzadas. A nivel europeo, y sin ánimo de exclusividad, ya están siendo activas líneas de actividad innovadora en campos como imágenes en longitudes de onda en el rango de los THz, detección e imágenes por tecnología cuántica, detección directa de polarización y coherencia, medidas espectroscópicas para el campo de la seguridad (stand off detection) y tecnologías de tele observación distribuidas en el campo de la geo observación.

Estas nuevas funcionalidades requerirán nuevos conceptos disruptivos tanto en diseño de sensores como en obtención y análisis de las imágenes obtenidas, las cuales necesitarán las correspondientes herramientas de simulación e interpretación mejoradas.

Para finalizar y a modo de resumen, consideramos este momento crítico como esencial para la inversión en tecnología en sensores fotónicos para los campos descritos (sistemas autónomos de navegación, seguridad y Ciencias de la Vida) para asegurar y consolidar la posición de liderazgo de Europa en este sector. En particular, para el Estado español hemos reconocido las líneas potencialmente competitivas en las cuales puede consolidarse un sector industrial sostenido que aporte valor añadido al PIB nacional con la debida estrategia de implantación y soporte a su desarrollo.

A modo de guía de tendencias tecnológicas, se muestra el roadmap que la Plataforma europea "Photonics21" maneja para los desarrollos tecnológicos necesarios para la aplicación de sensores de imágenes inteligentes para sistemas de soporte para conducción y navegación. Explícitamente, se incluye un requisito de infraestructura específica CMOS compatible con imágenes proceso implementado en una "foundry" europea accesible a todos los estados miembros. Como puede observarse, se manejan tiempos compatibles con acciones nacionales con vistas a un posicionamiento competitivo a nivel nacional en este sector cuyas cifras generales de mercado se han dado anteriormente.

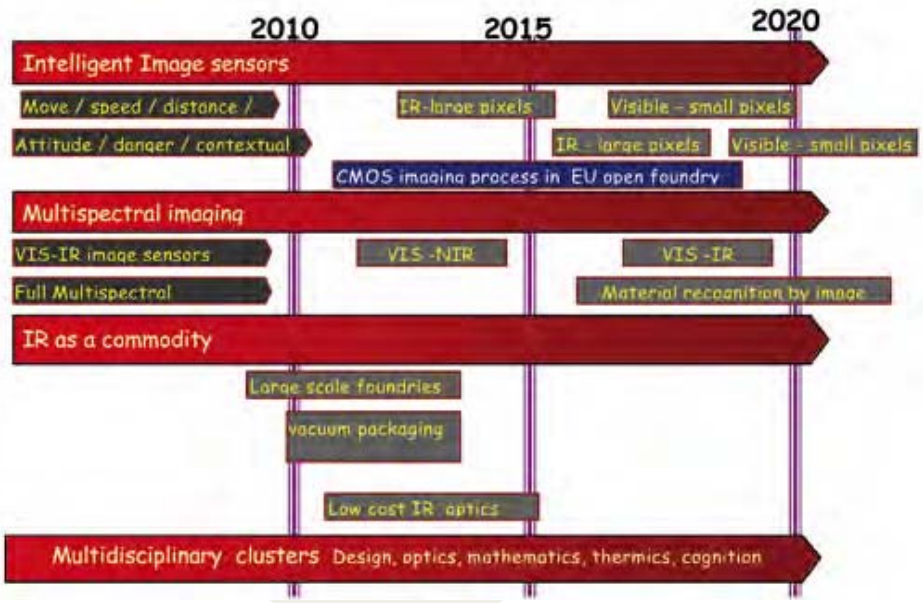

Fig. 6.1: Plazos de desarrollo de tecnología de sensores de imagen en tres bandas de longitud de onda. (VIS visible, NIR cerca de infrarrojos, IR infrarrojo con vistas a sistemas autónomos y de apoyo a navegación y automoción.

6.4. Impacto

Como se ha ilustrado previamente, los sensores fotónicos son elementos clave en numerosas aplicaciones en diferentes sectores industriales como salud, seguridad, automóvil o fabricación. El impacto resultante hace que el mercado de los sensores fotónicos y la metrología óptica tenga un mercado potencial inmenso, estimado a la fecha en 13.500 millones de euros anuales (sin incluir los 9.400 millones de euros del mercado de la salud). Además emplea a miles de trabajadores europeos de alto nivel, con poco riesgo de deslocalización en los países del extremo oriente.

Este campo se beneficia del liderazgo en la investigación de frontera en el campo de centros de investigación y universidades, siendo el mayor sector dentro de la fotónica. Representa el 22% del mercado europeo total en fotónica sin contar el sector defensa. Europa es el líder actual en varios de los segmentos de mercado, como cámaras para vigilancia, biosensores, monitorización estructural y las líneas estratégicas de investigación propuestas asegurarán el mantenimiento de este liderazgo.

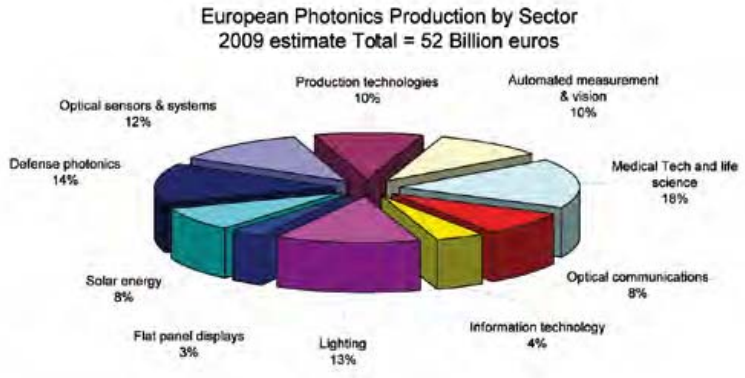

Fig. 6.2: Produccción europea (año 2009)

El impacto de los sensores fotónicos en las soluciones a los grandes retos sociales para el futuro de Europa será profundo, como ya lo evidencia el amplísimo rango de aplicaciones en las que se aplica esta tecnología. Algunos ejemplos para ilustrar esta potencialidad:

- Los sensores fotónicos proveerán sistemas para el diagnóstico precoz y avanzado y serán la clave para nuevos tratamientos más eficientes en una sociedad que envejece.
- Serán parte de una economía más sostenible, proveyendo técnicas de fabricación más eficientes y adaptadas al producto en fabricación.
- Harán nuestra vida más segura, mediante la incorporación de sensores de imagen inteligentes y multifuncionales, por ejemplo para la aparición de vehículos autónomos

6.5. Rol de la UE

Para mantener la claramente próspera industria de sensores fotónicos en España y Europa, hay que superar algunos riesgos claros. Es vital que Europa mantenga sus capacidades tecnológicas a través de la investigación de frontera. Para afrontar la creciente competencia internacional en el sector, la comunidad fotónica debe crear una cadena de valor coherente, más grande y más fuerte. Estos retos ambiciosos requerirán de esfuerzos en I+D para desarrollar conceptos totalmente nuevos, que inevitablemente irán acompañados de mayores riesgos, tarea que no puede ser llevada a cabo de modo individual por compañías independientes. Una iniciativa conjunta financiada y liderada por la Comisión Europea es esencial para armonizar programas de investigación en los estados miembros, facilitando la integración de los actores en Europa y evitando la fragmentación de los esfuerzos.

La fotónica en Europa está liderada básicamente por PYME, muchas de ellas altamente especializadas y líderes tecnológicas en su nicho. Sin embargo, estas compañías suelen tener el respaldo financiero para afrontar los riesgos de la innovación de alto riesgo. Es necesario, por tanto, un papel fundamental de la Comisión Europea financiando acciones coordinadas para potenciar la cooperación y las sinergias en la industria. La financiación continuada será fundamental para desarrollar el desarrollo de nuevas y mejores aplicaciones basadas en sensores fotónicos que proveerán tecnología dentro de cadenas de valor mucho mayores, como por ejemplo al proveer de los sensores que permitan el desarrollo de vehículos autónomos.

Este escenario se reproduce igualmente en España: PYMES innovadoras en esta tecnología que ofrecen sus soluciones a grandes compañías, que son las que están en contacto directo con el cliente final. De este modo, estas PYMES son generadoras activas de conocimiento, tecnología y riqueza. Sin embargo, existe una especificad a solventar en el caso español, la cual es una debilidad clara para su posicionamiento competitivo en el mercado: la gran mayoría les falta una visión estratégica comercial, aunque sus productos sean de altísimo nivel. Es por tanto, un reto nacional el apoyo a las acciones de impulso, tanto comerciales, como de innovación de este tejido empresarial de reconocida vanguardia en su “know how” y capacidades tecnológicas pero necesita de apoyo en sus acciones comerciales, máxime en el exterior.

6.6. Socios e infraestructura

Los sensores fotónicos y la metrología asociada son una tecnología habilitadora para un gran abanico de aplicaciones, de modo que la cooperación a lo largo de toda la cadena de valor es un requisito imprescindible para asegurar el éxito futuro. Esto requiere el compromiso de todos los actores principales, grupos académicos, instituciones de investigación e industria, particularmente las PYME y los usuarios finales. La colaboración en clusters, plataformas nacionales y proyectos en cooperación permitirán un diálogo efectivo para la diseminación del conocimiento y la innovación. Infraestructura s dedicadas, como instalaciones de fabricación a gran escala se requieren para mantener el empleo y la independencia tecnológica de Europa. Serán esenciales grandes esfuerzos en educación y formación para satisfacer la demanda de personal altamente cualificado. Esta necesidad se vería paliada mediante el establecimiento de programas de educación coordinados en toda Europa.

6.7. Diseño y fabricación de componentes y sistemas ópticos

❖ **Visión**

La diversidad de los sectores representados en la Plataforma FOTÓNICA21 muestra la importancia fundamental de la Fotónica en la sociedad moderna. Su impacto se siente no solo en los componentes y sistemas fotónicos, sino también en las aplicaciones mayores de las que es componente fundamental. Por ejemplo, es inconcebible el internet que hoy conocemos sin los sistemas fotónicos presentes en todos los eslabones de la infraestructura de telecomunicaciones. Las técnicas láser han revolucionado la industria, los sensores fotónicos proveen de un entorno más seguro y la iluminación de estado sólido es parte de la revolución hacia un mundo con menor consumo energético.

La visión de futuro es una industria fuerte en todos los niveles, desde los componentes hasta lo sistemas, incluyendo los equipos y métodos de fabricación. Aunque el impacto económico es más visible desde lo alto de la cadena de valor, la experiencia muestra que la competitividad es claramente dependiente del acceso a la tecnología fotónica a nivel de componentes. Si tecnología diferenciadora, los productos innovadores serán escasos y sin soporte para la I+D y la innovación no dispondremos de tal tecnología. Por tanto, enfatizamos la importancia de una cadena de suministro europeo en las áreas estratégicas de componentes y sistemas, incluyendo componentes de alto valor y fabricación de gran volumen.

Europa necesita establecer y apoyar un ecosistema fotónico con la masa crítica necesaria de capacidades y habilidades. Es ahora el momento de desarrollar nuevas herramientas y procesos de diseño, así como las tecnologías habilitadoras que permitirán asegurar que Europa dispone de estas capacidades.

6.8. Las principales áreas de Ciencia y Tecnología

Nuestra visión se basa en los fundamentos del líder mundial en la investigación en áreas concretas que son relevantes a la fotónica en todos los ámbitos, junto con las iniciativas destinadas a asegurar que la tecnología resultante se empiece a utilizar de la forma más eficiente y eficaz. Hemos identificado una serie de áreas prioritarias para la inversión en tecnologías genéricas que tengan un alto impacto a través de una amplia gama de aplicaciones, complementando así las recomendaciones de las aplicaciones-orientados por los grupos de trabajo. Estos se refieren específicamente a las siguientes áreas:

- La integración fotónica, incluyendo el desarrollo de plataformas de integración de plataformas genéricas y factorías modelo.
- Tecnologías para la fabricación rentable de componentes y subsistemas.
- Integración de la fotónica con la microelectrónica a nivel de chip, de la placa base y del sistema.
- Dispositivos ópticos semiconductores, con particular referencia a los láseres semiconductores.
- La explotación de nuevos materiales, incluidos los semiconductores y materiales nuevos nanofotónicos (por ejemplo, los metamateriales y plasmónica), fibras multifuncionales, así como sus tecnologías de fabricación asociadas.

Nuestra primera recomendación se refiere a la integración fotónica. Como en la microelectrónica, muchas aplicaciones puede ser tratadas de una forma mucho más compacta y económica mediante la integración de la funcionalidad requerida en un solo chip de materiales semiconductores III-V (por ejemplo, el fosfuro de indio, arseniuro de galio), silicio o materiales dieléctricos. En una gran parte, como resultado de las últimas inversiones de la UE, Europa tiene una posición muy fuerte en estas tecnologías. Mientras que la integración fotónica es una de las claves más importantes por la ventaja competitiva, las formas actuales de trabajo no desbloquean todo su potencial. No todos los proveedores pueden estar integrados verticalmente y el acceso a las tecnologías por parte de las empresas más pequeñas, por ejemplo, las PYME, se encuentra actualmente muy limitada. Además, la gran variedad de dispositivos fotónicos y tecnologías que han sido desarrollados están comenzando a limitar el progreso de la industria. Europa ha tomado la delantera en el desarrollo de una nueva forma de trabajar, basada en plataformas de tecnología de integración apoyadas por genéricos, que puede proporcionar un cambio radical en la efectividad y aplicabilidad de los circuitos integrados fotónicos (PIC). Las iniciativas europeas en materia de integración fotónica genérica han atraído gran interés y están comenzando a ser imitado en todo el mundo, especialmente en los EE.UU. Es de vital importancia que estas iniciativas se

lleven adelante en el CSF, por lo que las tecnologías más avanzadas del PIC se desarrollan de la manera más eficiente y accesible para la explotación de la gama más amplia de los usuarios finales.

El enfoque de integración genérica ha tenido mucho éxito en la industria de la microelectrónica y aunque los retos en la aplicación de la misma metodología a la fotónica son diferentes y son de alguna manera mayores, sin embargo, podemos aprender de la experiencia de la microelectrónica. Por ejemplo, los programas de acceso de las factorías, tales como MOSIS en los EE.UU. tuvo un impacto fundamental en el desarrollo de la industria de VLSI, mediante la formación de un gran número de diseñadores en las técnicas de diseño de circuitos, y se recomienda que un enfoque similar se adopte en Europa para las aplicaciones específicas de circuitos fotónicos integrados en la fotónica de silicio y los semiconductores III-V. Por otra parte, al igual que en la microelectrónica, tenemos que invertir importantes recursos científicos en el desarrollo y la evolución de la simulación robusta, precisa y eficaz, y asistida por ordenador con la herramientas de diseño (CAD)

Con el fin de acelerar la evolución futura de nuestras plataformas elegidas, se propone la investigación sobre los procesos de integración a gran escala que permitan la perfecta introducción de las nuevas tecnologías. Es vital que las plataformas puedan abrazar las nuevas tecnologías con potencial para mejoras en funcionalidad, diseño compacto y eficiencia energética, la fabricación o el coste-efectividad. Tecnologías tales como circuitos fotónicos basados en membranas, los nanocables, los cristales fotónicos, los metamateriales y plasmónica, incluyendo estructuras de antenas ópticas, deben contar con apoyo. Además, la ampliación a nuevos rangos de longitud de onda (por ejemplo, UV-visible,) deben ser tratados. Otros avances en las técnicas de fabricación que, sin duda, también se requiere, por ejemplo, los avances en alto volumen, alta precisión y técnicas costo-efectivas, como la litografía por nanoimpresión (NIL).

Junto con el desarrollo de dispositivos tecnologías de circuito, debe atacarse los retos de la fabricación rentable de componentes y subsistemas. Es este aspecto, tenemos que implementar los conocimientos europeos en robótica, montajes de precisión y tecnologías de prueba automatizadas para compensar la ventaja de costes de los fabricantes asiáticos, y asegurarse de que la cadena de valor pueden ser abordada dentro de Europa. Prevemos aquí una explotación sinérgica de las tecnologías electrónicas, ópticas y mecánicas en una combinación óptima. Las nuevas estructuras con mayor capacidad de disipación de calor y control de la temperatura son esenciales, como son las estrategias para la gestión de problemas electromagnéticos de diseño. Las fortalezas de Europa en la integración híbrida fotónica, incluyendo las tecnologías de circuitos de ondas de luz, debe ser explotado, junto con la evolución de los nuevos elementos ópticos, incluida la micro-óptica y las tecnologías ópticas de superficies de forma libre. La aparición de los procesos de fabricación asistida por láser y la tecnología de impresión para la deposición de materiales funcionales de aditivos ofrece un mayor potencial para mejorar la competitividad.

Las principales oportunidades será el resultado de un acoplamiento de la fotónica avanzada con las tendencias actuales en la microelectrónica. Por ejemplo, se observa la aplicación de un potente procesador de señal digital para sistemas de telecomunicaciones de alta velocidad (40Gbit / s, 100Gbit / s), así como en las comunicaciones de datos sobre enlaces más cortos. Este enfoque está revolucionando el diseño de estos sistemas y permitirá a la fotónica alcanzar nuevos niveles de rendimiento y la rentabilidad. La estrecha integración de la fotónica con la electrónica también es de gran importancia para los sensores y dispositivos médicos micro-opto-electro-mecánicos (MOEMS). Es vital aceptar y abrazar la importancia de la electrónica en los sistemas fotónicos y trabajar para integrar las partes fotónicas y electrónicas en nuestra estrategia de investigación y desarrollo.

Los fabricantes de IC y los arquitectos de procesadores buscan cada vez más la fotónica para proporcionar el siguiente nivel de desempeño en sus dispositivos, por ejemplo, en la provisión de enlaces de datos a través de fichas individuales, así como entre los dispositivos de un subsistema dado. Además de mejorar el rendimiento funcional, tales enfoques también pueden conducir a mejoras significativas en la eficiencia energética. La fusión de las tecnologías electrónicas y fotónicas en el nivel de presión en el circuito debe ser un área vital de la investigación, incluyendo los avances en la integración heterogénea y embalaje, así como un enfoque integral para el diseño de sistemas.

Los fabricantes europeos han alcanzado una posición envidiable en los mercados globales con los láseres de semiconductores, por ejemplo con los de GaAs de alta potencia para la fabricación de dispositivos, impresión y usos médicos, enlaces de datos, almacenamiento de datos y aplicaciones biomédicas / sensor. Debemos asegurarnos de que este liderazgo europeo en la tecnología de dispositivos semiconductores III-V se mantenga y se refuerce. La investigación se requiere no sólo en los propios dispositivos, sino también en la integración con moduladores, dispositivos MEMS y

electrónica, así como en la incorporación de subsistemas electro-ópticos. Mientras que los aspectos específicos del láser y del desarrollo de sistemas ópticos están cubiertos en los paquetes de trabajo de aplicaciones dirigidas, observamos aquí la importancia de la mejora continua en el poder de escala, la eficiencia y la extensión a nuevas longitudes de onda, incluyendo el ultra-violeta, midinfrared verde, (> 1,5 micras) y THz regiones espectrales, todo lo cual requiere desarrollos correspondientes en los materiales semiconductores, dispositivos y tecnología de fabricación, así como los avances en relacionados con los componentes ópticos. Estos avances sustentan importantes aplicaciones en la industria manufacturera, la impresión, sistemas médicos, la visualización 3D de reconocimiento, y en la detección y la espectroscopia de biomédica y las aplicaciones de seguridad.

Por último, en el nivel más fundamental se recomienda una atención continua a las nuevas tecnologías basadas en nuevos materiales, semiconductores, los metamateriales, nanoestructuras y plasmónica, así como fibras multifuncionales. Una gran proporción de los avances más importantes de la fotónica ha sido relacionada con la disponibilidad de nuevos materiales. Materiales nanofotónicos y estructuras, así como las combinaciones de materiales heterogéneos (por ejemplo, III-V/Si), puede servir de base para las capacidades únicas, permitiendo así las funciones fotónicas con un rendimiento sin precedentes en términos de tamaño, velocidad, disipación de potencia y funcionalidad. Deben ser investigadas las técnicas de nano-fabricación con capacidades únicas, así como también el potencial de materiales orgánicos y las combinaciones orgánicos-inorgánicos: mientras que el papel de estos materiales en dispositivos OLED se discute en el Grupo de Trabajo 4, se prevé aquí una aplicabilidad mas amplia y genérica.

Además, estos avances deben ser puestos rápidamente en uso. Europa está obteniendo buenos resultados en muchas áreas de mercado altamente dinámicos que exigen la rápida innovación y la explotación de los materiales y procesos disruptivos. Esta tendencia se puede apoyar en una investigación coordinada y en una evolución de los modelos de fabricación innovadores. En resumen, el liderazgo en la aplicación de nuevos materiales y nanoestructuras en dispositivos prácticos será la base de una ventaja competitiva significativa para la industria europea.

❖ Impacto

Como se ha señalado en el capítulo anterior, la Fotónica es una de las áreas más activas de la economía de la Unión Europea. El mercado mundial total de los componentes y sistemas ópticos se estimó en el 2009 en unos 15 mil millones € con un crecimiento de más de 30 millones € previstos para el año 2015. Dada su importancia fundamental en una amplia gama de industrias y servicios, desde las telecomunicaciones y los sistemas de información, a la asistencia sanitaria, la inversión en tecnologías genéricas fotónicos puede tener un impacto desproporcionado. La influencia de las tecnologías de componentes avanzados es extremadamente grande: como ejemplo, podemos considerar que en el mercado mundial de las telecomunicaciones, los servicios, en más de 2 billones de dólares, depende fundamentalmente de las capacidades de sus componentes (elementos fotónicos). Consideraciones similares se aplican en otros sectores del mercado. Los protagonistas en las comunicaciones, las tecnologías láser, la iluminación y la bio-fotónica, requieren innovadores componentes ópticos como la base de la diferenciación en el mercado. También hay que señalar que la fotónica es una industria de exportación fuerte: el mercado europeo de componentes ópticos y sistemas representa aproximadamente el 11% del total de la producción europea fotónica, mientras que la participación del mercado europeo en el mercado mundial se acerca al 50%. También, los fabricantes europeos de herramientas de producción para la fotónica tienen una posición dominante en los mercados mundiales. Para mantener esta posición de fuerza frente a la competencia global, es vital que se mantenga el impulso en la tecnología base.

Las medidas que proponemos beneficiarán a las industrias pequeñas y grandes de toda Europa, así como al público en general a través de los mejores servicios que serán posibles con la tecnología fotónica más avanzada. Reconocemos la importancia de la puesta en marcha de empresas y las PYME en el impulso de la innovación técnica y de producto, y varias de las medidas que proponemos serán beneficiosas en particular para las PYMEs.

❖ El Papel de la UE

El paisaje de I+D es lo suficientemente complejo que ya no es posible para los países individuales desarrollar una estrategia de base individual. Ahora, además, los costos involucrados se encuentran en un nivel donde la colaboración a nivel europeo es obligatoria a fin de lograr un resultado

económicamente viable y exitoso. Al trabajar a nivel europeo, podemos desplegar los recursos de una manera concentrada y desarrollar soluciones que tienen un alto nivel de impacto para Europa. Al hacer esto, debemos entrecruzar diferentes corrientes de la inversión europea en investigación: tecnología de estado sólido, nanotecnología, dispositivos, investigación de materiales, la tecnología de fabricación y otros campos. Mientras se mantenga un enfoque claro en el esfuerzo de la fotónica, es de vital importancia que este esfuerzo esté vinculado a la evolución en otros campos, tales como la microelectrónica y la tecnología de producción. Todo esto puede llevarse a cabo mejor a una escala europea.

En general, la reducción de la brecha entre la investigación y la explotación es una de nuestras tareas más difíciles pero es también vital, y es necesaria la participación de toda la comunidad, desde PYMES hasta las grandes empresas. En este sentido, es indispensable un esfuerzo de la UE encabezada por la vinculación industrial y la política de investigación, junto con las iniciativas de las Key Enabling Technologies Fotónica y Fabricación Avanzada. También es vital que las inversiones en tecnologías y metodologías de avanzada de fabricación, no sólo a nivel de dispositivo / chip, sino también a nivel de componentes, subconjuntos empaquetados y sistemas, se lleven a cabo en una escala que sólo puede lograrse a nivel europeo. Se trata de un asunto de gran importancia el que la fabricación de componentes crezca en Europa, ya que numerosas industrias europeas dependen de esto.

- **Socios e Infraestructura**

Tenemos que involucrar a todos los interesados en la coordinación de estos esfuerzos y las plataformas tecnológicas europeas tienen un papel muy importante que desempeñar en esta tarea. El objetivo debe ser crear un ecosistema europeo, en el que la fotónica y sus industrias clientes pueden avanzar juntos. Como se señaló anteriormente, se requerirá la discusión y la colaboración con otras industrias, incluyendo la microelectrónica. Además, es indispensable la participación y el apoyo de todo el espectro de la industria, desde las PYME a las grandes empresas industriales.

La fragmentación de la infraestructura europea de investigación ha sido identificada como un factor limitante y la iniciativa de la Red de Excelencia del 6PM fue un primer intento para evitarlo. Ciertamente, el objetivo de establecer grandes equipos virtuales de investigación e instalaciones de europeas, absorbiendo el costo de capital, así como proporcionar un ambiente intelectualmente estimulante, debe ser un factor en nuestra política de futuro. Será necesario trabajar con las investigaciones existentes y centros de innovación para asegurar la coordinación más eficiente de las actividades y el máximo multiplicador en las inversiones en el futuro. Hay oportunidades para estrechar la cooperación con organizaciones afines en los países ICPC, en particular en las áreas de diseño de sistemas fotónicos y el software de CAD.

La industria de la fotónica tendrá una necesidad continua de personal altamente calificado y por lo tanto, recomendamos un interés constante y creciente en la educación y la formación en Fotónica. La Fotónica es una tecnología multidisciplinar y es vital que la educación en Europa alimente lo suficiente a los científicos curiosos y creativos, ambiciosos y bien educados y a los ingenieros para mantener la competitividad a nivel mundial. A un nivel aún más fundamental, vemos la necesidad de renovar nuestro apoyo a la educación de las ciencias. Es vital que se establezca una interfaz de confianza con la sociedad en general y que la ciencia tenga interlocutores efectivos para expresar el valor que devuelve.

6.9. Resumen ejecutivo. Conclusiones y recomendaciones clave

El resumen de esta parte realmente abarca las recomendaciones que se elevan con este documento y que pueden expresarse de la siguiente manera:

Creemos que existe en el campo del Grupo 5/6 de la Plataforma tres grandes líneas de Oportunidad de Negocios, tanto por el potencial nacional de base (Centros de Innovación y PYMES de base Tecnológica de reconocido nivel) como por los datos de negocio esbozados a lo largo de este capítulo. Sin embargo, tal vez el apoyo al afianzamiento del sector deba focalizarse principalmente en el soporte al diseño de Planes estratégicos de Negocio y comercialización de sus soluciones/servicios que ofrecen, que sin lugar a dudas parece el “talón de Aquiles” de nuestra Innovación para que abarque el calificativo de “Innovación Competitiva”.

ANEXO.

Análisis DAFO: La I+D en Fotónica de la Seguridad, los sensores y los componentes ópticos en España.

- **Debilidades**
  - Falta de visión estratégica a nivel de negocio en las PYMES tecnológicas: ¿cómo generarlo a partir de los productos?
  - Posicionamiento internacional a nivel comercial.

- **Amenazas:**
  - Debilidad competitiva.
  - Mercado muy dinámico en comparación a nuestros procesos de decisión y apoyo institucional.

- **Fortalezas:**
  - RRHH: gente muy preparada, especializada especialmente a nivel de estudios superiores y (post)doctores.
  - Nivel tecnológico reconocido mundialmente.

- **Oportunidades:**
  - Líneas emergentes y de potencial descritas en el punto 4.
  - Fotónica declarada KET por la Comisión Europea.

7. INVESTIGACIÓN DE FRONTERA, FORMACIÓN E INFRAESTRUCTURAS

7.1. Introducción

La definición del siglo XXI como el “Siglo del Fotón” no es exagerada: la Fotónica está presente en todos los ámbitos de la actividad industrial y es un indicador de su desarrollo tecnológico. Por ello, en el presente siglo se precisarán profesionales altamente cualificados y dotados de excelentes infraestructuras para sostener el crecimiento de la Fotónica, de la industria asociada y de su implantación en sectores emergentes.

La diversidad de la Fotónica y sus aplicaciones en la industria, la medicina, el medio ambiente y muchas otras áreas es lo que la hace tan importante para la prosperidad de Europa y de España para la calidad de vida de sus ciudadanos, pero esta diversidad, a su vez, plantea un reto cuando se trata de formar a los jóvenes para que desarrollen su carrera profesional en actividades relacionadas con la Fotónica. Como en otros campos interdisciplinarios, la formación en Fotónica requiere conocimientos en varias materias, en particular física, ciencia de materiales, informática e ingeniería, y la buena aplicación de la Fotónica demanda una comprensión detallada de materias como ingeniería, biotecnología, nanotecnología, electrónica o medicina.

Se precisa potenciar los estudios de Fotónica a nivel nacional y coordinar actividades a nivel europeo que integren la Fotónica en programas educativos universitarios. La Fotónica es, entre otras cosas, una “Tecnología Instrumental”. La transformación de conocimientos en productos y aplicaciones juega un papel esencial en el crecimiento sostenible de la economía europea y española. Por lo tanto, las instituciones educativas, junto con la industria tienen un papel importante que desempeñar en el desarrollo de una cultura de innovación y de una conciencia y experiencia internacionales en la Fotónica. Para alcanzar esto, se hacen necesarias diferentes medidas encaminadas a crear una conciencia general por la innovación. Es necesario reforzar la interacción entre la industria y el mundo académico para lograr una buena transferencia tecnológica. En Europa, las sociedades profesionales en Fotónica también desempeñan un importante papel en la promoción de la conciencia y experiencia internacionales.

La Fotónica es un término todavía poco conocido y, en particular, en la gente joven, cuando se plantea su futuro profesional. Esto es cierto a pesar de que la Fotónica forma parte de la vida cotidiana, desde el propio ojo humano, hasta las comunicaciones y aparatos tecnológicos como reproductores de DVD, pasando por la iluminación y los displays. Si bien hay algunos importantes ejemplos de actividades nacionales destinadas a las escuelas y al público en general, se necesita una iniciativa mejor coordinada a nivel europeo para fomentar la Fotónica y especialmente la amplia variedad de oportunidades profesionales que ofrece la formación en esta materia.

Uno de los programas europeos para la formación y la investigación en el campo de la Fotónica que más éxito ha conseguido ha sido la creación de Redes, tanto las Redes Marie Curie centradas en la formación como las Redes de Excelencia del FP6 y FP7. Se han fundado varias clases de Redes desde los primeros Programas Marco que han tenido una contribución significativa en la movilidad internacional de jóvenes científicos e ingenieros y en la adopción de un procedimiento bien definido en la formación para la investigación. Se cree firmemente que los programas para las Redes de Investigación deberían ampliarse y diseñarse de la manera más flexible posible para cumplir las demandas de los diversos campos de la Fotónica. Se necesitan escuelas de verano, talleres y ferias industriales para impulsar la educación en Fotónica en Europa.

7.2. Recursos humanos

De acuerdo con las necesidades de la industria, programas educativos de formación especializada ayudarían a incrementar las habilidades en Fotónica de profesiones ya existentes o conducirían directamente a una mayor visibilidad de las ya muy numerosas carreras profesionales en la industria para fotónicos. El desarrollo de esta formación está fuertemente arraigado en muchos países europeos. Una iniciativa valiosa en este campo sería el establecimiento de prácticas internacionales en la industria, para proporcionar una mayor experiencia a las personas que las realicen.

Siguiendo la Declaración de Bolonia, el modelo de Grado y Máster, está siendo adoptado en toda Europa para la educación superior. Este modelo ofrece gran flexibilidad a los jóvenes que cursen estudios académicos y/o de formación profesional en las ciencias básicas y en áreas multidisciplinares como la

Fotónica. En el caso de la Fotónica, son necesarios, si se quieren satisfacer las necesidades industriales, tanto los programas de Grado como los Máster, estos últimos normalmente tras un Grado en ciencias o ingenierías.

Es en los Máster donde las iniciativas nacionales y europeas para la enseñanza de la Fotónica serían más eficaces, para fomentar tanto la calidad como la movilidad transnacional. La idea de que un estudiante pueda realizar los años de Grado en una universidad, probablemente estudiando física o ingeniería, y después pasar a un curso de Máster especializado en Fotónica, posiblemente en otro estado miembro, ofrece gran flexibilidad. De hecho un Máster de dos años podría estudiarse en dos universidades diferentes, por ejemplo, especializadas en diferentes aspectos de la Fotónica. Para el éxito de este programa son necesarios fondos europeos que financien Máster en Fotónica de dos años con posibilidad de movilidad internacional.

Es necesaria una estrategia definida de educación y formación en Fotónica a nivel nacional.

Cuando se trata del empleo, la industria europea tiende a contratar nuevos empleados a nivel nacional, pero Europa tiene muchos trabajadores con talento entre los que elegir. Mientras la movilidad internacional en el mundo universitario se ha transformado en los últimos años, principalmente como resultado de la inversión europea en investigación y formación, especialmente el Programa Marie Curie, la industria se ha mostrado más reacia a reconocer que las fronteras nacionales no son una barrera para el empleo. La dimensión internacional puede ser fomentada por universidades promoviendo prácticas en empresas como un primer paso hacia el empleo a largo plazo.

7.3. Innovación

Europa ocupa un sólido segundo lugar mundial en educación general y la investigación, detrás de EEUU que lidera la mayoría de campos. La innovación – transformación de la investigación básica en productos o procesos nuevos – es también débil comparada con la de EEUU o el Extremo Oriente.

Tanto las universidades como las empresas tienen que desempeñar un importante papel en el fomento de la cultura de la innovación en general y de la Fotónica en particular. Al mismo tiempo que se fomenta la innovación, es necesario que las universidades se centren también en el papel que desempeñan en la investigación. La disciplina de la Fotónica ha surgido en gran parte gracias a que la investigación ha sido transferida del laboratorio a productos, y programas fuertes de investigación básica en Fotónica son vitales para la futura expansión de la industria Fotónica. Por esta razón, resultaría muy beneficioso que en nuestro país, que la Fotónica sea reconocida por la administración pública como una materia distintiva con su propia entidad a todos los niveles. La industria en su conjunto define objetivos y ofrece incentivos para la educación y la formación. Tanto las grandes como las pequeñas y medianas empresas (PYMES) hacen la principal contribución a la explotación de la investigación básica y aplicada, sopesando la inversión y los riesgos. Ejemplos en EEUU y Japón demuestran que un modelo satisfactorio es el consorcio industria-universidad-gobierno con una excelente inversión financiera.

7.4. Divulgación y difusión

En muchos casos, la Fotónica es una tecnología instrumental y, por lo tanto, no siempre reconocida y “visible” en la vida cotidiana (“reproductor de CD” en vez de “grabador láser”). Como hay muchas carreras llamativas y atractivas para la gente joven, es necesario que hagamos un esfuerzo especial para recalcar la importancia y el beneficio que la Fotónica aporta tanto a nuestra calidad de vida como a la prosperidad económica. La Fotónica difiere de las materias fundamentales de la física, la química, la biología y las matemáticas en que es muy interdisciplinar. En España, como en la mayoría de los países miembros de la Unión Europea, la educación primaria y secundaria abarcan sólo las ciencias básicas, no las interdisciplinarias. Sin embargo, esto ofrece una gran oportunidad a la Fotónica ya que por su carácter, es parte de todas las ciencias básicas. Se puede introducir una conciencia de la Fotónica en las escuelas con actividades apropiadas. Es necesario extender la palabra “Fotónica”, tanto a las escuelas como al público en general. La Comisión Europea está lanzando iniciativas potentes de divulgación (“Outreach”), en los que España debería tener un papel destacado.

7.5. Redes de investigación

Las Redes de investigación se encuentran entre las acciones mejor recibidas por científicos e ingenieros de toda Europa en los últimos años. Han tenido un gran efecto positivo en la integración europea, a través de la movilidad internacional, y en la expansión de calidad y procedimientos bien definidos en los

métodos de investigación. Estos comentarios pueden aplicarse igualmente a las redes orientadas hacia la formación (por ejemplo las Redes de formación mediante la investigación Marie Curie) y a las más amplias Redes de Excelencia del FP6 y FP7. La comunidad educativa e investigadora recomienda con insistencia que aumente el número de redes europeas en Fotónica, a través de acciones de la Comisión Europea así como de las agencias de financiación nacionales.

Es necesario que las agencias nacionales de financiación desempeñen un papel más activo en el apoyo a estas redes de investigación tanto a nivel Europeo como nacional.

7.6. Instalaciones para la investigación

La fabricación de equipos de test y medida para laboratorios de I+D es cara y exige una gran experiencia. Sólo puede llevarse a cabo en las instalaciones más avanzadas: la financiación irregular de grupos universitarios individuales rara vez es efectiva. Se necesitan instalaciones bien financiadas, sobretodo en personal técnico e ingeniería.

Muchos países miembros de la UE han establecido amplias instalaciones de láser nacionales y en el FP5, FP6 y el FP7 estas instalaciones han funcionado de una manera productiva, ofreciendo liderazgo a nivel mundial en muchas áreas de investigación básica. Especialmente, la Iniciativa Integrada de Infraestructura I3 en el sector láser, LASERLAB-EUROPE, que comprende 46 instalaciones de 19 países europeos, y entre los que se encuentran dos instituciones españolas, ha sido particularmente efectiva al definir el perfil de cada instituto, ofreciendo acceso a investigadores individuales de toda Europa y para suplir la falta de equipos o experiencia más allá de las capacidades de cualquier otra nación.

El instrumento de Redes de Infraestructura de Investigación necesita ser mantenido y extendido a otras áreas como procesamiento láser, medicina láser, comunicaciones basadas en láser, etc.

7.7. Resumen de Recomendaciones

❖ **Industria**

- Sugerir las habilidades que precisan los futuros tecnólogos para que sean incorporadas a los distintos programas educativos.
- Apoyar los niveles universitarios de educación ofreciendo prácticas y otras formas de formación a nivel nacional e internacional.
- Aportar experiencia y visión a la educación en Fotónica con profesores y módulos en los cursos universitarios reglados (Grado y Máster), cursos cortos específicos, congresos y ferias industriales.
- Animar a los tecnólogos industriales a realizar estancias de formación continua en la universidad para completar o actualizar su formación, o para realizar el doctorado, beneficiando así al propio individuo, a la empresa y a la universidad.

❖ **Mundo Académico**

- Fomentar la Fotónica en la enseñanza universitaria ofreciendo cursos relacionados con la Fotónica en cada año de estudio.
- Fomentar la innovación en la educación universitaria, poniendo el énfasis en la resolución de problemas en vez de en el aprendizaje de hechos.
- Fomentar la Fotónica en el segundo nivel de enseñanza con actividades de divulgación y desarrollando una conciencia de la Fotónica en ingeniería, medicina, medio ambiente, productos de consumo, etc.
- Trabajar en estrecha colaboración con el mundo industrial ofreciendo formación práctica en los masters y doctorados
- Trabajar en estrecha colaboración con el mundo industrial fomentando la movilidad del personal académico a la industria y viceversa.
- Promover las escuelas de invierno/verano, talleres y cursos cortos específicos a nivel nacional e internacional.

- Desarrollar nuevos programas educativos en materia de Fotónica o actualizar los ya existentes (Formación Profesional, Grado, máster, y doctorado) según las necesidades derivadas de la industria.
- Integrar asignaturas de Fotónica en los sistemas educativos básicos (escuelas, facultades, etc.)

❖ **Agencias de financiación (nacionales y europeas)**

- Establecer fondos para fomentar la movilidad de estudiantes de máster y doctorado.
- Fomentar las actividades de divulgación de la Fotónica.
- Fomentar escuelas de invierno/verano, talleres y cursos cortos y ferias industriales en Fotónica.
- Potenciar instalaciones, centralizadas o distribuidas, de investigación compartida.
- Se debería reconocer a la Fotónica como una disciplina en sí misma, al mismo nivel que se considera hoy en día, por ejemplo, la electrónica.
- Fomentar, vía financiación y otros medios, las redes y proyectos de investigación nacionales e internacionales.
- Respaldar activamente proyectos de investigación nacionales y europeos para asuntos científicos específicos relacionados con aplicaciones industriales (en función de la demanda) de la Fotónica.

❖ **Acciones a corto plazo**

Las actuaciones deberían focalizarse en el eje de recursos humanos. En particular, las actividades a corto plazo habrían de concentrarse en acciones de coordinación de la oferta educativa y de recursos humanos en Fotónica. Algunos ejemplos de las citadas acciones serían:

- Mapa nacional de la oferta/demanda educativa en Fotónica
- Posterior estudio de acciones con los actores principales en cada área y organización de reuniones de trabajo específicas para cada área, potenciar la integración de centros de investigación y otros actores en programas existentes, etc.
- Integración de ofertas de empleo en la página web de Fotónica 21
- Integración de ofertas de prácticas de los estudiantes de los diferentes máster nacionales en empresas de la plataforma
- Potenciar laboratorios de grado
- Organización de cursos y Workshops en Reuniones/Conferencias Nacionales
- Creación de premios a la innovación nacionales, premios al mejor poster en conferencias Fotónicas nacionales, etc

ANEXO I

Miembros de FOTÓNICA21 a 31/11/2011

ENTIDAD	PÁGINA WEB
Adtelecom s.l	http://www.adtelecom.es
Alise devices, s.l.	http://www.alise-devices.com
Alter technology group Spain	http://www.altertechnology.com
Aqsense s.l.	http://www.aqsense.com
Aragón photonics labs slu	http://www.aragonphotonics.com
Instituto Tecnológico De Óptica, Color e Imagen	http://www.aido.es
BCB informática y control	http://www.bcb.es
Biótica. bioquímica analítica, s.l.	http://www.biotica.es
British embassy	http://www.ukinspain.fco.gov.uk
CDTI	http://www.cdti.es
CEIT	http://www.ceit.es
Cel celis s.a.	http://www.celcelis.com
Celestica valencia	http://www.celestica.com
Centre de recerca emas - Universitat Rovira i Virgili	http://www.urv.cat/centres_recerca/emas/en/index.html
Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya	http://www.cttc.es
Centro de estudios sobre el cable	http://www.ilimit.com/cecable
Centro de investigación tecnológica	http://www.udc.es/cit/
Centro de materiales y dispositivos avanzados para las tic -universidad politécnica de Madrid	http://www.cemdatic.es
Centro de tecnología NanoFotónica de Valencia	http://www.ntc.upv.es

ENTIDAD	PÁGINA WEB
Centro de tecnologías electroquímicas	http://www.cidetec.es
Centro láser UPM	http://www.upmlaser.upm.es
Centro para el desarrollo tecnológico industrial	www.cdti.es
Centro tecnológico AIMEN	http://www.aimen.es
Centro tecnológico del mueble y la madera de la región de murcia	http://www.cetem.es
Clarke, modet & cº	http://www.clarkemodet.com
Color imaging lab	http://www.ugr.es/local/colorimg
Communique, traducción e interpretación s.l.	http://www.communiquetraducciones.com
Consejo superior de investigaciones científicas	http://www.cin2.es/biosensores
Das photonics	http://www.dasphotonics.com
Datapixel sl	http://www.datapixel.com
DCM sistemes, sl	http://www.dcmsistemes.com
Depuración de aguas del Mediterráneo	http://www.dam-aguas.es
Detnov security s.l.	
Easy laser s.l.	http://www.easy-laser.biz
Elcan optical technologies-raytheon microelectronics españa, s.a.	http://www.elcan.com
Empiric technologies s.l.	http://www.empiric.es
Ernesto barrera	
Exceltic s.l.	http://www.exceltic.com
Fábrica Nacional de Moneda y Timbre - Real Casa de la Moneda	http://www.fnmt.es

ENTIDAD	PÁGINA WEB
Fibercom sl	http://www.fibercom.es
Fibernet	http://www.fibernet.es
Free-space optical communications group	http://www.tsc.upc.edu/fsoc/index.htm
Fundación Cartif	http://www.cartif.com
Fundación la fe	http://www.fundacionlafe.org
Fundación privada Cetemmsa	http://www.cetemmsa.com
Fundación Prodintec	http://www.prodintec.es
Fundación Santa María la real	http://www.santamarialareal.org
Fundación Tekniker-IK4	http://www.tekniker.es
Fundación Tecnalia Research & Innovation	http://www.tecnalia.com
GD Santa Bárbara Sistemas	http://www.gdsbs.com
Greenlight Solutions	http://www.greenlightsl.com
Grupo \"nuevos materiales\" universidad de Vigo	http://www.laser.uvigo.es
Grupo de Fotónica y optoelectrónica - universidad miguel hernández	http://www.umh.es
Grupo de Ingeniería Fotónica. Universidad de Cantabria	http://grupos.unican.es/gif
Grupo de Óptica Aplicada y Procesado de Imágenes	http://www.goapi.upc.edu
Grupo de Procesado por Láser -CSIC	http://www.io.csic.es/web_gpl/index.html
Grupo Interdisciplinar de Computación Óptica	http://www.ucm.es/info/giboucm/gico%20ucm.html
Grupo Nicolás Correa Laser S.A.	http://www.gnclaser.es

ENTIDAD	PÁGINA WEB
Hamamatsu Photonics	http://www.hamamatsu.es
Heurística de Catalunya	http://www.b-value.com
Hi-iberia ingeniería y proyectos sl	http://www.hi-iberia.es
Ibsa laser, s.l.	http://www.ibsalaser.es
Icfo-The Institute Of Photonic Sciences	http://www.icfo.es
Indra sistemas s.a.	http://www.indra.es
Inercia Digital S.L	http://www.inerciadigital.com
Infaimon s.l.	http://www.infaimon.com
Innovación y Consulting Tecnologico s.l.l.	http://www.incotec.es
Innovaciones Microlectrónicas sl	http://www.anafocus.com
Inspecta, sl	http://www.cvc.uab.es/corkinspect/inspecta
Institut Català de Nanotecnologia	http://www.nanocat.org
Institut Català d'Investigació Química	http://www.iciq.es
Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (CSIC-univ. Zaragoza)	http://www.icma.unizar-csic.es/WebICMA/
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid. CSIC	http://www.icmm.csic.es
Instituto de Estructura de la Materia, CSIC	http://www.iem.csic.es/
Instituto de Física Aplicada	http://www.ifa.csic.es
Instituto de Física de Cantabria	http://www.ifca.unican.es/top/laseres.htm
Instituto de microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM) CSIC	http://www.cnm.es/imb/indexcas.php
Instituto de Microelectrónica de Madrid	http://www.imm.cnm.csic.es

ENTIDAD	PÁGINA WEB
Instituto de Microelectrónica de Madrid-CSIC	http://www.imm.cnm.csic.es/magnetoplasmonics
Instituto de Óptica Daza de Valdés, CSIC	http://www.io.cfmac.csic.es
Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia	http://www.gco.upv.es
Instituto Tecnológico del Mueble, Madera, Embalaje y Afines	http://www.aidima.es
Instituto Tecnológico la Marañosa	http://www.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/centros/la-maranosa/
Instituto Universitario para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en Comunicaciones	http://www.cetic.eu
IPG Photonics	http://www.ipgphotonics.com
ISDEFE	http://www.isdefe.es
ITRB LABS	http://www.itrblabs.eu
Jafper Photonics Consulting	http://www.jafper.com
Jasvisio	http://www.jasvisio.com
Josdan Aplicaciones Laser	http://www.josdan.es
Knowledge Development for POF	http://www.kdpof.com
Laboratorio de Imagen y Display 3D Universitat de Valencia	http://www.uv.es/imaging3
Laboratorio de Óptica, Universidad de Murcia	http://lo.um.es
Laboratorio de Sensores, Teledetección e Imagen en el Infrarrojo	http://lir.uc3m.es/
Laboratorio Oficial de Metrología de Galicia	http://www.lomg.es
Laser 2000	http://www.laser2000.es

ENTIDAD	PÁGINA WEB
Laser Center	http://www.laser.com
Laser Optics Berlin	http://www.laser-optics-berlin.com
Laservila s.c.p.	http://www.laservila.com
Light Prescriptions Innovators-Europe s.l.	http://ww.lpi-llc.com
Lortek	http://www.lortek.es
Lortek. Centro de Investigación en Tecnologías de Unión.	http://www.lortek.es
Luz Negra s.l.	http://www.luznegra.net
Master Erasmus Mundus "Color in Informatics and Media Technology" CIMET	http://www.master-erasmusmundus-color.eu
Mastermedia, Centro de Estudios de Tecnología Audiovisual	http://www.mastermedia.es
Medlumics	http://www.medlumics.com
Micos iberia sl	http://www.micos.es
Micropap Easy Motion scp	http://www.micropap.com
Ministerio DE Economía y Competitividad	ministerio de economía y competitividad
Ministerio de Industria	http://www.mityc.es
Ministerio de Industria, Turismo y Comercio	http://www.mytic.es
Misana Enginyeria, s.l.	http://www.misana.com
Mondragon Unibertsitatea	http://www.mondragon.edu/eps
Monocrom sl	http://www.monocrom.com/
Next Limit Technologies	http://www.nextlimit.com
Photon Lines Óptica s.l.	http://www.photonlines.es/
Plataforma Tecnológica Española del Acero	http://www.aceroplatea.es

ENTIDAD	PÁGINA WEB
Proton Laser Applications, s.l.	
Qualinnova Consulting s.l.	http://www.qualinnova.com
Radiantis	http://www.radiantis.com
Ral Técnica para el Laboratorio, s.a.	http://www.ral-sa.com
Rofin-Baasel España, s.l.	http://www.rofin.es
Sadiq engineering s.l.	http://www.sadiq.es
SAT Tecnología	www.sat-tecnologia.com/
Sensia Solutions	http://www.sensia-solutions.com
Sensofar Tech, s.l.	http://www.sensofar.com
Servicevision Bis, s.l.	http://www.servicevision.es
Seven Solutions s.l	http://www.sevensols.com
Sgenia	http://www.sgenia.com
Simulacions Optiques s.l.	www.snelloptics.com/
Sociedad Española de Óptica	http://www.sedoptica.es
Southern European Cluster In Photonics and Optics	http://www.secpho.org
Subdirección General de Tecnología e Innovación / Ministerio de Defensa	http://www.mde.es/areastematicas/investigaciondesarrollo/sistemas/
Synerplus	http://www.synerplus.es
Talleres Mecánicos Comas slu	http://www.tmcomas.com
Tecnobit s.l.	http://www.tecnobit.es
Telefónica I+D	http://www.tid.es
Telnet Redes Inteligentes	http://www.telnet-ri.es/

ENTIDAD	PÁGINA WEB
Unilaser Grabado y Corte Láser s.l.u.	http://www.unilaser.es
Uniled Iluminación s.l.	http://www.uniled.es
Universidad Autónoma de Barcelona	http://optica.uab.es/
Universidad Autónoma de Madrid	http://www.uam.es/mole
Universidad Cantabria	http://grupos.unican.es/gif
Universidad Carlos III de Madrid	http://www.uc3m.es/portal/page/portal/dpto_tecnologia_electronica/optical_signal_synthesis
Universidad Carlos III Madrid	http://www.uc3m.es/portal/page/portal/grupos_investigacion/grupo_displays_aplicaciones_fotonicas
Universidad Complutense de Madrid	http://www.ucm.es/info/gsolfa
Universidad Complutense de Madrid	http://www.ucm.es/info/aocg
Universidad de Alcalá	http://www.uah.es/
Universidad de Alicante	http://www.ua.es
Universidad de Barcelona	http://www.fao.ub.es
Universidad de Barcelona	http://www.el.ub.es
Universidad de Cádiz	http://www.uca.es
Universidad de Cantabria	http://www.unican.es/
Universidad de Cantabria	http://www.optica.unican.es
Universidad de Cantabria	http://www.teisa.unican.es/toa/
Universidad de Cantabria	http://www.unican.es/webuc/internet/
Universidad de Castilla-la Mancha	http://www.uclm.es/
Universidad de las Palmas de Gran Canaria	http://www.iuma.ulpgc.es

ENTIDAD	PÁGINA WEB
Universidad de Málaga	http://www.etsit.uma.es
Universidad de Salamanca	http://www.usal.es/webusal/
Universidad de Santiago de Compostela	http://www.usc.es
Universidad de Valencia	http://www.uv.es/~semicon
Universidad de Valencia	http://www.nano2csf/umdo
Universidad de Valencia	http://www.icmuv.es
Universidad de Zaragoza	http://www.unizar.es/departamentos/fisica_aplicada/grupos_investigacion/fgo/
universidad de Zaragoza	http://gtf.unizar.es
Universidad del País Vasco	http://www.ehu.es
Universidad politécnica de Madrid	http://www.upm.es
Universidad politécnica de Madrid	http://www.upm.es
universidad politécnica de Madrid	http://www.tfo.upm.es/webneurof/neurofot3.htm
Universidad politécnica de Valencia	http://www.upv.es
Universidad Politécnica de Valencia	http://www.upv.es
Universidad Pública de Navarra	http://www.unavarra.es/organiza/diee/grupoinvest1.htm
Universidad Rovira y Virgil	http://www.urv.cat
Universidad Rovira y Virgil	http://www.urv.cat
Universidad da Coruña	http://www.ii.udc.es/lail
Universidad de Vigo	http://optics.uvigo.es
Universidad de Vigo	http://www.laser.uvigo.es

ENTIDAD	PÁGINA WEB
Universidad Autónoma de Barcelona	http://www.uab.cat
Universidad de Valencia (estudi general)	http://www.uv.es/
Universidad politécnica de Catalunya	http://www-fen.upc.es/donll/
Universidad politécnica de Catalunya	http://www.tsc.upc.edu/gco
UPC - CD6	http://www.cd6.upc.edu
Vgapro sl	http://www.vgaweb.com
Visiedo Giménez associats sl	http://www.visiometrics.com/
Visiometrics s.l.	http://www.visiometrics.com/
Vlc photonics	http://www.vlcphotonics.com
Voptica sl	http://www.voptica.com

ANEXO II

Participantes en el II Workshop de Fotónica, celebrado en Santander el 28 de Junio del 2011.

Grupo 1: TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN
Aragón Photonics
AIDO
KDPOF
Universidad Carlos III de Madrid
VLC Photonics
Telnet
Centro Nanofotónica de Valencia

Grupo 2: PROCESOS DE FABRICACIÓN INDISTRIAL
Monocrom
AIDO
Easy Laser
Fundación Cartif
AIMEN
CEIT
Empiric
Tecnalia
Prodintec
Fundación Santa María la Real
JPG photonics

Grupo 3: CIENCIAS DE LA VIDA
U. Cantabria (Grupo Técnicas Ópticas Aplicadas)
Instituto de Microelectrónica de Barcelona
AIDO
ICFO
U. Cantabria (Grupo Ingeniería Fotónica)
U. Autónoma Barcelona (Grupo de óptica)
Laser 2000

Grupo 4: ILUMINACIÓN Y DISPLAYS
Greenlight Solutions
AIDO
Instituto de Microelectrónica de Barcelona
U. Politécnica Madrid (Tecnología Fotónica)
Instituto de Óptica "Daza de Valdes" CSIC
U. Barcelona
CSIC

Grupo 5/6: SEGURIDAD, SENSORES Y COMPONENTES
Das Photonics
Snell Optics SL
Fábrica Nacional de Moneda y Timbre
HAMAMATSU PHOTONICS
Ministerio de Defensa
U. Cantabria (Grupo Técnicas Ópticas Aplicadas)
CEIT
U. Cantabria (Grupo Ingeniería Fotónica)
Centro Nanofotónica de Valencia