FOTÓNICA21: Agenda Estratégica de Investigación 2009

FOTÓNICA21

Valencia, junio 2009

1. INTRODUCCIÓN 6
La Plataforma Tecnológica Española FOTONICA21 6
La fotónica en Europa y en el mundo 11
La situación en España 13
Participantes en la elaboración de este documento 14
Control de cambios 14
2. INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN 15
Tecnologías clave para una Red Todo Óptica 19
Principales temas de investigación en Redes Todo Ópticas 27
Mapa de potencialidades en España 29
Participantes en la elaboración de este documento 30
Control de cambios 31
3. PROCESOS DE FABRICACIÓN INDUSTRIALES 32
Introducción 32
Retos actuales y futuros 32
Tecnologías emergentes en el horizonte de 2015 33
Clasificación de las prioridades de investigación 33
Consideraciones generales para la implementación de la agenda de investigación en procesos de fabricación industriales 41
Participantes en la elaboración de este documento 41
Control de cambios 42
4. CIENCIAS DE LA VIDA Y SALUD. 43
Impacto de la fotónica en campos específicos 44
Prioridades de investigación en España 48
Participantes en la elaboración de este documento 50
Control de cambios 50
5. ILUMINACIÓN Y DISPLAYS 50
Introducción 51
Necesidades sociales 53
Prioridades y previsiones de investigación en España 56
Participantes en la elaboración de este documento 57
Control de cambios 58
6. SEGURIDAD Y SENSORES 59
Introducción 59
Seguridad para defensa 59
Seguridad Civil 65
Seguridad medioambiental 66
Análisis de capacidades y tecnologías a impulsar 67
Participantes en la elaboración de este documento 73
Control de cambios 73
7. COMPONENTES ÓPTICOS Y SISTEMAS 74
Impacto económico de los materiales y componentes ópticos 74
Estructura actual de la industria e investigación en España, Retos actuales y futuros. 74
Predicciones hasta el 2015: Nuevas tecnologías. 76
Situación actual de la industria e investigación española en el desarrollo de las aplicaciones y tecnologías descritas anteriormente con respecto al los países/regiones más competitivos. 78

Prioridades de investigación para España 80
Recomendaciones de implementación 81
Participantes en la elaboración de este documento 81
Control de cambios 82
8. INVESTIGACIÓN DE FRONTERA, FORMACIÓN E INFRAESTRUCTURAS 83
Recursos humanos 83
Innovación 84
Divulgación y difusión 84
Redes de investigación 85
Instalaciones para la investigación 85
Resumen de Recomendaciones 85
Participantes en la elaboración de este documento 87
Control de cambios 87
9. CONCLUSIONES GENERALES POR GRUPO DE TRABAJO. 88
10. ANEXO 1 99
11. ANEXO 2 101

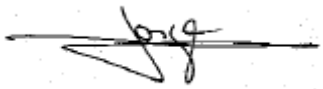
Estimados colegas:

Como Presidente de la Plataforma Tecnológica Española de Fotónica “Fotónica 21”, tengo el placer y el privilegio de introducir esta versión actualizada de la Agenda Estratégica de Investigación. Esta es fruto del trabajo continuo y dedicación de los miembros de esta Plataforma, con el fin genérico 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.

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 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 Plataforma Tecnológica Española FOTONICA21

La Plataforma Tecnológica Fotónica21 nace en 2007 promovida por las empresas del sector y auspiciada por la administración española. Es espejo de la europea Photonics21 y tiene como finalidad principal potenciar el desarrollo de la fotónica en España, especialmente en lo relativo a incrementar del esfuerzo y eficacia de su I+D+i y su repercusión en la sociedad y la economía.

Además de las industrias, forman parte de esta Plataforma todos los agentes sociales relacionados directa o indirectamente con la fotónica: Universidades, centros de investigación y administraciones públicas. Al cierre de la presente edición revisada de la Agenda Estratégica de Investigación (SRA en sus siglas en inglés), FOTONICA 21 tiene un total de 106 miembros, contando entre ellos con los más importantes representantes de la industria y la academia de esta especialidad.

Figura 1.1: Distribución geográfica de las entidades

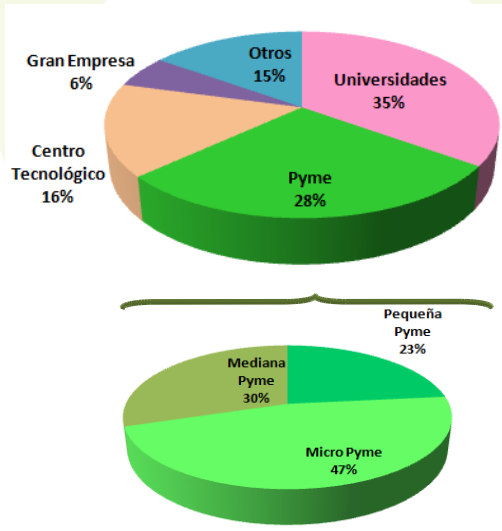


Figura 1.2: Distribución de los miembros por tipo de entidad

Uno de los objetivos principales de FOTONICA21 es recoger las necesidades de I+D+i a través de la interlocución y el debate con los agentes más representativos del sector. Para ello, FOTONICA21 ha

incorporado como líderes de sus grupos de trabajo a empresas punteras en sus especialidades tecnológicas. De este modo, el órgano rector de la plataforma, el Comité de Representantes, se ha erigido en líder natural de la misma.

GRUPO	LIDER	CONTACTO
1. TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES	TELEFONICA I+D	JUAN P. FERNÁNDEZ-PALACIOS jpfpg@tid.es
2. PROCESOS DE FABRICACIÓN INDUSTRIALES	MONOCROM	ENRIQUE MÉNDEZ e.mendez@monocrom.com
3. CIENCIAS DE LA VIDA	UNIVERSIDAD CANTABRIA Dpto. TEISA	JOSE LUIS ARCE arcedj@unican.es
4. ILUMINACIÓN Y DISPLAYS	GREENLIGT SOLUTIONS	ANA MANZANARES a.manzanares@greenlightsl.com
5. SEGURIDAD Y SENSORES	SIMULACIONS OPTIQUES SL	CARLES PIZARRO carles.pizarro@snelloptics.com
6. COMPONENTES ÓPTICOS Y SISTEMAS	DAS PHOTONICS	JORGE J. SÁNCHEZ jsanchez@dasphotonics.com
7. INVESTIGACIÓN DE FRONTERA, FORMACIÓN E INFRAESTRUCTURAS	ICFO	SILVIA CARRASCO silvia.carrasco@icfo.es

Tabla 1.1: comité de representantes

La representatividad de FOTONICA21 se ha consolidado en estos primeros años de recorrido:

- Presencia de la Comisión Europea, la Plataforma Tecnológica Europea Photonics21, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y el Ministerio de Ciencia e Innovación en la asamblea de Valencia en Noviembre de 2008.
- FOTONICA21 ha pasado a ser miembro del Board of Stakeholders de Photonics21.
- FOTONICA21 es invitada regularmente a las reuniones del 'National Clusters on Photonics meeting', órgano de intercambio de buenas prácticas al que son invitados por la Comisión Europea las organizaciones representativas de la fotónica en cada país miembro de la Unión.
- Asistencia con el Mirroring Group a las reuniones de lanzamiento de la ERANET+ en fotónica.

Objetivos de la Agenda Estratégica de Investigación

El presente documento es la revisión 2009 de Agenda Estratégica de Investigación (AEI/SRA) realizado por la Plataforma Tecnológica Española Fotónica21, que toma como referente y adapta a las necesidades de España los trabajos realizados por la Plataforma Tecnológica Europea Photonics21.

La elaboración de este documento es consecuencia de la vocación de la Plataforma Fotónica21 de promover la I+D y el fortalecimiento de la industria fotónica, tal y como se expresa en su Código de Buenas Prácticas y Régimen Interno.

Para la redacción de este documento se ha involucrado a la totalidad de los miembros, mediante un proceso colaborativo que arrancó en el I Workshop de la Plataforma Española de Fotónica, FOTONICA21, que tuvo lugar en San Sebastián el 2 de Abril de 2009. Las aportaciones realizadas por más de 70 miembros de la plataforma, liderados por los miembros del Comité de Representantes han dado lugar a esta nueva versión de la Agenda Estratégica de Investigación.

Figura 1.3: Fotografía de los asistentes al I Workshop de Fotónica celebrado en San Sebastián

Para esta nueva versión se ha contado con información de estudios realizados por diferentes organismos, tanto a nivel nacional como europeo, que nos permiten dar una visión de futuro más clara sobre las líneas estratégicas de investigación a potenciar y su previsible impacto futuro en la innovación industrial en España.

La primera finalidad de la AEI es definir estrategias con el objetivo de potenciar el liderazgo científico, tecnológico y económico de la fotónica en España. Estas estrategias están en consonancia con la posición de la Comisión Europea, que ha lanzado una unidad específica de Fotónica para potenciar este campo, definiendo la Fotónica como una tecnología clave para el futuro de Europa.

Para este fin se pretende desarrollar los siguientes objetivos:

1. Sensibilizar a las administraciones públicas en el convencimiento de que la priorización de la Fotónica es una apuesta para el posicionamiento estratégico de la I+D en España y una puerta a un nuevo modelo productivo basado en el conocimiento, tal y como ya ha definido la Comisión Europea.
2. Definir los objetivos de investigación y desarrollo tecnológico a medio y largo plazo, así como marcar los indicadores para conseguirlos.
3. Asegurar que los conocimientos generados por la investigación se convierten en procesos y tecnología punta y, en última instancia, en productos y servicios competitivos
4. Proporcionar el ambiente de investigación necesario, capaz de acelerar la investigación fotónica, aumentar la cooperación, incrementar las inversiones públicas y privadas en I+D y asegurar la movilización de la masa crítica de recursos.
5. Establecer enlaces estratégicos entre industrias fotónicas, especialmente PyMEs, y canalizar y alinear los esfuerzos de I+D comunes

Este documento pretende ser una vía para avanzar en los retos aquí expresados. Está organizado en siete unidades de trabajo dentro de cada cual se analizan los problemas y retos existentes, y se plantean recomendaciones y estrategias, así como objetivos técnicos concretos.

La fotónica

El ser humano recibe el 80% de la información de su entorno gracias a la luz. El desarrollo de la vida en la tierra ha sido posible gracias a la energía procedente del sol en forma de luz. La organización social se fundamenta en la comunicación, y en la actualidad sus principales soportes están relacionados con la luz, tanto en el transporte (fibra óptica…) como en su representación (imágenes, TV, señalización…). Desde que la humanidad domina el fuego, lo primero que ha hecho ha sido "iluminar" los objetos para poder comprenderlos. La óptica ha sido siempre el método más eficaz para conocer los secretos más profundos o distantes de la naturaleza.

Aunque involucra varias disciplinas, la fotónica es evidentemente un campo científico y tecnológico independiente. El objetivo común es el dominio del fotón. Hace 40 años hizo aparición este nuevo campo de estudio que representa una síntesis de varias disciplinas en torno a la luz: óptica, ciencia de materiales, ingeniería eléctrica y mecánica, electrónica, física…

"La fotónica es la ciencia que abarca la generación y detección de la luz, su transporte y guiado, su manipulación y amplificación y, lo más importante, su utilización para el beneficio de humanidad." (Pierre Aigrain 1967).

Así pues ésta, como otras disciplinas, tiene dos direcciones de aplicación, pero en el caso de la fotónica es, posiblemente, más acusada la imbricación de ambas.

La proyección horizontal, aquella por la que una misma técnica o dispositivo se desarrolla independientemente de las actividades económicas en las que puede tener aplicación, incluye los sistemas, componentes y sensores ópticos y fotónicos, la metrología así como las actividades educacionales y de investigación básica.

En la vertiente más aplicada, la vertical, la fotónica está siendo un pilar fundamental de la mejora de objetivos sociales esenciales, como la generalización de la sociedad de la información, una mayor eficacia sanitaria tanto a nivel de medios de diagnosis como de actuación, la mejora de procesos industriales, el aprovechamiento de nuevas fuentes energéticas sostenibles, el incremento de la seguridad de los ciudadanos, etc… desembocando todo ello en generación de empleo de calidad y, consecuentemente, riqueza social.

Debido a la capacidad innovadora que la fotónica ha demostrado, una nueva generación de herramientas está a nuestro alcance. Ahora disponemos de los medios y la perspicacia necesarios para crear sistemas fotónicos capaces de rentabilizar las potencialidades inherentes a la luz.

La fotónica es una actividad multidisciplinar que constituye una de las llaves modernas del desarrollo tecnológico de la humanidad. La fotónica es sin duda una de las tecnologías más importantes para del siglo XXI ya que su impacto alcanza de forma directa o indirecta otros muchos aspectos de la economía. Forma parte de esas disciplinas que actúan como promotor de otras ya que su desarrollo favorece el de multitud de tecnologías, tanto básicas como aplicadas.

Esta potenciación indirecta se produce por dos vías.

Por una parte, las tecnologías fotónicas aumentan la competitividad y el liderazgo tecnológico en un amplio rango de sectores industriales. Por ejemplo, la aplicación del láser para el procesamiento de materiales repercute de forma significativa sobre la eficiencia y la calidad de las industrias usuarias: automovilística, microelectrónica, aeronáutica…

Por otra parte, multitud de componentes y sistemas fotónicos producidos forman parte de productos y sistemas más grandes y sofisticados, como sucede con el laser y los lectores de CD o DVD.

Por lo tanto, un análisis objetivo y exhaustivo de la relación económica y tecnológica en conjunto de la fotónica debe considerar por lo menos las estimaciones de estos impactos indirectos, que son de difícil cuantificación.

Algunos logros tecnológicos actuales no podían haber tenido lugar sin la importante contribución de la fotónica. Hoy en día, los fotones se encuentran por todas partes, de la manera más obvia a la más sutil, ayudando a mejorar nuestra calidad de vida.

He aquí algunas posibilidades actuales y futuras:

La fotónica permite el procesamiento, el almacenamiento, transporte y visualización de las ingentes cantidades de datos necesarios en la actual sociedad de la información. La circulación de información y los flujos de datos están aumentando rápidamente. En el futuro los sistemas ópticos proporcionarán un ancho de banda 1000 veces mayor que el ofrecido hoy en día y permitirán la llegada de la banda ancha a todos los usuarios.

Nuevos sistemas de visualización (interactivos, flexibles, de gran tamaño, transparentes, en 3D…) permitirán el acceso ubicuo de datos, que repercutirá fuertemente en la vida profesional y en crear nuevos estilos de vida.

La luz, en forma de láser, se emplea en los procesos productivos como una herramienta rápida y precisa para muchos propósitos. La producción basada en herramientas fotónicas es la mejor opción para mantener y desarrollar una productividad fabril rentable en el futuro europeo.

Los nuevos sistemas de alumbrado crean entornos adecuados a las circunstancias y ahorran energía. Una introducción comercial agresiva en el mercado de diodos emisores de luz, podría llegar a suponer el ahorro de 2 mil millones de barriles de petróleo antes de 2010.

Variadas aplicaciones fotónicas suministran protección y seguridad a los ciudadanos europeos en distintos ámbitos sociales: el tráfico y el transporte, el comercio y las comunicaciones, la observación ambiental y la producción industrial…

La atención sanitaria moderna ha sufrido una revolución debido al uso de dispositivos y técnicas ópticas en el análisis, diagnosis y terapia. Nuevas innovaciones y progresos parecen estar al alcance. En un futuro próximo se podría tener fácil acceso a dispositivos sofisticados pero económicos (en el lugar de trabajo, en supermercados, en casas…), facilitando la prevención y el tratamiento de enfermedades.

La luz es la llave de acceso al microcosmos de la vida en biotecnología, farmacia y genética. Por ejemplo las herramientas fotónicas son capaces de manipular moléculas y células sin causar daños. La detección más precisa de patologías será posible gracias a la fotónica, lo que dará lugar a revolucionarias técnicas de prevención.

Sin embargo, éste es sólo el inicio. Las actuales fuentes, sistemas, herramientas y aplicaciones permiten que solamente nos demos cuenta de una pequeña parte de la potencialidad de los sistemas fotónicos. No puede haber ninguna duda de que la fotónica y las tecnologías ópticas estarán entre los promotores más influyentes en la innovación del siglo XXI:

- ✓ La fotónica brinda, cada vez más, nuevas soluciones cuando las tecnologías convencionales llegan a sus límites, especialmente en relación con la velocidad, la capacidad y la exactitud e la ejecución de procesos.
- ✓ La fotónica favorece el progreso y expansión en áreas clave de la industria y la tecnología, como sanidad y salud, información y comunicaciones, energía y producción…
- ✓ La fotónica es un sector en franca expansión capaz de reforzar y promover la competitividad de la industria y la economía europea.

Si el siglo XX fue el del electrón, el XXI promete ser el del fotón.

Para entrar realmente en el "Siglo de fotón" se requerirá la concentración de esfuerzos que permita que industria e investigación lleven a término sus iniciativas, materialicen las casi ilimitadas potencialidades de la luz y, finalmente, cosechen los beneficios esperados y sean capaces de crear bienestar social.

Pero convertir las ideas en diseños y estos en prototipos y luego en productos útiles precisará inspiración, brillantez, diligencia y trabajo duro. Pero antes que nada los esfuerzos deben concentrarse en permitir que industria e investigación analicen y definan las iniciativas adecuadas que permitan dinamizar esta actividad.

La fotónica en Europa y en el mundo

La fotónica tiene una enorme capacidad para crear productos que multiplican el valor de los propios componentes fotónicos. Sin embargo, incluso los datos del mercado fotónico directo son impresionantes. En 2005, según datos del estudio de mercado de OPTECH Consulting, el mercado mundial de la fotónica ascendía a 228 mil millones de euros. Con una previsión de crecimiento anual sostenido del 7,5%, se espera que alcance un volumen total de mercado de 439 mil millones de euros para 2015.

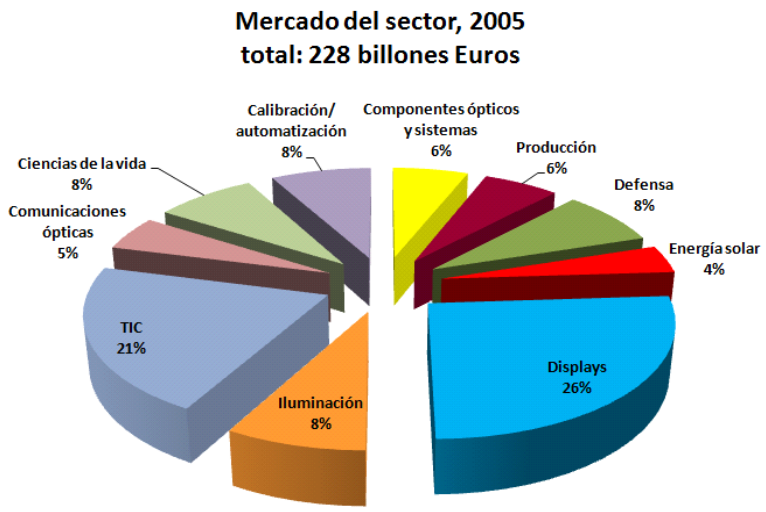


Figura 1.4: Mercado del sector (Fuente: Optech Consulting, Octubre 2007)

Por su parte, el mercado total de la fotónica en Europa en 2006 alcanzó los 49 mil millones de euros, lo que supone aproximadamente el 19% del volumen global.

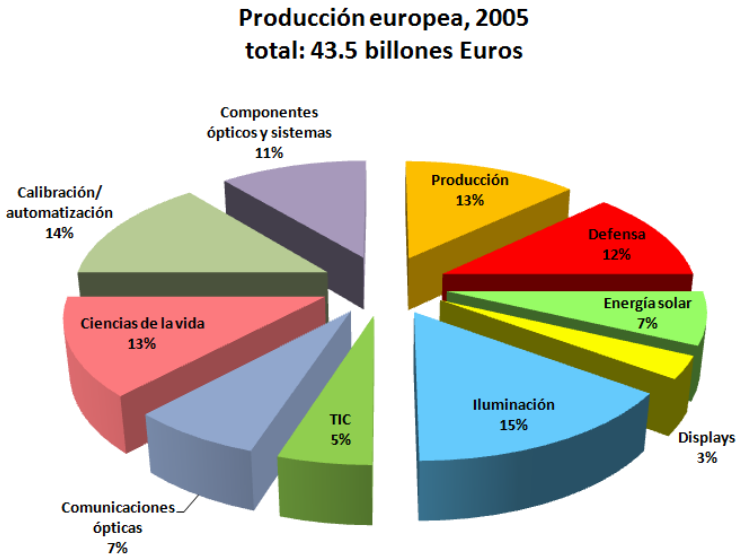


Figura 1.5: Producción europea del sector (Fuente: Optech Consulting, Octubre 2007)

La fotónica en Europa mantiene unos 246.000 empleos de alta cualificación repartidos entre 5.000 empresas, estando el tejido industrial compuesto en dos terceras partes por PYME. Además, más de 700 grupos científicos y tecnológicos públicos y privados forman la base de generación de conocimiento en el que se inicia este éxito económico.

Si bien Europa no lidera este mercado, y tienen una posición de cierta debilidad en los segmentos de mercado más voluminosos, hay al menos tres áreas donde la industria europea lleva ventaja:

Iluminación de estado sólido, donde las compañías europeas representan el 30 % de el mercado.

Las aplicaciones láser a los procesos de fabricación, donde Europa domina la fabricación mundial y las ventas con aproximadamente el 50 % del mercado mundial.

Los sistemas de visión artificial y de control industrial, donde la fabricación europea supone el 30% del mercado mundial

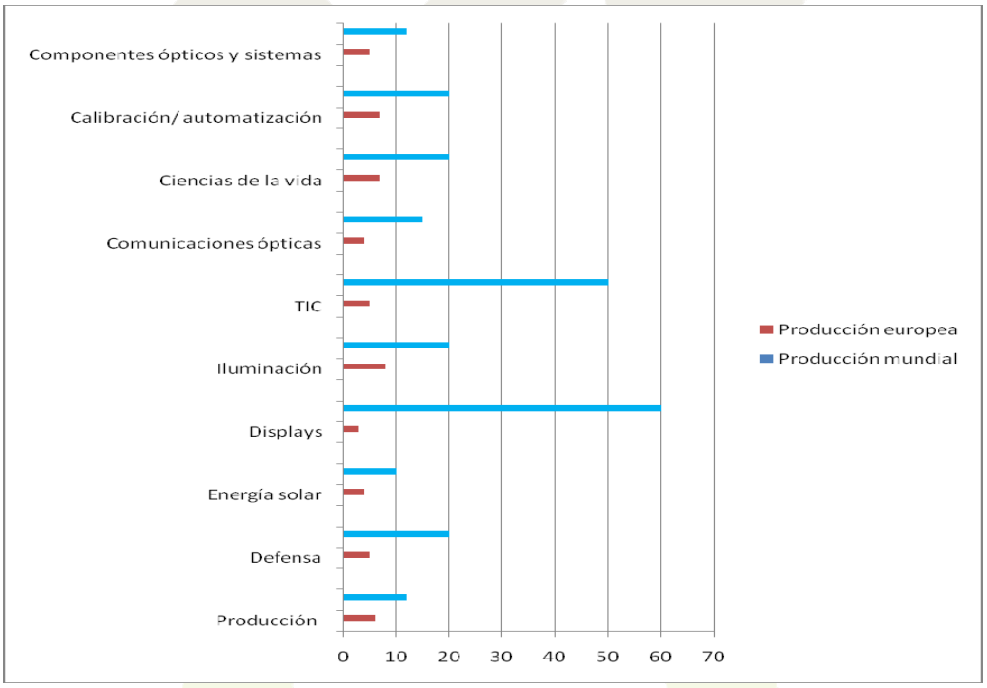


Figura 1.6: Comparativa del mercado mundial frente al europeo del sector fotónico (Fuente: Optech Consulting, Octubre 2007)

La inversión privada en investigación y desarrollo de la industria fotónica europea asciende hoy a 3,3 mil millones de euro, lo que representa aproximadamente el 9% de la facturación anual. Por otro lado, la relación de inversión pública y privada en fotónica es aproximadamente 1/15, que es sumamente baja comparada con otros sectores.

Como consecuencia, se deben abordar, tanto por las autoridades públicas como por la industria, dos medidas urgentes:

- ✓ La inversión conjunta en investigación y desarrollo fotónico debe incrementarse para aumentar la competitividad y conseguir los objetivos de Lisboa.
- ✓ Se tiene que ajustar la relación entre inversión pública y privada en I+D fotónica para alcanzar valores similares a los de otras áreas, lo que requiere un aumento sustancial de la financiación pública.

Desde la creación de Photonics21, se ha reconocido la voz del 'sector' fotónico europeo ante la Comision Europea al más alto nivel. Tanto es así, que se ha creado una unidad específica de Fotónica, dentro de la Dirección General 'Information Society and Media'. Este reconocimiento ha traído consigo el lanzamiento de

convocatorias específicas de Photonics en el programa de ICT que recogen las prioridades de investigación recomendadas desde la plataforma europea.

Sin embargo, salvo contadas excepciones como Alemania o Reino Unido, en los países miembros todavía no existen unidades dedicadas específicamente al lanzamiento de convocatorias de fotónica o a la inclusión de estas temáticas en los programas nacionales. Por tanto, el desarrollo de nuevas tecnologías y productos fotónicos se enfrenta a dos complicados retos:

- Las actividades de I+D de los estados miembros aún no están eficazmente coordinadas e interconectadas.
- Los proyectos se desarrollan de forma aislada entre si debido a su adscripción a prioridades temáticas diferentes.

La falta de la coordinación es un freno que impide el progreso y la competitividad de industrias ópticas y fotónicas en Europa. La Comisión Europea organiza semestralmente una reunión de todos los clústeres y plataformas europeas en fotónica para intercambiar buenas prácticas y establecer los mejores métodos para la sensibilización de los gobiernos de los países miembros ante esta tecnología de futuro.

Actuar sobre aspectos políticos se está revelando como una herramienta fundamental para promover la cohesión y la coordinación entre los esfuerzos actualmente dispersos y colocar los cimientos para desarrollar planes de acción concertados entre todos los grupos involucrados, así como para poner en práctica estrategias conjuntas:

- Fortalecer y estructurar la investigación fotónica europea, principalmente dentro del alcance de los Programas Marco (FP7)
- Aumentar la colaboración pre-competitiva y la normalización
- Mantener la protección y explotación de la propiedad intelectual europea
- Adaptar y mejorar la base educativa y científica
- Dar a conocer al público los éxitos y resultados del esfuerzo investigador europeo.

La Plataforma Europea Photonics21 ha definido ciertas recomendaciones para que sean tenidas en consideración a la hora de iniciar actuaciones.

- La industria y la ciencia fotónica europea tienen que unir esfuerzos bajo un fuerte paraguas europeo.
- Se precisa un incremento en inversiones públicas y privadas en fotónica.
- Se necesita un compromiso claro con la fotónica por parte de la Comisión Europea.
- Hay que crear un grupo de seguimiento que involucre a autoridades públicas relevantes y organismos financieros de toda Europa.

La actual brecha entre ciencia e industria fotónica en Europa tiene que ser cubierta mediante una mejor colaboración en investigación, favorecida por financiación pública.

La Comisión Europea debe aplicar medidas adicionales de financiación para estimular la realización de proyectos de investigación de colaboración europeos multinacionales.

Hay que identificar claramente aquellas áreas donde la investigación y el desarrollo previsiblemente alcancen resultados industriales concretos en menos de 10 años con el fin de poder desarrollar estrategias específicas.

Las recomendaciones técnicas del Programa Estratégico de investigación tienen que ser actualizadas anualmente por Photonics21.

Photonics21 tiene que promover activamente la cooperación con Plataformas Tecnológicas complementarias.

La situación en España

Aunque no hay estudios de mercado rigurosos individualizados para conocer la realidad del sector en España, atendiendo a diversos proyectos europeos de prospectiva en los que han participado miembros de la plataforma, principalmente los proyectos ROM y ENOC, podemos obtener los siguientes datos orientativos sobre el sector fotónico en España:

Constituido por más de 100 empresas, la gran mayoría PYME, que dan empleo a unas 8.500 personas y que tiene una facturación aproximada de 1.5 millones de euros. Estas empresas están fragmentadas en cuanto al subsector de la fotónica al que pertenecen, siendo el sector TIC el más numeroso.

Desde la parte académica y de investigación y transferencia, unos 90 grupos de trabajo están involucrados en proyectos relacionados con la fotónica: Centros Tecnológicos, CSIC, Universidades y otras entidades.

Por tanto, el nivel de desarrollo de la fotónica en España es todavía ciertamente débil comparado con los grandes de Europa, Alemania, Francia, aunque existen empresas de gran nivel tecnológico que con el debido entramado pueden y tienen vocación de ser el germen que permita el crecimiento del sector para seguir los pasos del resto de la Unión.

El soporte político será necesario para propiciar el ambiente de investigación capaz de acelerar la investigación fotónica, aumentar la cooperación, incrementar las inversiones en I+D públicas y privadas y asegurar la movilización de una masa crítica de recursos.

Es esencial:

- ✓ Dar el soporte político a los esfuerzos procedentes de Fotonica21, tal y como los resultados avalan a Photonics21, en relación con la preparación del terreno para la generación de agrupaciones público-privadas a todos los niveles

- ✓ Considerar la estrategia, las recomendaciones y las prioridades de las líneas de investigación presentados en este documento y tenerlos en cuenta a la hora de definir los objetivos de investigación y los programas de innovación futuros.

Un enfoque europeo y español fuerte y concertado es la vía para asegurar el éxito y que Europa y España puedan beneficiarse de las sorprendentes innovaciones que están a nuestro alcance. Sin un liderazgo fuerte, nuestras industrias fotónicas serán vulnerables a la poderosa competencia de USA y Asia.

Participantes en la elaboración de este documento

Fecha	Empresa	Detalle contribución
1-03-2007	Aragon Photonics	introduccion (v1.0)
Junio 2009	AIDO	Introducción

Control de cambios

Introducción_v1	Aragon Photonics	Marzo 2007
Introducción_v2	AIDO	Junio 2009

2. INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

Red Todo Óptica-Pilar básico para las redes de comunicaciones del siglo XXI

Una Red es una infraestructura de comunicaciones gestionada por un operador para ofrecer sus servicios; en una Red Todo Óptica esta infraestructura está compuesta por nodos de conmutación ópticos interconectados por enlaces de fibra óptica. La característica principal de una red óptica es la minimización (supresión) de conversiones óptico/electrónicas en los nodos intermedios, lo que consigue una reducción de costes, un menor consumo y la posibilidad de ofrecer conexiones *transparentes*.
La fibra óptica está presente en la redes de telecomunicaciones desde hace muchos años debido a su capacidad para transportar grandes volúmenes de tráfico sobre un único enlace, así como sus propiedades para transmitir información a grandes distancias con una atenuación mínima. En su origen se utilizó exclusivamente en enlaces de larga distancia pero con el tiempo su uso se ha ido extendiendo por todos los segmentos de la red llegando recientemente hasta el hogar a través de los servicios conocidos como FTTH (Fibre To The Home). La tecnología de multiplexado de longitud de onda (WDM) contribuyó al desarrollo de las redes ópticas, al permitir un aumento de capacidad importante al permitir la transmisión de varias longitudes de onda sobre una misma fibra. En ciertos casos, es incluso posible aumentar la capacidad de la red reutilizando la misma planta instalada de fibra.

Desde un punto de vista arquitectural, una red puede descomponerse en varios segmentos: el segmento de acceso, el segmento metropolitano y el segmento troncal. Cada segmento presenta unos requisitos específicos, y las tecnologías ópticas responden en mayor o menor medida a los mismos.

¿Una red FTTH es una Red Todo Óptica?

No exactamente. En una red FTTH tanto los enlaces entre el usuario y la central de acceso como entre los nodos de conmutación de la red utilizan fibra óptica. Sin embargo las tecnologías de conmutación actuales (Ethernet, IP, SDH…) están basadas en equipamiento electrónico que necesita realizar conversiones optoelectrónicas en sus puertos de conexión de fibra. Por tanto una red con accesos de fibra, pero con equipos electrónicos de conmutación, no sería una Red Todo Óptica

¿Para qué sirve una Red Todo Óptica?

Los despliegues masivos de tecnologías de acceso de ultra-banda ancha basadas en tecnologías de acceso óptico (FTTH) o inalámbrico (p.ej. LTE) capaces de ofrecer velocidades de acceso de hasta 1Gbps generarán un considerable aumento en el tráfico cursado en todos los segmentos de la red: acceso, metropolitano y troncal. En la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos de aplicaciones que se podrían ofrecer sobre los nuevos accesos de ultra banda ancha.

SERVICIOS		ANCHO DE BANDA
Servicios empresariales	VPN óptica	1-100 Gbps
	Replicación de bases de datos	1 Gbps
Tele-cirugía	Vídeo de alta definición sin codificar	1 Gbps
Contenidos en tiempo real para salas de cine	Ultra HDTV (UHDTV)	400 Mbps
Servicios residenciales	TV/ Videoconferencia 2D. Alta Definición	10-15 Mbps por canal
	Juegos en Red	1 Mbps
	TV/ Videoconferencia 3D (definición estándar)	50 Mbps por canal

Tabla 2.1. Servicios que requieren bajos retardos y gran ancho de banda en toda la red

En las siguientes figuras se muestra el impacto que tendría la introducción de estos accesos de ultra banda ancha en la red troncal y metropolitana:

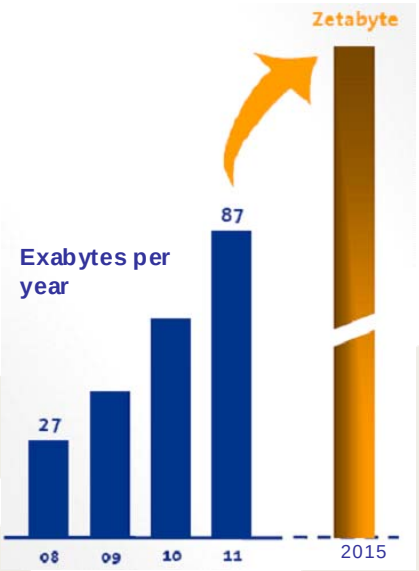


Figura 2.1. Evolución del tráfico total cursado en España (Fuente: Telefónica I+D)

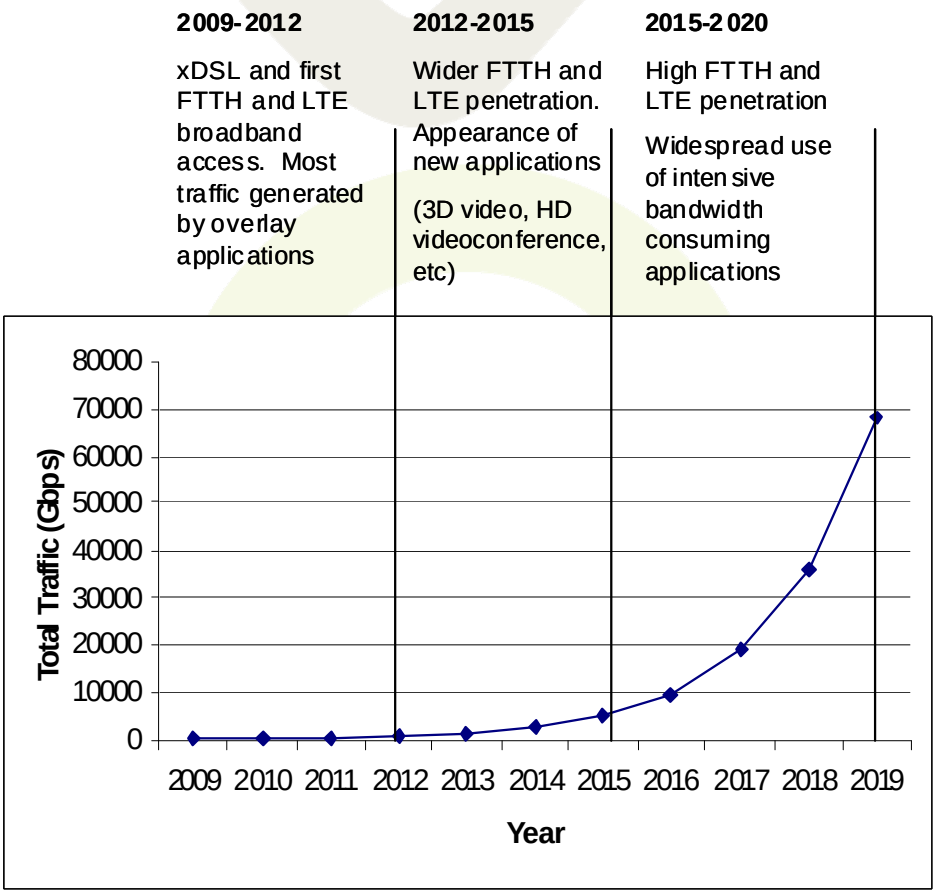


Figura 2.2. Evolución del tráfico en el área metropolitana de Madrid (Fuente: Telefónica I+D)

Este incremento de tráfico podría afectar negativamente al coste del servicio ya que, en las arquitecturas de transporte actuales basadas en conmutación electrónica (p.ej SDH, Ethernet e IP), el coste de red depende directamente del volumen de tráfico cursado: a mayor tráfico, mayor coste. Como podemos observar en la siguiente figura, este incremento en el coste de red podría implicar un incremento en el precio del servicio.

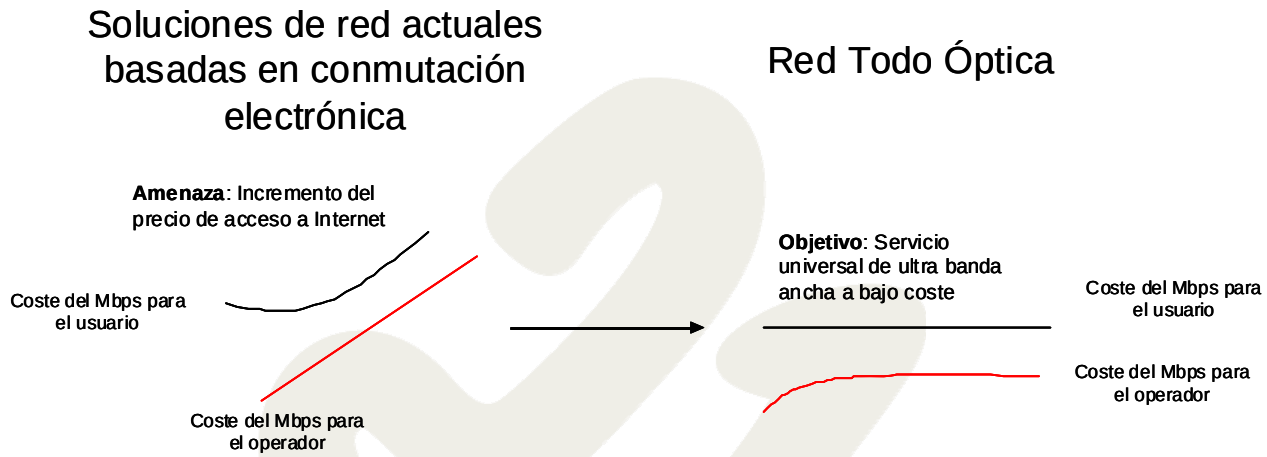


Figura 2.3. Evolución del tráfico en el área metropolitana de Madrid (Fuente: Telefonica I+D)

Por tanto, para asegurar el acceso universal a servicios de ultra banda ancha a bajo coste, se hace totalmente necesario investigar en nuevas tecnologías de red capaces de conmutar grandes volúmenes de tráfico con un mínimo coste. En este sentido, las tecnologías de transmisión y conmutación fotónica aparecen como una de las principales alternativas para lograr este objetivo.

- ¿Cómo conseguiría una Red Todo Óptica minimizar los costes de red?

Reducción de los costes de inversión

La clave de este ahorro de costes se encontraría en la reducción de las matrices de conmutación electrónicas y de las conversiones optoelectrónicas asociadas a éstas. Las conversiones optoelectrónicas para enlaces de alta capacidad metropolitanos y de larga distancia requieren el uso de tecnologías muy complejas y de alto coste. Por ejemplo, el coste de un puerto a 10 Gbps de larga distancia en un router IP puede superar los 100.000 euros, y este coste se incrementaría en enlaces a 40 Gbps y 100 Gbps que requieren una tecnología bastante más compleja.

Si en el futuro se realizase un despliegue masivo de FTTH a 100 Mbs en España y se mantuviese la arquitectura de red del núcleo IP de larga distancia actual, entonces el coste asociado a los puertos de conmutación a 10Gbps, 40Gbps y 100 Gbps podría rondar los 400 millones de euros. Para llegar a esta cifra hemos realizado un cálculo muy sencillo: suponiendo que existen 4 millones de usuarios, que el tráfico que llega al núcleo es sólo de 20 Mbps (el resto se queda en la red metropolitana) y que existe una tasa de concurrencia del 10% entonces el tráfico cursado por el núcleo de red sería de 4 Terabit/segundo, asumiendo un coste de 10.000 euros por Gbps obtenemos la cifra de 400 millones de euros.

Según los resultados de los estudios tecnoeconómiocos realizados en el proyecto europeo NOBEL-2, el uso de una red todo óptica para el transporte de flujos de tráfico a 10 Gbps reduciría el CAPEX de núcleo IP en un 65%. Por tanto podemos estimar que los ahorros en puertos de conversión optoelectrónica en el núcleo de red podrían rondar los 260 millones de euros.

Reducción de equipamiento y espacio

El crecimiento de tráfico en una red basada en tecnologías de conmutación electrónica normalmente se traduce en un incremento del tamaño y número de equipos. Por ejemplo, en un escenario de red con despliegues masivos de FTTH a 100 Mbps, el router de interconexión internacional tendría un throughpout aproximado de 4 Tbps. Si echamos un vistazo a la siguiente figura podemos comprobar que, en caso de utilizar matrices de conmutación electrónica como las actuales: ¡el router ocuparía 10 chasis!. Por otro lado, un router IP todo óptico basado en tecnología OPS (Optical Packet Switching) podría alcanzar throughpouts de cientos de Tbps sobre un sólo chasis.

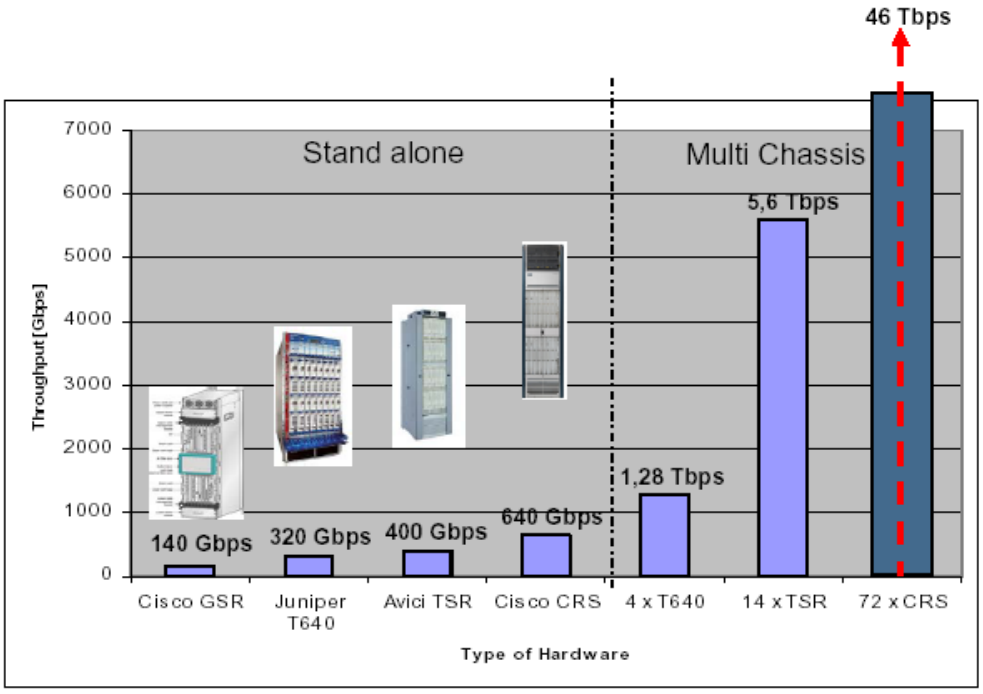


Figura 2.4. Escalabilidad de los routers actuales (Fuente: Deutsche Telecom)

Reducción de consumo energético

El ahorro en espacio y equipamiento mencionado anteriormente tendría entre otras ventajas una considerable reducción en el consumo energético. Además, el consumo energético de los nodos de conmutación ópticos (ROADM, Reconfigurable Optical Add Dropp Multiplexer) es sensiblemente menor que el de los nodos de conmutación electrónica. En la siguiente figura se muestra una comparación del consumo energético de distintos tipos de nodo de conmutación.

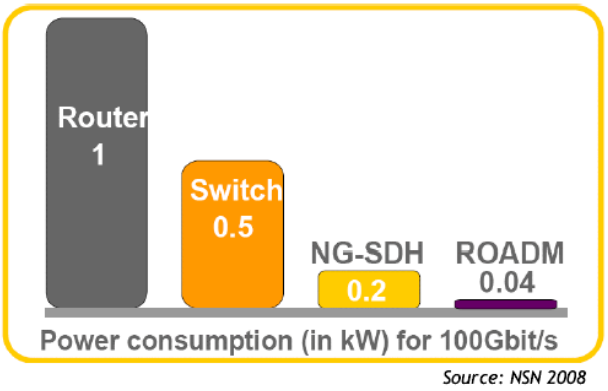


Figura 2.5. Consumo energético de distintas tecnologías de conmutación (Fuente: Nokia Siemens Networks)

Hasta el momento hemos hablado de las ventajas de una Red Todo Óptica pero aún no hemos tratado los aspectos tecnológicos de estas redes. A continuación haremos una prospección de las tecnologías que se posicionan como principales candidatas para cada segmento de red.

Acceso óptico

Las redes de acceso del futuro deberán ser capaces de ofrecer conexiones de muy alta capacidad a bajo coste. En concreto, para reducir los costes de la red de acceso se deberán cumplir una serie de requisitos técnicos:

- Mayor alcance, ya que cuanto mayor sea el alcance de la red de acceso menor será el número de nodos de acceso que tendrá que mantener el operador (en otras palabras, se puede aumentar el número y densidad de terminales cliente por nodo de acceso de operador).
- Mayor capacidad sobre la infraestructura de fibra disponible, mediante el estudio y desarrollo de métodos de codificación y transmisión más eficientes con un rendimiento más alto.
- Convergencia fijo / móvil: Infraestructura única de acceso para servicios fijos (p.ej FTTH) y móviles (p.ej LTE), incluyendo la convergencia de tecnologías y protocolos, la supresión de funcionalidades redundantes no controladas y facilitando una gestión integrada.
- Equipos clientes universales y de bajo coste. El equipo de cliente debe ser estándar de manera que pueda fabricarse en escala.
- Monitorización. Los sistemas de monitorización serán clave para minimizar los costes de operación y mantenimiento.

Actualmente la tecnología NGPON (Next Generation PON) se posiciona como la principal alternativa tecnológica capaz de cumplir con estos requisitos.

Evolución hacia redes ópticas pasivas de Nueva Generación (NG-PON)

El término NG-PON (Next Generation PON) engloba todas aquellas tecnologías que permiten mejorar las funcionalidades de las soluciones PON existentes en la actualidad.

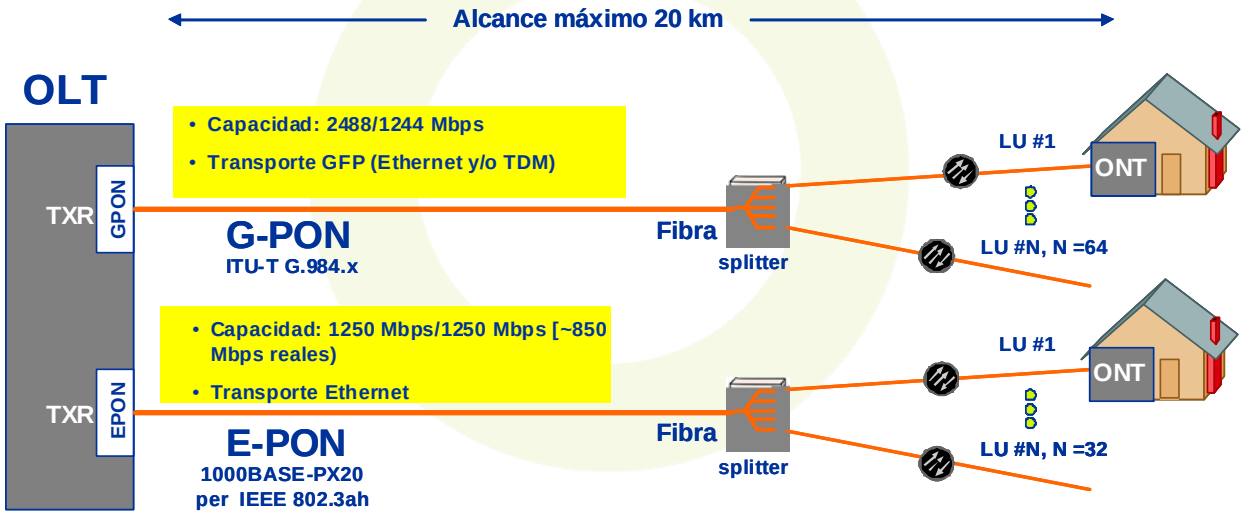


Figura 2.6. Soluciones PON actuales

Como se muestra en la siguiente figura, la principal motivación para la introducción de tecnologías NGPON será la minimización de los costes de inversión y operación en redes de acceso y agregación

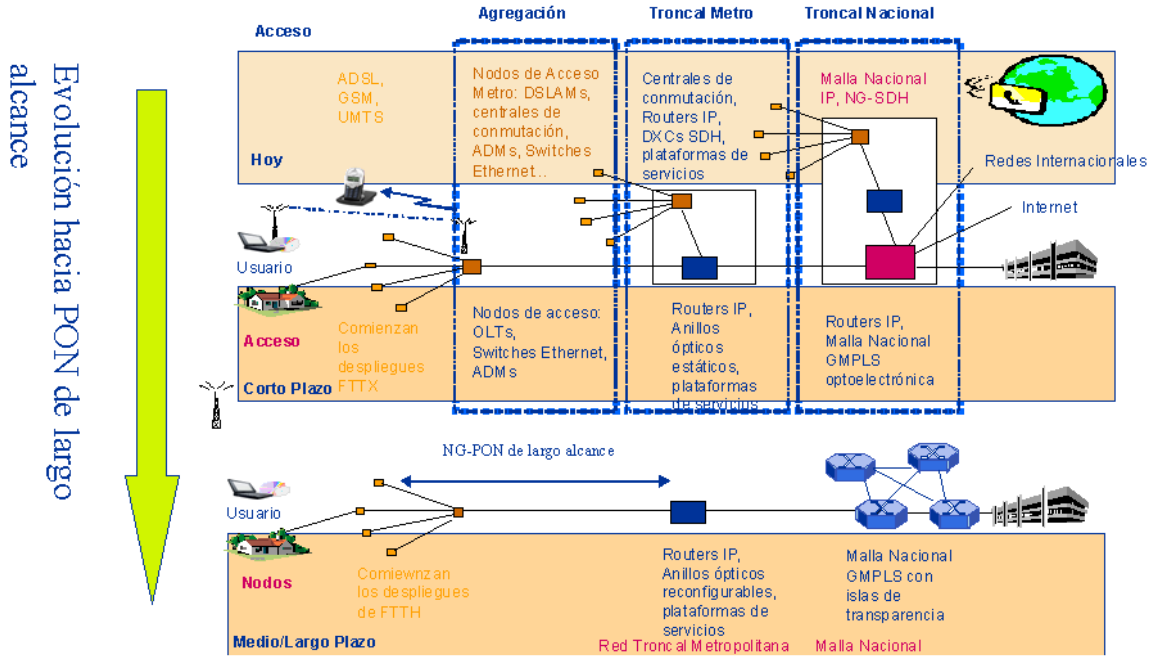


Figura 2.7. Evolución hacia NGPON

El uso de tecnologías como la WDM-PON de largo alcance permitiría reducir las necesidades de espacio y equipamiento en las centrales de acceso en casi su totalidad: ¡esto podría suponer la liberación de cientos de edificios

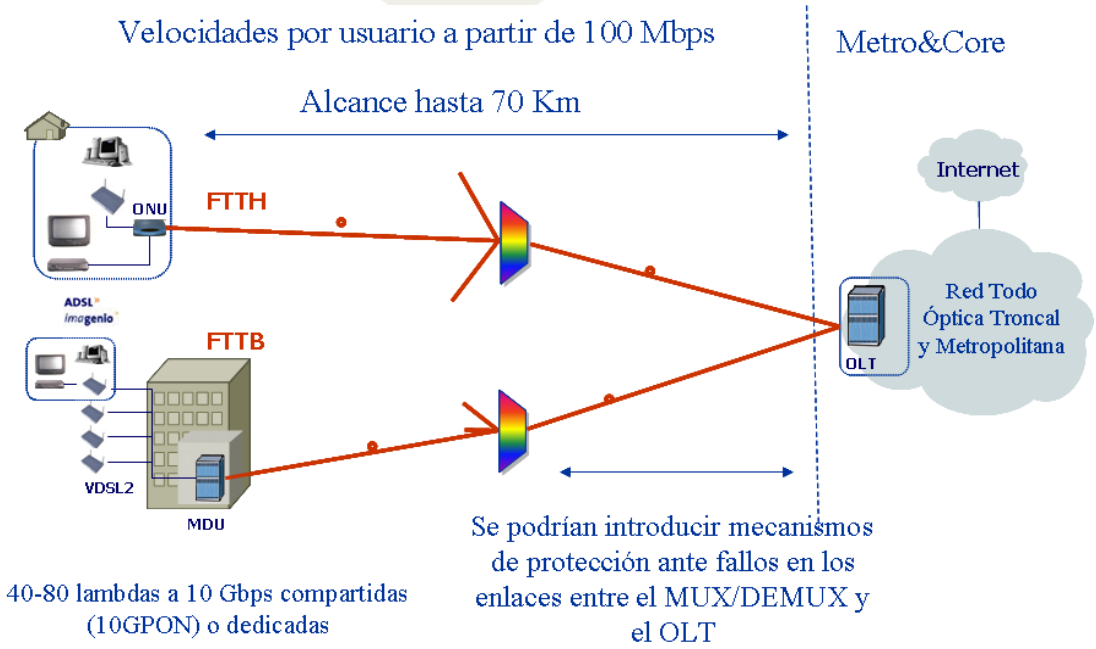


Figura 2.8. Acceso y Agregación WDM-PON de largo alcance

Red Metropolitana

La naturaleza del segmento metropolitano difiere en gran medida del segmento de acceso. Mientras que la red de acceso se limita a distribuir el tráfico entre un único nodo de acceso y múltiples usuarios, en el segmento metropolitano existen varias decenas de nodos de de red (~30 nodos) que agregan y conmutan el tráfico procedente de los nodos de acceso y de las plataformas de servicio.

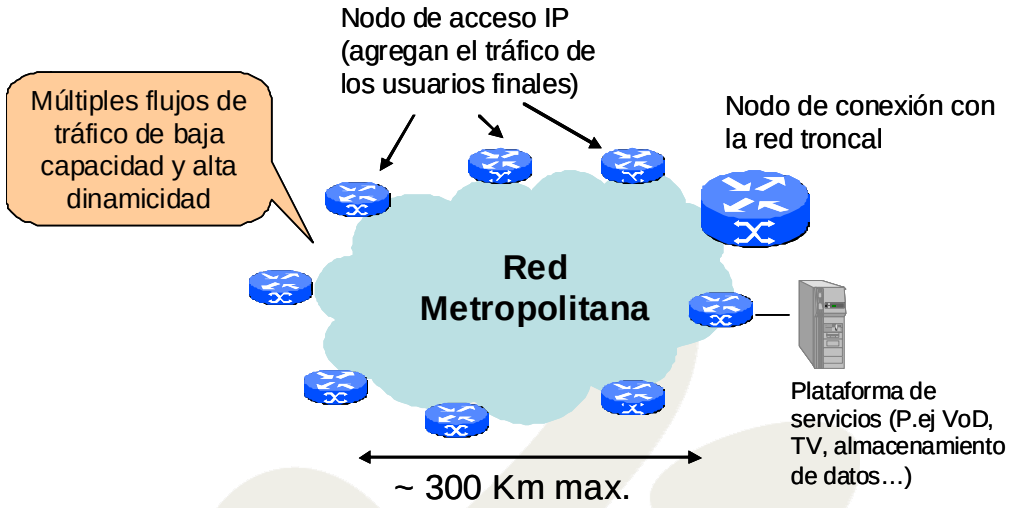


Figura 2.9. Segmento metropolitano

Entre los principales requisitos técnicos para las redes metropolitanas del futuro podemos mencionar los siguientes:

- Facilitar el despliegue localizado de servicios (por ejemplo, las "Content Delivery Networks o CDN). Las redes deben ofrecer un interfaz estándar a las plataformas de servicio.
- Máxima disponibilidad ante caídas de enlaces de nodos o de plataformas de servicio.
- Flexibilidad, capacidad variable y granularidad.
- Transmisión eficiente punto a (multi)punto para servicios de TV y empresariales.
- Inteligencia / automatización: la automatización de los procesos minimizaría los costes de operación y mantenimiento.
- Ingeniería de tráfico: la optimización en el consumo de recursos minimizaría los costes de inversión.

Considerando estos requisitos, las tecnologías de conmutación dinámica de ráfagas ópticas se posicionan como la principal alternativa fotónica para el segmento metropolitano.

Evolución hacia redes OBS (Optical Burst Switching) metropolitanas

Con el término OBS englobamos todas aquellas tecnologías basadas en conmutación fotónica que permiten que un único puerto físico de los nodos metropolitanos pueda ser utilizado de forma dinámica por múltiples conexiones. La siguiente figura muestra el funcionamiento básico de las posibles soluciones OBS en la que cada nodo dispone de un transmisor sintonizable y de un receptor fijo a una determinada longitud de onda. Si un nodo quiere comunicarse con otro nodo basta con que sintonice su transmisor a la longitud de onda adecuada. Para evitar colisiones entre flujos de tráfico con distintas fuentes pero el mismo destino se utiliza un protocolo de control de acceso al medio de manera que cada nodo del anillo sabe en que ranura temporal y con que longitud de onda debe transmitir.

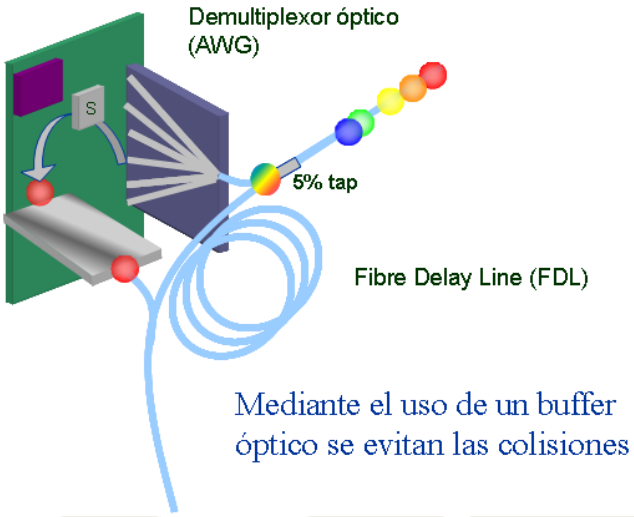


Figura 2.10. Conmutador Ethernet todo óptico

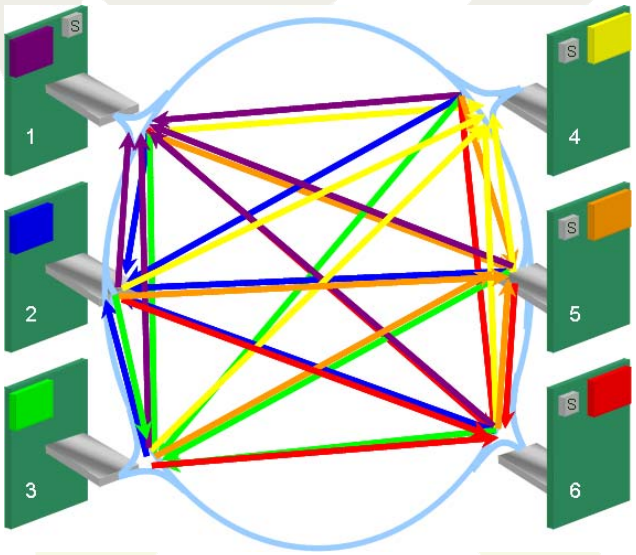


Figura 2.11. Malla virtual sobre anillo Ethernet todo óptico

Los conmutadores OBS de una misma red metropolitana (p.ej. Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla,…) se agruparían formando anillos como el mostrado en la figura anterior, de este modo cada nodo de agregación tan sólo necesitaría un puerto sintonizable (y redundado) para comunicarse con los demás nodos de su red regional.

Red Troncal

Mientras las redes metropolitanas deben hacer frente a múltiples flujos de tráfico de baja capacidad y alta variabilidad, la red troncal conmuta flujos agregados de tráfico de muy alta capacidad y escasa variabilidad.

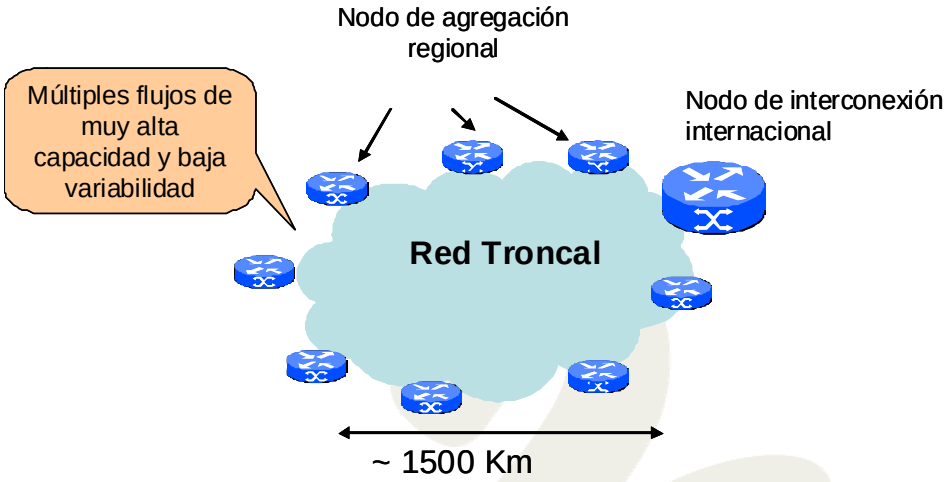


Figura 2.12. Arquitectura genérica de la red troncal

Entre los principales requisitos técnicos para redes troncales podemos mencionar los siguientes:

- Alta capacidad: en el futuro próximo el tráfico típico entre dos nodos de la red troncal alcanzará varias decenas de Terabit/s
- Optimización de la capacidad del enlace de la fibra: La capacidad de cada enlace de fibra deberá aumentar en varios órdenes de magnitud. En concreto, dicha capacidad podría incrementarse bien aumentando el número de canales por fibra o bien aumentando la capacidad por canal.
- Transmisión a gran distancia. La eliminación de la conmutación electrónica en la red troncal por motivos de eficiencia económica implicaría un incremento notable del alcance máximo de la transmisión sobre redes ópticas
- Capacidad de recuperación ante fallos: Cada enlace de la red troncal soporta el tráfico de cientos de miles de usuarios por lo que su capacidad de recuperación ante fallos es clave. En este sentido, se requerirá el uso de mecanismos de protección y restauración rápidos, fiables y eficientes en costes.
- Para alcanzar al mismo tiempo una alta capacidad y transmisión a gran distancia la solución tecnológica mas perseguida está basada en el uso de formatos de transmisión coherentes, donde se combina la modulación de fase y de amplitud para aumentar la eficiencia espectral (capacidad) y la resiliencia contra efectos de dispersión y no lineales (distancia).
- Ancho de banda bajo demanda: La red requerirá de mecanismos de aprovisionamiento de ancho de banda bajo demanda en tiempo real y con calidad de servicio, adaptándose a las necesidades del operador.
- Monitorización del rendimiento de la señal óptica: Los mecanismos de provisión y de restauración de circuitos sobre la red óptica deberán tener en cuenta la información proporcionada por herramientas de monitorización de la capa física de manera que se asegure la viabilidad de la transmisión por el nuevo camino.
- Bajo coste: El coste por Gbps deberá ser sensiblemente menor que el actual.
- Plano de control óptico: La automatización de los mecanismos de aprovisionamiento y restauración mediante un plano de control óptico distribuido reduciría los costes de operación y mantenimiento, permitiendo optimizar los recursos de la red mediante mecanismo de ingeniería de tráfico.
- Suporte multipunto para servicios de distribución de TV y servicios corporativos.

La tecnología de conmutación de longitudes de onda WSON (Wavelength Switched Optical Network) se posiciona claramente como la alternativa fotónica que mejor se adapta a los requisitos de la red troncal.
En concreto, la introducción de ROADMs y OXCs (elementos de conmutación de longitudes de onda todo ópticos) combinada con la adopción de formatos de modulación avanzados permiten ofrecer caminos ópticos de

extremo a extremo de alta velocidad, que son completamente conmutados y encaminados dentro del dominio óptico en las llamadas redes ópticas de conmutación de longitudes de onda (WSON).

Evolución hacia malla fotónicas troncales

En el futuro el núcleo de red estaría compuesto por una malla fotónica que interconectaría los Nodos Regionales con los Nodos de Interconexión internacional.

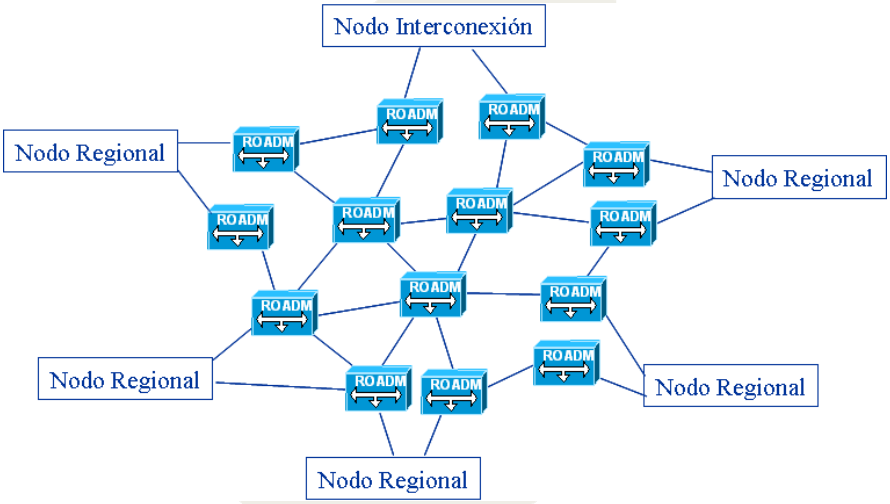


Figura 2.13. Malla fotónica troncal

El nodo de interconexión, o de salida a Internet estaría compuesto por routers OPS (Optical Packet Switching) capaces de conmutar tráfico de varios cientos de Terabit/s sin necesidades de utilizar convertidores optoelectrónicos. El componente clave para el desarrollo de estos routers son las memorias ópticas: un elemento óptico pasivo que introduce un retardo en la propagación de la luz para que dé tiempo a realizar el procesado de la cabecera del paquete y a configurar el conmutador. El procesado de la cabecera puede realizarse en el dominio eléctrico aunque ya existen tecnologías experimentales que permitirían hacerlo de forma totalmente óptica.

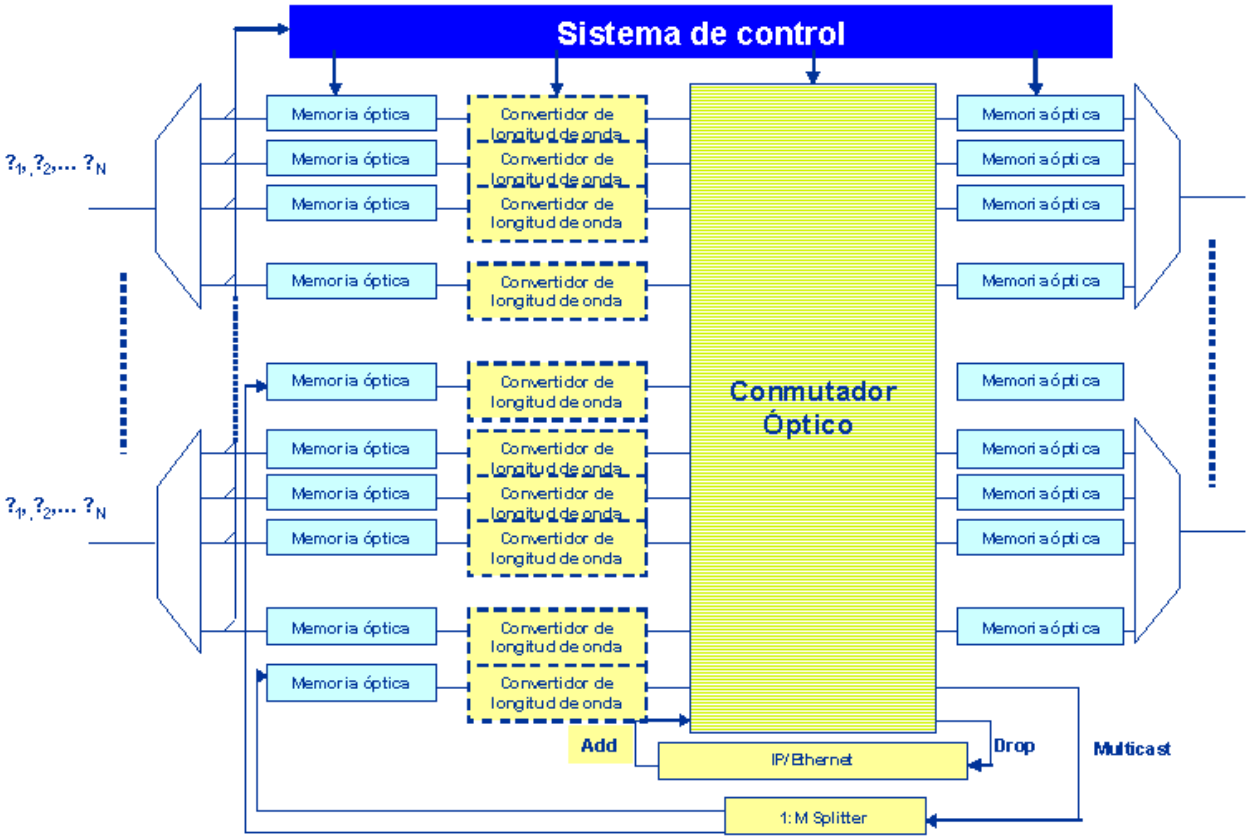


Figura 2.14. Router OPS

Por otro lado, los elementos clave para el despliegue de la malla fotónica serían el ROADM, el OXC y el Regenerador 3R todo óptico.

Los ROADMs son equipos totalmente ópticos como el mostrado en la siguiente figura que son capaces de insertar y extraer canales ópticos (longitudes de onda) de una fibra sin necesidad de realizar conversiones optoelectrónicas. Los OXCs permiten encaminar canales ópticos entre diferentes fibras de entrada y salida de un nodo.

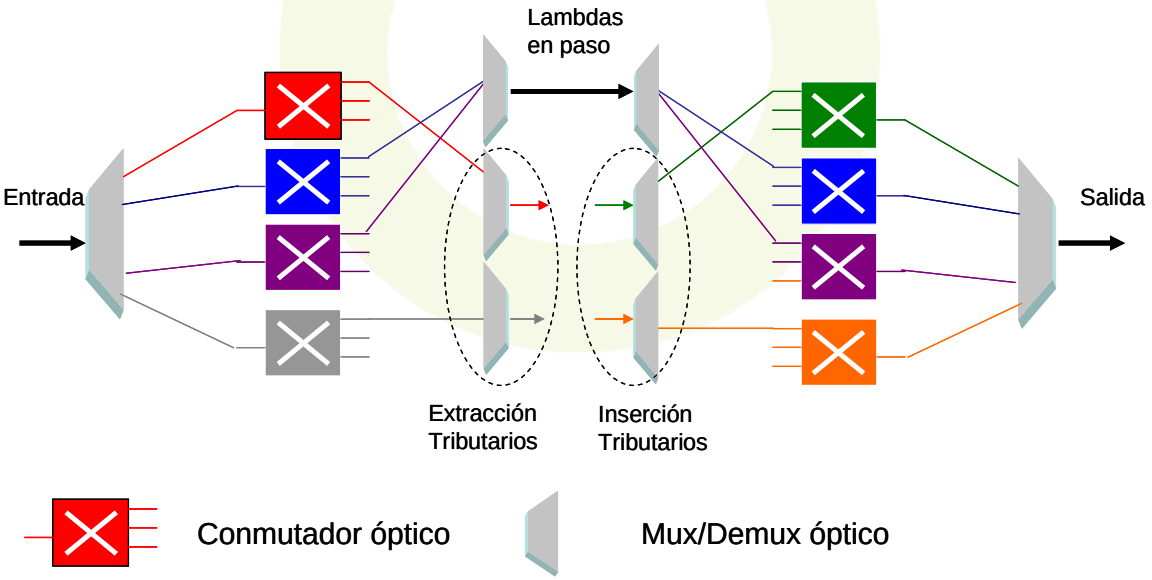


Figura 2.15. Ejemplo de estructura de un ROADM

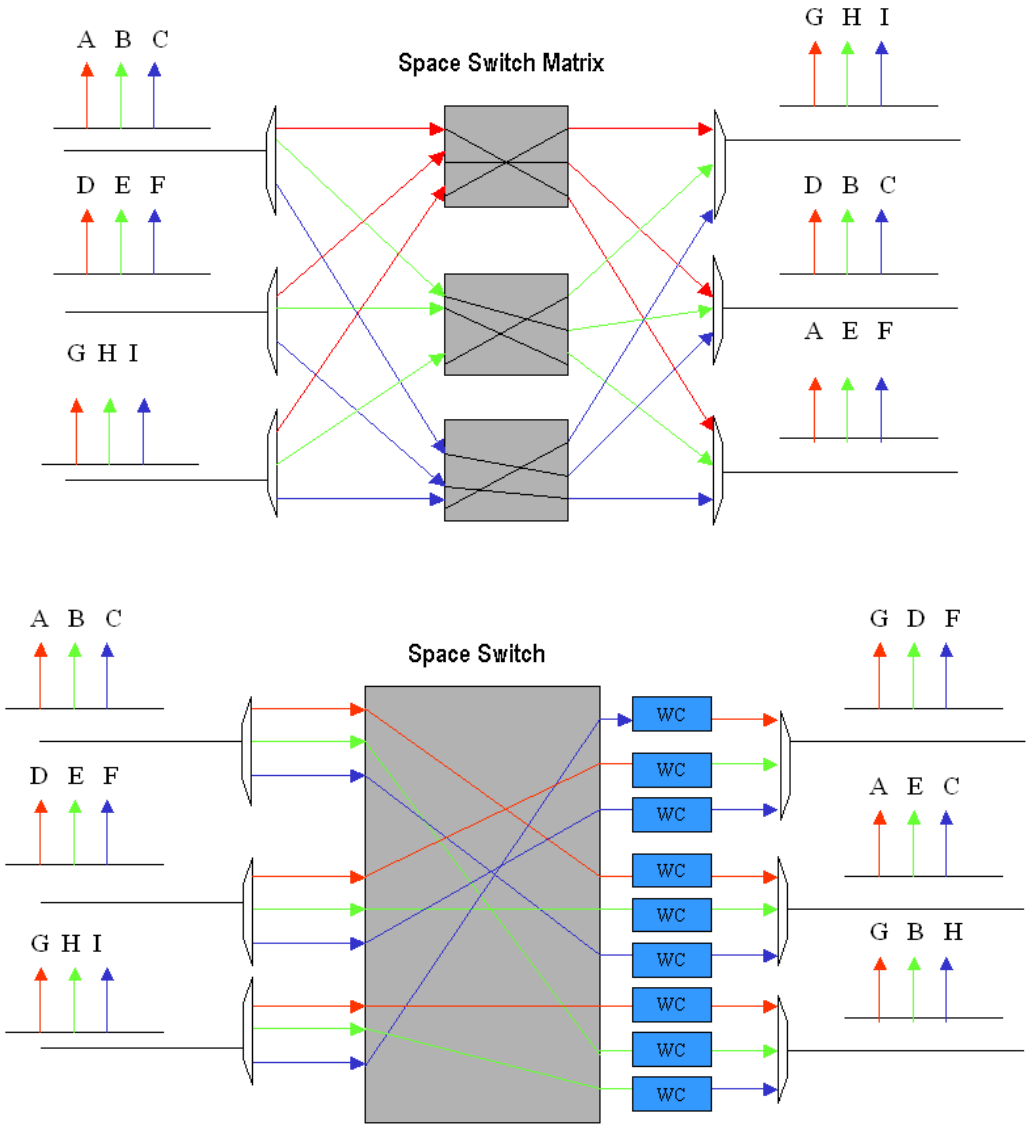


Figura 2.16. Ejemplo de estructura de un OXC

Actualmente todos los grandes fabricantes ya disponen de soluciones comerciales de este tipo. Por otro lado, el desarrollo de Regeneradores 3R capaces de amplificar, recuperar la forma y resincronizar las señales digitales de forma totalmente óptica está en sus comienzos.

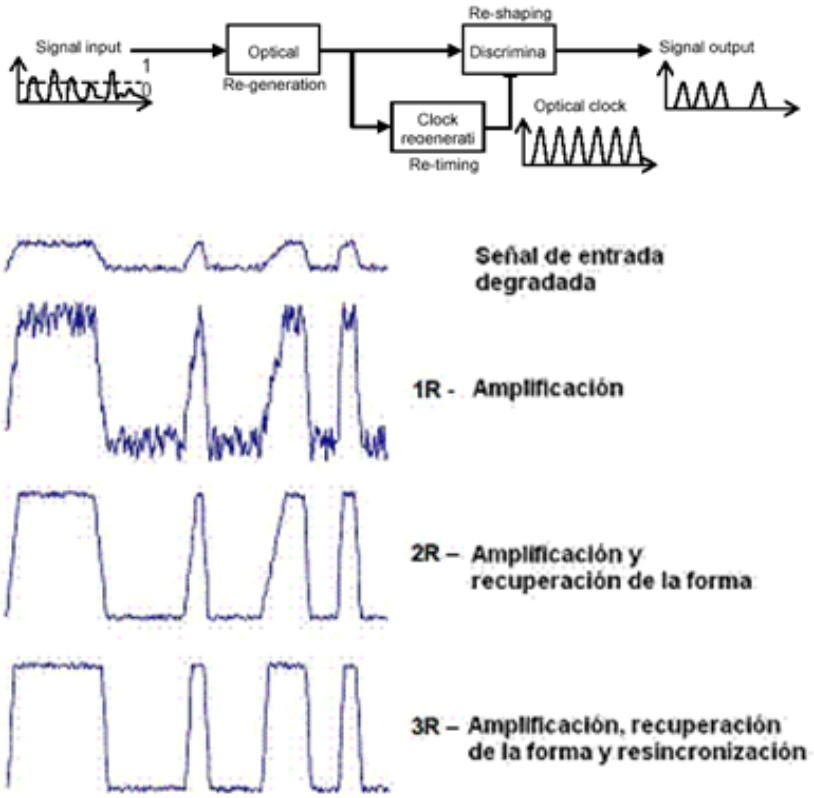


Figura 2.17. Regenerador 3R

Principales temas de investigación en Redes Todo Ópticas

En la siguiente tabla se resumen los principales temas de investigación relacionados con la visión sobre la evolución de la red descrita en el apartado 2.1

RED DE ACCESO	RED METROPOLITANA	RED TRONCAL
• Arquitecturas hibridas WDM-PON/ 10GPON • Convergencia fijo móvil sobre WDM-PON • Herramientas de monitorización para redes WDM-PON • Diseño de PONs seguras basadas en OCDMA	• GRID sobre OBS para optimización de costes de plataformas de servicio • Plano de control en redes OBS • Mecanismos de ingeniería de tráfico y restauración en redes OBS • Mecanismos de distribución de tráfico multicast sobre OBS • Mecanismos de Calidad de Servicio (QoS) para flujos multimedia y de tiempo real sobre redes OBS. • Herramientas de monitorización para redes OBS • Mecanismos de protección/restauración en anillos WSON metropolitanos con tráfico alta dinamicidad. • Algoritmos de agregación de	• Plano de control en mallas fotónicas • Mecanismos de restauración rápida sobre malla fotónica • Algoritmos de optimización para herramientas de planificación en malla fotónica • Mecanismos de ingeniería de tráfico multicapa en redes IP sobre malla fotónica • Soluciones de distribución de tráfico multicast sobre malla fotónica • Trasmisión a 100 Gbps • Herramientas de monitorización para MALLA FOTÓNICA • Algoritmos RWA centralizados, distribuidos, y

	tráfico Ethernet en anillos WSON metropolitanos con tráfico de alta dinamicidad. • Algoritmos de enrutamiento y asignación de longitud de onda (RWA) en anillos WSON metropolitanos. • Mecanismos de aprovisionamiento y reserva de longitudes de onda en en anillos WSON metropolitanos. • Protocolos de control (RSPV-TE, OSPF-TE, PCE) en anillos WSON metropolitanos. • Técnicas de monitorización del rendimiento de la señal óptica en anillos WSON metropolitanos. • Tecnologías de transmisión ópticas.	protocolos de reserva, junto con las extensiones requeridas a los protocolos actuales GMPLS RSVP-TE, OSPF-TE y PCEP para el aprovisionamiento y recuperación de servicios ópticos en redes WSON malladas uni y multi-dominio. • Algoritmos de agregación, así como las extensiones de los protocolos necesarias para el aprovisionamiento y recuperación de servicios Ethernet sobre redes WSON malladas. • Plano de control distribuído GMPLS con arquitectura PCE. • Plano de servicio para la auto-gestión de conexiones lambdas, incluyendo mecanismos de caracterización de tráfico IP. • Diseño y evaluación de sistemas de transmisión ópticos espectralmente eficientes basados en OFDM. Investigación de potenciales sistemas de transmisión basados en tecnología OFDM completamente óptica. • Diseño y evaluación de técnicas avanzadas de monitorización del rendimiento óptico para redes WSON transparentes y reconfigurables dinámicamente

En la siguiente tabla se detallan las prioridades de investigación que se han considerado en los puntos anteriores:

Área de investigación	Horizonte temporal

	Corto 0 a 2 años	Medio 3 a 5 años	Largo 6 a10 años
Acceso NG-PON	X	X	
Conmutación de ráfagas ópticas (OBS)	X	X	X
Conmutación de lambdas (WSON)	X	X	
Plano de control fotónico	X	X	X
Monitorización de la señal óptica	X	X	X

Mapa de potencialidades en España

Tal y como se muestra en la siguiente tabla, en España existe un gran potencial en la investigación de redes ópticas tanto a nivel industrial como académico. Por tanto, empresas como Telefónica, Telnet, Snell Optics y Aragon Photonics, universidades como ITEAM-UPValencia, UE-UPV, UC3M y UC-TOA, y centros de investigación como CTTC e ICFO podrían jugar un importante papel en el desarrollo de la red óptica extremo a extremo del futuro.

Áreas de Investigación		Centros de investigación activos en este campo
Acceso	Componentes pasivos	TELNET
	Radio sobre Fibra	TID, TELNET, UC-TOA, UC3M
	Acceso óptico de largo alcance	TID, TELNET
	WDM-PON	TID, TELNET, UC3M
	Criptografía cuántica	TID, ICFO
	Fibra de plástico	SNELL OPTICS, UC3M
	Transmisión óptica inalámbrica	UC-TOA
	Herramientas de monitorizacón (OAM)	TID, Aragon Photonics, TELNET, UC3M
	Mecanismos de asignación de recursos (protocolos MAC…)	TID
	Ópticas para acoplamiento en fibras	SNELL OPTICS
Redes de Transporte	Tecnologías de transmisión	ICFO
	Receptores ópticos	EU-UPV, SNELL OPTICS
	Tecnologías de conmutación de lambdas	CTTC, TID, TELNET, ICFO
	Tecnologías de conmutación de ráfagas ópticas	ITEAM-UPV Valencia, TID, TELNET
	Tecnologías de conmutación de paquetes ópticos	TID, TELNET, UC3M
	Herramientas de monitorización de la capa física	CTTC, TID, Aragon Photonics, TID, TELNET
	Plano de control para redes ópticas	CTTC, TID, TELNET
	Mecanismos de asignación de recursos (cómputo de camino, restauración, etc)	CTTC, TID, TELNET
	Polarización en redes ópticas	UC-TOA

Participantes en la elaboración de este documento

Fecha	Empresa	Detalle contribución

Fecha	Empresa	Detalle contribución
1-03-2007	DAS	"esqueleto" sobre el que construir la versiones siguientes (v1.0)
17-11-2008	TID	Contribución sobre predicciones hasta 2015: nuevas tecnologías y aplicaciones
Abril- junio/2009	Asistentes al I Workshop de Fotónica (1-2 abril 2009, San Sebastián).Anexo 1	Versión final capítulo Grupo Trabajo 1

Control de cambios

GT1_Informacion y comunicaciones_v1	DAS	Marzo 2007
GT1_Informacion y comunicaciones_v2	TID	Junio 2009

3. PROCESOS DE FABRICACIÓN INDUSTRIALES

Introducción

Este documento contempla la Agenda Estratégica de Investigación de la Plataforma Tecnológica Española FOTÓNICA21, en lo que concierne a la prioridad de investigación 2: Procesos de Fabricación Industriales.

Este documento se ha confeccionado a partir de un foro abierto promovido por la industria y los centros públicos y privados de investigación españoles relacionados con el sector de la Fotónica con el fin de poder definir necesidades y áreas clave de investigación para el futuro desarrollo tecnológico español.

Muchas de las áreas de investigación aquí mencionadas se recogen de manera más o menos directa en las recomendaciones de las instituciones europeas acerca de las necesidades de I+D+i en materia fotónica, especialmente en la Agenda Estratégica de Investigación (RSA) de la Plataforma de Fotónica Europea Photonics21.

Retos actuales y futuros

A nivel de I+D+i

Los fundamentos físicos del comportamiento de la luz, las leyes de Maxwell y la base de la óptica cuántica, son bien conocidos y describen la generación, propagación e interacción de los fotones con la materia. Con el conocimiento actual, hemos aprendido a utilizar los fotones de diferentes modos en los ámbitos de la ciencia, la ingeniería y la industria.

A pesar de ello, científicos e ingenieros se enfrentan continuamente con obstáculos importantes cuando tratan de desarrollar nuevas tecnologías fotónicas que redunden en beneficios sociales y económicos. Estas dificultades no están basadas en las leyes físicas fundamentales, sino que son debidas a las limitaciones de los sistemas y componentes físicos actuales.

Superar estas dificultades requiere una combinación de competencias de las más diversas disciplinas científicas: ciencia de materiales, óptica cuántica, termodinámica y física del estado sólido. Las limitaciones físicas y tecnológicas de los componentes ópticos solo pueden ser resueltas mediante esfuerzos de investigación interdisciplinares en campos tan diversos como la tecnología de fabricación, la ingeniería de microsistemas, las nanotecnologías, las telecomunicaciones o la óptica.

El resultado de estos esfuerzos debe actuar como motor de la innovación en los campos de la ciencia, la ingeniería y la industria.

A nivel industrial

Muchas compañías emplean actualmente tecnologías fotónicas en sus procesos productivos, y muchas más están valorando la posibilidad de su inmediata aplicación. La mayoría de los sectores industriales entrarán próximamente en la 'era de la fotónica', ya que en la actualidad únicamente han alcanzado la fase de evaluación del potencial de aplicación de esta tecnología en sus procesos de fabricación. En un futuro próximo será posible el empleo de nuevas soluciones de fabricación mediante el rediseño de algunos de los procesos productivos. El reto inmediato para la industria será el desarrollo y la implementación exitosa de las nuevas posibilidades de fabricación aportadas por la tecnología fotónica.

Podemos ilustrar este proceso mediante el ejemplo del dramático cambio que está sufriendo el método de soldadura láser en la industria del automóvil. Los sistemas de soldadura remota pueden reducir drásticamente el tiempo de fabricación con respecto a los sistemas convencionales que se emplean

actualmente. La necesidad de soluciones específicas requiere una intensa colaboración por parte de la industria con las entidades públicas y privadas de investigación.

En este punto surgen dos conclusiones:
1) La fotónica es una disciplina genérica que puede ser empleada para lograr nuevas soluciones y nuevos productos y procesos industriales.
2) Los procesos de fabricación actuales pueden ser mejorados o incluso sustituidos por aquellos nuevos basados en el empleo de las tecnologías fotónicas.

Tecnologías emergentes en el horizonte de 2015

Las tecnologías fotónicas se podrán emplear en los próximos años en procesos muy diversos de fabricación, algunos de ellos ya conocidos en la actualidad, y muchos de ellos basados en novedosas aplicaciones. Las razones que impulsan al éxito seguro de la fotónica aplicada a los procesos productivos están basadas en las propiedades intrínsecas de los fotones:

- dada la pequeña energía individual de los fotones, la 'dosis' puede ser ajustada de modo muy preciso, dando lugar a procesos con una precisión sin precedentes.
- la posibilidad real de emplear procesos de inspección y control sin contacto abrirá el camino al desarrollo de nuevos procesos de producción.
- los parámetros de la radiación ajustables, tales como la longitud de onda o las características espaciales y temporales, configuran herramientas muy flexibles que pueden ser controladas y automatizadas de modo muy preciso.

Por todos estos motivos, un gran potencial está todavía por explotar con el fin de poder:
- Incrementar la productividad y la competitividad de las industrias,
- Mejorar la calidad de la producción y bajar los costes de fabricación,
- Permitir el desarrollo de nuevos productos y procesos de fabricación,
- Mejorar la calidad de vida,
- Disminuir el gasto, reducir el consumo energético y proteger el medio ambiente, y
- Mejorar la seguridad de las personas en su vida diaria y en sus puestos de trabajo.

La única respuesta a la problemática de la deslocalización industrial es incrementar de modo significativo la velocidad de producción, la eficiencia de los procesos productivos y la calidad de los productos, al tiempo que se apuesta por la innovación. La evolución en las tecnologías de los procesos productivos es estrictamente necesaria para un ulterior desarrollo exitoso de nuevos y mejores productos.

Clasificación de las prioridades de investigación

La clasificación de las necesidades de investigación en el ámbito de los procesos de producción industriales se descompone en cuatro grandes epígrafes: aplicaciones, herramientas, procesos, y control de calidad y visión artificial.

APLICACIONES

Los procesos actuales que emplean tecnologías fotónicas deben ser transferidos a aplicaciones en las que esta disciplina no se emplea hoy en día. El objetivo del proceso industrial será más fácilmente alcanzable empleando las tecnologías fotónicas cuando lo comparemos con la tecnología utilizada actualmente. Se podrá conseguir así una mayor productividad, una mejor calidad del proceso productivo y del producto final, una mejor flexibilidad del proceso, a la vez que la obtención de mayor fiabilidad en la producción.

Además, podemos asegurar que se podrán definir nuevas aplicaciones que únicamente puedan ser llevadas a cabo mediante la utilización de las tecnologías fotónicas.

Las prioridades de investigación dentro del epígrafe de las aplicaciones de la fotónica se describen a continuación:

Desarrollo de nuevas aplicaciones basadas en tecnologías fotónicas, referentes a la obtención y procesado de nuevos materiales, así como a nuevos modos de procesado no empleados en la actualidad. La ventaja competitiva de la fotónica en cuanto a flexibilidad y precisión en su aplicación permitirá el desarrollo de estas nuevas técnicas.

Mejora de la tecnología existente y desarrollo de nuevas tecnologías, lo que conllevará a una importante reducción de los costes de producción, una mejora de la flexibilidad, así como la obtención de procesos mejores y más precisos. En este punto es donde las políticas de apoyo deberían considerar la cadena completa de los procesos productivos, desde el fabricante del dispositivo que emplea tecnología fotónica hasta el usuario final que puede sacarle el mejor provecho al mismo.

Macro-procesado de materiales, donde el empleo de procesos híbridos combinando técnicas fotónicas con técnicas basadas en diferentes principios pueden mejorar los procesos actuales. Por ejemplo, se podrán obtener mejoras significativas en los procesados de material con láser para corte o soldadura, o bien en el procesado láser remoto.

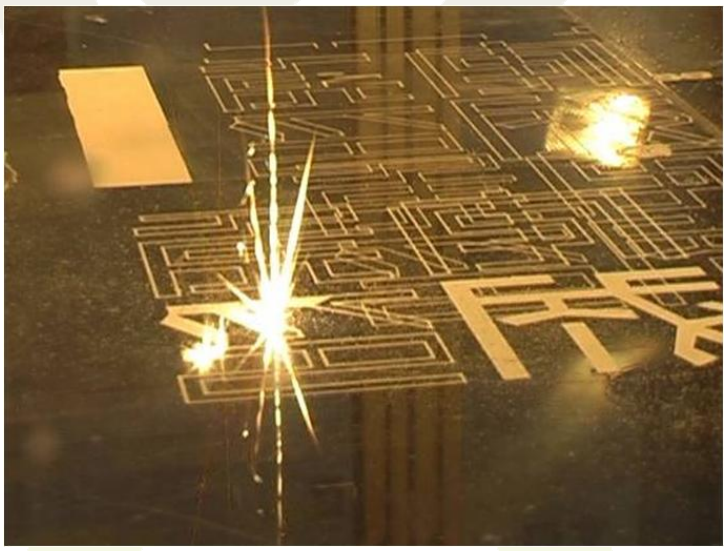


Figura 4.1: Imagen de un proceso de marcado de una superficie de piedra natural empleando un sistema láser remoto de alta potencia, 2KW . (Fuente: AIDO)

Micro y nano-procesado de materiales, donde se considera, por ejemplo, la modificación local de superficies y el corte o ablación de materiales a pequeña escala. Como en el caso del macro-procesado, la investigación en procesos híbridos puede llevar al desarrollo de nuevas técnicas o a la mejora de las ya existentes.

Procesado de nuevos materiales y estructuras, que incluye por ejemplo el tratamiento con láser de superficies, estructural, etc. de nuevas estructuras y materiales.

Aplicaciones biofotónicas, donde se aplicarán tecnologías fotónicas a un campo con un alto potencial de crecimiento.

Aplicaciones industria aerospacial, defensa, etc., donde el uso de tecnologías fotónicas permitirá introducir nuevos procesos y productos en un campo de gran interés en la industria española.

Otros. Estos incluyen no sólo aquellas aplicaciones no descritas anteriormente, sino también el desarrollo de soluciones integradas y competitivas económicamente.

En la siguiente tabla se detallan las prioridades de investigación que se han considerado en los puntos anteriores:

Área de investigación	Horizonte temporal		
	Corto 0 a 2 años	Medio 3 a 5 años	Largo 6 a10 años
Desarrollo de nuevas aplicaciones basadas en tecnologías fotónicas	X	X	X
Mejora de tecnología existente y desarrollo de nueva tecnología	X	X	X
Macro-procesado de materiales	X	X	
Micro y nano-procesado de materiales	X	X	X
Procesado de nuevos materiales y estructuras		X	X
Aplicaciones biofotónicas (medicina, biología, etc.)	X	X	X
Aplicaciones aerospacial, defensa, etc.	X	X	X

Tabla 3.1. Prioridades de investigación y su horizonte temporal

En España, el mapa de potencialidades de aplicaciones se distribuye tal y como se indica en la Figura 3.2.

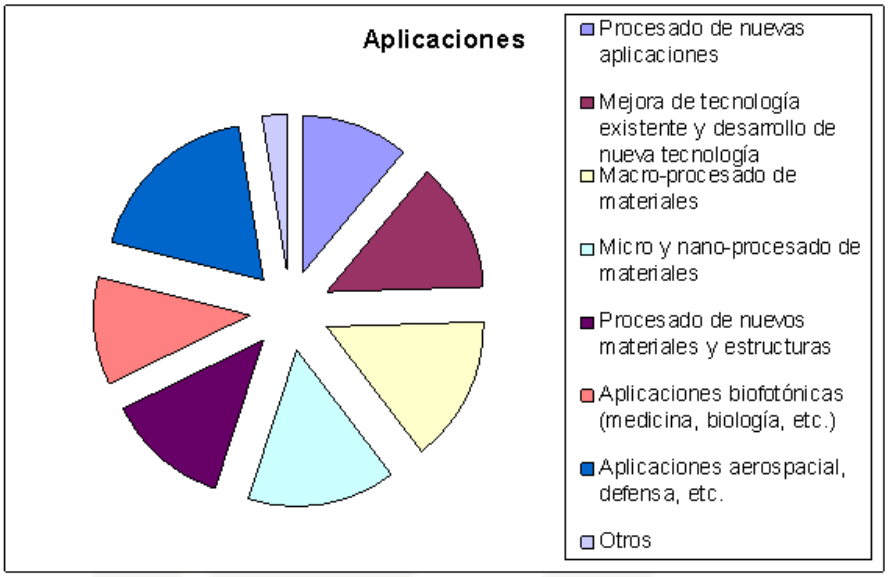


Figura 3.2: Mapa de potencialidades de aplicaciones en procesos industriales

HERRAMIENTAS

Dentro de este epígrafe, en el que se consideran a las tecnologías fotónicas como una gran herramienta que puede ser aplicada en numeroso procesos productivos, se incluyen el desarrollo de fuentes láser, materiales ópticos, el conocimiento de las propiedades ópticas de los haces, así como el desarrollo de sistemas de control de los procesos. Las prioridades de investigación dentro de este epígrafe se describen a continuación:

Fuentes láser y sistemas de fabricación con láser mejorados, cuyos avances más recientes en cuanto a calidad del haz y al empleo de elevadas potencias de emisión ha permitido que sean empleados de modo masivo en los macro-procesos productivos. Sin embargo, hay procesos como los micro-procesos productivos que están a la espera de la obtención de instrumental adecuado y seguro para su empleo en la cadena de fabricación diaria. Existe pues una demanda real en el desarrollo de nuevas fuentes láser con mejores calidades de haz, con nuevas características tales como nuevas longitudes de onda, duraciones de pulsos ultra-cortos, con potencias de emisión más elevadas y con propiedades del haz que puedan ser modificadas a medida de la aplicación en cuestión. También existe una importante demanda en la integración y desarrollo de nuevos sistemas de micro y macro fabricación con láser a medida, personalizados para las distintas aplicaciones, que incorporen distintos elementos (fuente láser, sistema óptico y de guiado, sistema de posicionado, sistema de control y monitorización del proceso, etc.).

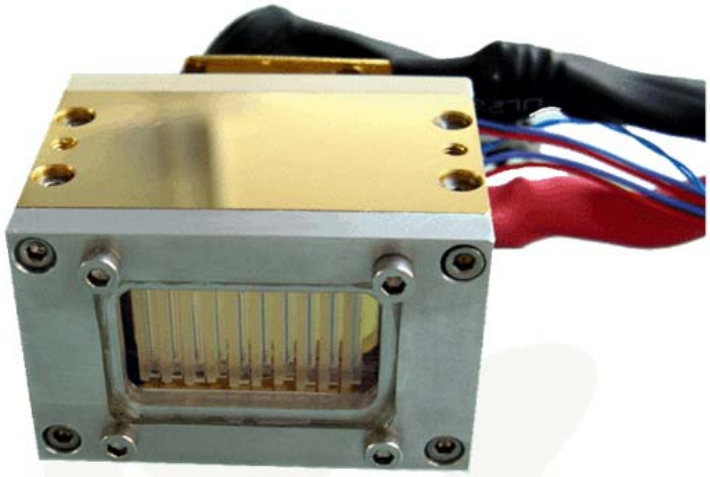


Figura 3.3: Imagen de una fuente de diodos láser de alta potencia (3kW) con pulsos ultracortos de nanosegundos. (Fuente: Monocrom)

Transmisión y guiado avanzado de haces, lo que permitirá el desarrollo de nuevos sistemas de guiado y transmisión de haces láser no existentes en la actualidad. El desarrollo de nuevas y mejores fuentes láser requiere inmediatamente de la obtención de nuevos modos de transporte y guiado para poder permitir su aplicación inmediata en el proceso requerido. Estos desarrollos permitirán la obtención de lo que se conoce con el nombre de redes láser inteligentes de alta potencia.

Conformado y manipulado de haces, donde el desarrollo de nuevas técnicas permitirá explotar al máximo todas las posibilidades en cuanto a flexibilidad y precisión de los procesados por láser. A este respecto, las tecnologías existentes en la actualidad para la modificación espacial o para el control de la variación temporal de las propiedades del haz láser deberían ser mejoradas para poder adaptarlas a los nuevos desarrollos de fuentes láser de mayor potencia de emisión y menor duración de pulso.

Componentes ópticos, para los que será necesario realizar nuevos avances para que puedan ser aplicados al guiado, transmisión y modificación de los parámetros del haz de las nuevas fuentes láser que se desarrollen. Dentro de este campo, el empleo de los ya conocidos cristales fotónicos debería ser explotado para poder sacarle el máximo provecho a sus posibles aplicaciones.

Fuentes láseres personalizadas. Una necesidad importante en la industria fotónica es el desarrollo de fuentes adaptadas a necesidades particulares. Estas fuentes tendrán que ser diseñadas y desarrolladas para cumplir con las especificaciones particulares de aplicaciones determinadas.

Otros. Estos incluyen por ejemplo la metrología, detección y aplicaciones para sensores fotónicos.

En la siguiente tabla se detallan las prioridades de investigación que se han considerado en los puntos anteriores, así como el horizonte temporal en el que se prevé obtener resultados explotables:

Área de investigación	Horizonte temporal		
	Corto 0 a 2 años	Medio 3 a 5 años	Largo 6 a 10 años
Fuentes láser y sistemas de fabricación con láser mejorados	X	X	X
Transmisión y guiado avanzado de haces	X	X	X
Conformado y manipulado de haces	X	X	X
Componentes ópticos	X	X	X
Fuentes láseres personalizadas	X	X	

Tabla 3.2. Prioridades de investigación y su horizonte temporal.

En España, el mapa de potencialidades de herramientas fotónicas se distribuye tal y como se indica en la Figura 3.4.

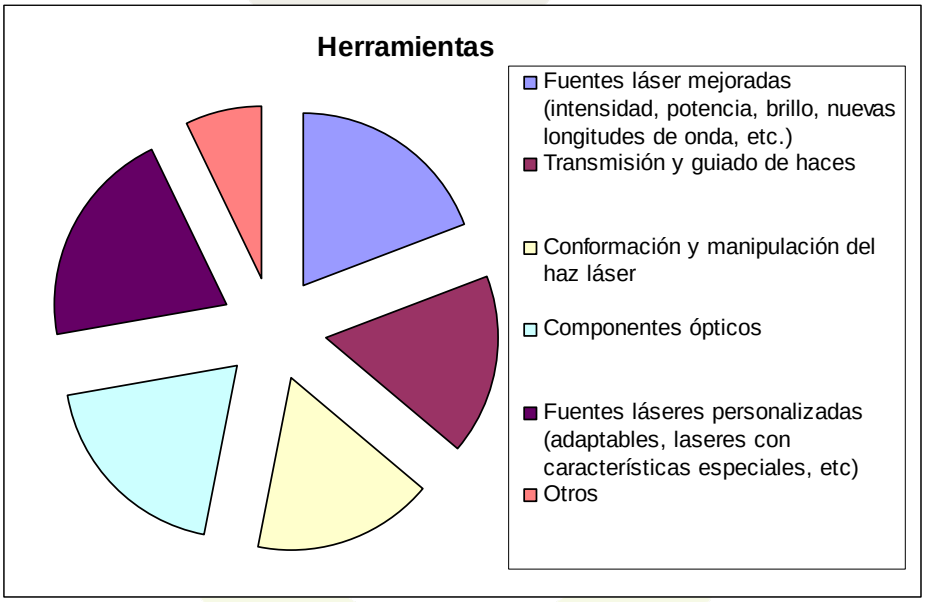


Figura 3.4: Mapa de potencialidades de Herramientas en Procesos Industriales

PROCESOS

Este epígrafe contempla los procesos productivos basados en la tecnología fotónica. El objetivo fundamental es mejorar los procesos en términos de calidad, eficiencia y fiabilidad. Para la mejora de estos parámetros es necesario conocer en profundidad los entresijos de la interacción luz-materia. Además, la monitorización del proceso puede ayudar notablemente a incrementar su eficiencia. El conocimiento de cada proceso, la

tecnología necesaria en los sensores, los algoritmos que nos permitan evaluar el control del proceso, así como la gestión del mismo son los puntos clave que se deben afrontar. Así, las siguientes constituyen las prioridades de investigación dentro de este epígrafe:

Conocimiento del procesado de materiales con láser, que permita dar una respuesta a la incesante necesidad de la industria por la aplicación de ciertos procesos a su cadena de producción. Esta demanda sólo puede ser satisfecha mediante el conocimiento y la comprensión total de a dinámica compleja de los procesos de interacción láser-materia. Debido precisamente a la elevada complejidad de los procesos, hasta la fecha no se han podido desarrollar modelos que permitan una simulación comprensible de los procesos de interacción. Por ello, es esencial adquirir un conocimiento pleno para poder afrontar el modelado y posterior simulación de los procesos de interacción del láser con la materia en sus fases de sólido, líquido, vapor y plasma. Esto permitirá, a su vez, el desarrollo e implementación de nuevas aplicaciones de la fotónica no conocidas hasta la fecha.

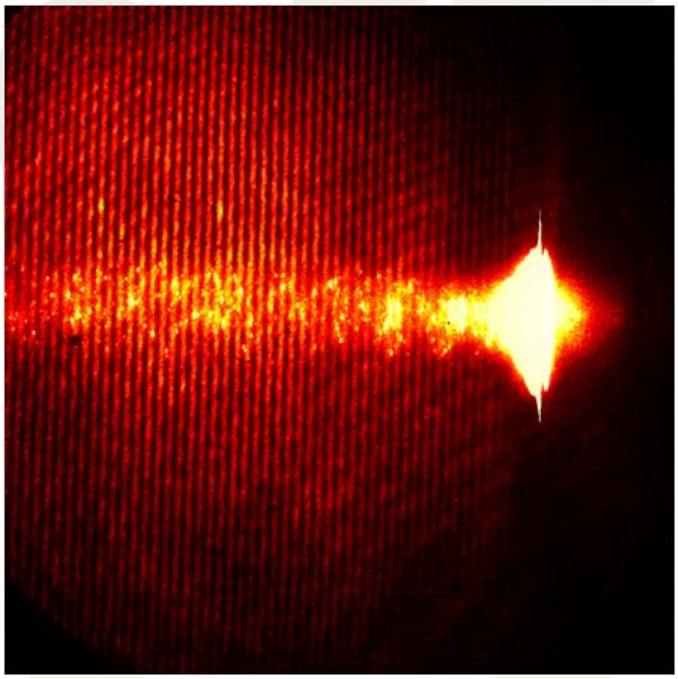


Figura 3.5: Interferograma que recoge las ondas de choque generadas durante el tratamiento superficial por láser. (Fuente: AIDO).

Control y diagnóstico de los procesos, necesario para poder monitorear adecuadamente las nuevas aplicaciones que se desarrollen, así como para validar de forma efectiva el modelado empleado para la simulación de los procesos de interacción. El conocimiento pleno de los procesos láser-materia permitirá identificar de forma segura el fenómeno físico que nos permita identificar y asegurar la calidad y fiabilidad de los procesos que se desarrollen.

Mejora de la eficiencia de los procesos, que servirá para aumentar la productividad, reducción de los tiempos y disminución de costes en procesos ya conocidos.
Mejora del control de los procesos, por ejemplo mediante el control on-line de los procesos. Este control puede llevarse a cabo con diversas herramientas tales como espectrales, térmicas, etc.

Desarrollo de nuevos procesos. Esta investigación servirá para la investigación y desarrollo de nuevos procesos de alto impacto.

Otros. Dentro de este apartado se incluyen por ejemplo la integración de procesos basados en la tecnología fotónica con otros procesos.

En la siguiente tabla se detallan las prioridades de investigación que se han considerado en los puntos anteriores así como su horizonte temporal:

Área de investigación	Horizonte temporal		
	Corto 0 a 2 años	Medio 3 a 5 años	Largo 6 a 10 años
Conocimiento del procesado de materiales con láser (investigación básica, simulación y modelado, etc.)	X	X	X
Control y diagnóstico de los procesos	X	X	X
Mejora de la eficiencia de los procesos	X	X	X
Mejora del control de los procesos	X	X	X
Desarrollo de nuevos procesos	X	X	X
Otros			

Tabla 3.3. Prioridades de investigación y su horizonte temporal.

En España, el mapa de potencialidades de procesos se distribuye tal y como se indica en la Figura 3.6.

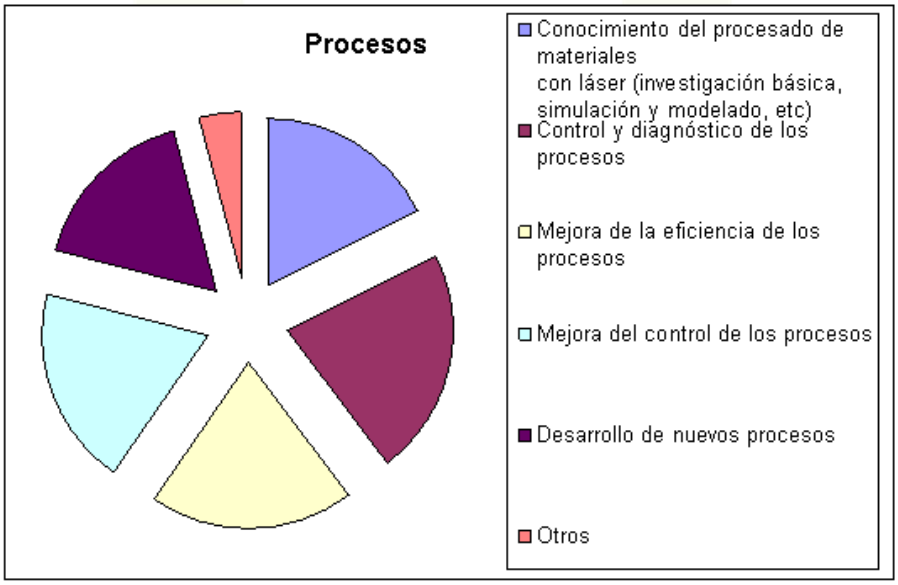


Figura 3.6: mapa de potencialidades de Procesos en procesos industriales

CONTROL DE CALIDAD Y VISIÓN ARTIFICIAL

En adición a los propósitos del epígrafe anterior, dentro de este conjunto se consideran, además de los procesos productivos que emplean tecnología fotónica, los procesos de producción no basados directamente en fotónica. Se distinguen básicamente objetivos de diagnóstico, tal y como son el control de calidad y el control de ciertos parámetros del proceso de producción mediante técnicas de procesado de imagen y el

empleo de diferentes tipos de sensores. Se requieren importantes esfuerzos en sistemas de Visión Artificial con capacidades de procesado tridimensional y multiespectral en tiempo real, habilitando de este modo el control de calidad de objetos y procesos grandes y complejos. Será la única forma de hacer que los procesos productivos sean mucho más fiables, a la vez que se podrá contribuir en cierta manera al incremento de los estándares de calidad y al fortalecimiento de la competitividad global.

Las prioridades de investigación dentro este epígrafe son las que se detallan a continuación:

Nuevos sensores de diagnóstico, que permitirán consolidar un importante progreso en los procesos de producción actuales. La combinación de sensores de imagen sensibles en diferentes regiones del espectro electromagnético podrá revelarnos información hasta ahora no conocida sobre los procesos y su fiabilidad.

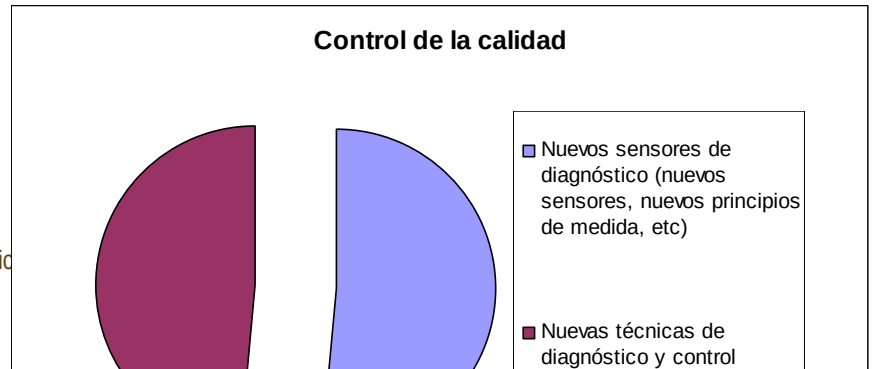
Nuevas técnicas de diagnóstico y control, que junto con el desarrollo y los avances en las herramientas fotónicas permitirán un control preciso de los procesos productivos en todos los sentidos.

En la siguiente tabla se detallan las prioridades de investigación que se han considerado en los puntos anteriores así como su horizonte temporal:

Área de investigación	Horizonte temporal		
	Corto 0 a 2 años	Medio 3 a 5 años	Largo 6 a 10 años
Nuevos sensores de diagnóstico (nuevos sensores, nuevos principios de medida, etc.)	X	X	X
Nuevas técnicas de diagnóstico y control (nuevos sistemas con nuevas características, inteligencia artificial, etc.)	X	X	X

Tabla 3.4. Prioridades de investigación y horizonte temporal.

En España, el mapa de potencialidades de procesos se distribuye tal y como se indica en la Figura 3.7.



Consideraciones generales para la implementación de la agenda de investigación en procesos de fabricación industriales

Aunque resulte obvio, no queremos dejar de reseñar que para una adecuada implementación de las aplicaciones fotónicas, las herramientas, los procesos y el control de calidad incluido en esta agenda, ésta debe obedecer las directrices fijadas por las tres ideas siguientes:

- ✓ Disminución de costes
- ✓ Incremento de la fiabilidad
- ✓ Mantenimiento de la seguridad

Estas tres ideas deberán ser consideradas como básicas en la definición de cada uno de los proyectos de I+D+i que se planteen. Es importante indicar que la disminución en los costes de la producción puede ser alcanzada mediante un incremento de la eficiencia de los procesos, mientras que el incremento de la fiabilidad de los procesos puede ser abordada no sólo por el desarrollo de herramientas fiables y libres de mantenimiento, sino también por la obtención de nuevos procesos de producción mejores y más robustos.

El incremento de la fiabilidad debería ir asociado con el desarrollo y mejora de los procesos que permita un conocimiento de la influencia de los diferentes parámetros del proceso en la calidad del resultado. De esta manera será posible desarrollar procesos más fiables.

El mantenimiento de la seguridad es un tema de especial importancia, dadas las particularidades en el lo relativo a seguridad de las tecnologías fotónicas. Por ello, es fundamental una planificación de acuerdo con las normas internacionales y nacionales en los temas relativos a la seguridad.

Participantes en la elaboración de este documento

Fecha	Centro	Persona	Detalle de la contribución
28-02-2007	AIDO	Santiago Simón José Juan Esteve	Coordinador WG2: elaboración de la primera versión del documento
15-03-2007	AIDO	Carlos Soriano Luis Granero	Pequeñas modificaciones a la primera versión
Abril- junio/2009	Asistentes al I Workshop de Fotónica		Versión final capítulo Grupo Trabajo 2

	(1-2 abril 2009, San Sebastián).Anexo 1		

Control de cambios

GT2_Procesos de fabricación_v2	MONOCROM AIDO	Junio 2009

4. CIENCIAS DE LA VIDA Y SALUD.

La fotónica tiene una larga tradición en los campos de las ciencias de la vida y la salud. El microscopio ha destapado una visión del mundo de las células y bacterias que ha evolucionado hacia una herramienta moderna y potente que permite la investigación básica de sus procesos.

Tanto en la neurocirugía como en la oftalmología, los microscopios quirúrgicos modernos se han convertido en un elemento clave. Los sistemas de cirugía guiada emplean la tomografía y la captación de datos e imágenes por resonancia magnética.

En las dos últimas décadas, los diagnósticos y tratamientos por láser empleados en oftalmología y dermatología se han convertido en un estándar. Los endoscopios han permitido acceder al interior del cuerpo humano con cirugía mínimamente invasiva.

Los métodos ópticos para la secuenciación del genoma humano y los biochips abren nuevos caminos en el diagnóstico y tratamiento del cáncer. Los métodos fluorescentes han sustituido a los radiactivos en la visualización durante el proceso de creación de nuevos fármacos.

El papel de la fotónica como factor de mejora del cuidado de la salud y las ciencias de la vida crecerá enormemente en el futuro. Las razones fundamentales son:

- La capacidad de los fotones de monitorizar biomateriales en tiempo real, sin contacto y sin afectar a las funciones vitales. Además, el uso de la luz como una sonda permite observar una gran cantidad de rasgos simultáneamente, y estudiar procesos altamente complejos como las reacciones de proteínas en células vivas. Incluso se pueden detectar moléculas individuales con este tipo de herramientas fotónicas.
- La fotónica permite explorar biomateriales que van desde moléculas aisladas, pasando por muestras de tejido y órganos vivos hasta cuerpos enteros de animales o humanos.
- Con técnicas específicas, los fotones se pueden emplear para realizar pequeñas modificaciones de células para la investigación biológica y para tratamientos de invasión mínima.

Ninguna otra tecnología de obtención de imágenes en 3D y de manipulación, como por ejemplo los ultrasonidos, las resonancias magnéticas o la tomografía computerizada posee características similares en resolución, muestreo en paralelo y sensibilidad. La característica de manipulación sin daños adicionales se da únicamente en la fotónica.

Desde los primeros tiempos de la medicina, el tratamiento de las enfermedades sigue un método específico:

a) Reconocimiento de los síntomas
b) Seguido de el diagnóstico y
c) Aplicación del tratamiento requerido

Hoy en día, las enfermedades se pueden tratar únicamente cuando han manifestado sus síntomas, pero nunca antes. El tratamiento se realiza basándose en la prueba y error.

La descodificación completa del genoma de diversos seres vivos desde una bacteria hasta el ser humano ha abierto una perspectiva nueva en el tratamiento de enfermedades. Muchas enfermedades – entre ellas el cáncer o las enfermedades cardiovasculares y metabólicas – muestran una fuerte correlación con variaciones del genoma o defectos en la síntesis de proteínas. Un análisis preventivo podría identificar a los individuos con predisposición a padecer este tipo de dolencias. Existe, por lo tanto, la oportunidad de un cambio en el modelo de tratamiento de las enfermedades, que es evidente y que seguiría el siguiente orden:

1. Análisis preventivo
2. Identificación del gen o proteína anómalo
3. Reparación de la anomalía

De esta forma, individuos con predisposición a padecer enfermedades específicas pueden ser identificados y "tratados" con anticipación a la aparición de la enfermedad. Esta meta no se alcanzará sin la fotónica, ya que los avances anteriores en la investigación del genoma y las proteínas han sido posibles gracias a la ella.

En contraste a las tecnologías disponibles hoy en día, la luz tiene el potencial de reconocer el origen de las enfermedades a nivel molecular. De este modo se pueden prevenir las enfermedades o curarlas de una forma más suave. Los láseres enfocados pueden ser usados para aislar células específicas. Dispositivos basados en luz láser ayudarán a reducir los efectos secundarios y los costes de la hospitalización. El envejecimiento de la población europea y las expectativas de una mejor calidad de vida acompañados del cambio de estilo de vida de la sociedad están demandando unos tratamientos médicos mejorados, más eficientes y económicos.

Impacto de la fotónica en campos específicos

Así, avances en las áreas de las ciencias de la vida y la medicina requieren técnicas fotónicas innovadoras que permitan la monitorización y manipulación de los procesos celulares a nivel molecular, éstas deben ser aplicables tanto a células aisladas como a órganos y organismos completos. Nuevos dispositivos y procesos fotónicos permitirán también identificar, preparar y tratar células vivas de una forma rápida y tridimensional permitiendo curar enfermedades de alta importancia como son el cáncer y las enfermedades degenerativas.

Hasta ahora el origen del 80% de las enfermedades es desconocido; por lo tanto sólo se pueden tratar los síntomas. Todavía no existe cura real para un gran número de enfermedades altamente extendidas como el cáncer, la diabetes, el Alzheimer, el Parkinson, los problemas cardiovasculares y ciertas enfermedades inflamatorias, neurodegenerativas e infecciosas.

La fotónica puede ayudar a entender los mecanismos moleculares del metabolismo defectuoso de una célula y su efecto en el organismo humano. El reconocimiento de tumores en su estado más temprano y su tratamiento selectivo con la asistencia de métodos ópticos ayudará a curar el cáncer o a optimizar su tratamiento. La identificación segura de células madre y el tratamiento de éstas con métodos ópticos permitirá terapias seguras basadas en células madre y el diseño de órganos.

Las industrias farmacéuticas podrían patentar fármacos a medida basados en análisis de fluidos o biopsias del paciente, consiguiendo de este modo una medicación más eficiente, evitando además los efectos secundarios negativos.

Hoy en día, el desarrollo de nuevos fármacos cuesta mucho tiempo y dinero. Un "time-to-market" menor para fármacos nuevos, más efectivos y con menos efectos secundarios sería una solución para un abastecimiento a nivel mundial más asequible. La fotónica permitirá el desarrollo de ingredientes activos evitando los experimentos estadísticos y selectivos, debido al hecho de que permitiría monitorizar y optimizar los procesos específicos.

Impacto Social

Debido a los cambios demográficos de una población cada vez más envejecida, los costes de la sanidad están creciendo. La fotónica puede representar un papel determinante en el mantenimiento o incluso la reducción de los costes de la sanidad mejorando al mismo tiempo la calidad de ésta así como la calidad de vida.

La sanidad puede ser más efectiva y asequible por los siguientes motivos:

- Desarrollo de fármacos a medida del paciente

- Métodos fotónicos basados en la visualización que permitirán una detección más temprana de las enfermedades.
- La reparación mínimamente invasiva e incluso no invasiva para la reparación de huesos, fallos de riñón y enfermedades neurodegenerativas, lesiones de médula espinal o esclerosis múltiple utilizando células "diseñadas" mejorarán el estilo de vida y la movilidad. El trasplante de órganos no estará sujeto a la muerte de los donantes.

Impacto Económico

Los avances de la fotónica moverán financieramente los mercados de la salud, farmacia e industrias de la alimentación.

Los costes de sanidad en 2004 de EE.UU. fueron de 1.8 billones de dólares y en Alemania de 250.000 millones de dólares. La tecnología fotónica permitirá la detección precoz de enfermedades y el desarrollo de tratamientos de invasión mínima que requerirá tiempos de hospitalización más cortos. Los fármacos a la medida de cada paciente serán más efectivos y tratarán el origen de la enfermedad. Estos cambios reducirán los costes de la sanidad considerablemente. Algunas estimaciones son de hasta el 20%. Esto supondrá un ahorro de 400.000 millones de dólares por año para los sistemas de seguridad social a nivel mundial. La industria farmacéutica verá compensada esta reducción gracias al mayor valor añadido del producto generado.

El potencial del crecimiento de la fotónica en el mercado de la sanidad se pude ilustrar con unos ejemplos concretos. La tendencia de crecimiento del mercado de las tecnologías fotónicas aplicadas a la medicina observando los 5.950 millones de dólares de 2002 es de 20.400 millones en 2010 y de 38.300 en el 2015.

El mercado global de equipamiento para imágenes médicas aumentó hasta los 19.900 millones en 2003 y se espera un crecimiento hasta los 26.300 millones previstos para el 2007. Este mercado engloba a los equipos de ultrasonidos, tomografías, resonancias y rayos-x con muy pocos equipos ópticos. Se espera que la óptica compita con las tecnologías establecidas ofreciendo una mejor resolución y siendo mucho más específica que los ultrasonidos o los rayos-x. La tomografía óptica coherente con una penetración típica de unos pocos milímetros muestra un gran potencial para la realización de endoscopias y aplicaciones cardiovasculares. Los métodos de creación de imágenes para su aplicación en mamografías o la obtención de imágenes del volumen de sangre son otros de los métodos en este contexto.

Los fármacos constituyen un mercado mundial de unos 400.000 millones de dólares al año. El 15% se reinvierte en el desarrollo de nuevos fármacos. Esta cantidad se podría reducir a la mitad, lo que supondría un ahorro de unos 30.000 millones por año utilizando la tecnología fotónica en el desarrollo de nuevos fármacos.

El mercado global de la instrumentación basada en biotecnología (todas las tecnologías, incluyendo consumibles) alcanzará los 11.500 millones en el 2006. Un estudio francés cifró en 25.000 millones por año el mercado para dispositivos ópticos destinados a la "Biofotónica". Con el desarrollo de dispositivos de comprobación y monitorización personal (mercado de masas) podría haber un incremento mucho mayor.

Estructura actual de la industria y la investigación

El mayor nivel de investigación en el campo de la fotónica aplicado a las ciencias de la vida se encuentra en EE.UU. El NRC (Nacional Research Council) sugirió en su informe de 1998 potenciar las ciencias ópticas y su ingeniería en el siglo 21 para satisfacer las necesidades de investigación fotónica y tecnologías ópticas para las ciencias de la vida y el cuidado de la salud. El gobierno de Estados Unidos está financiando proyectos específicos de aplicación de la fotónica a las ciencias de la vida además de actividades estructurales como nuevos institutos que desarrollen futuras aplicaciones de la fotónica en este campo.

Un nuevo estudio de Deloitte en 2005 muestra que la industria óptica ha incrementado su interés en la fotónica aplicada a las ciencias de la vida (biofotónica) a nivel mundial. Una encuesta alemana a la industria espera un incremento del 20% en los próximos 3 años, lo cual también se espera a nivel mundial.

Las actividades de investigación financiadas por el gobierno, están empezando en Francia, Gran Bretaña y empezaron en 2003 en Alemania. Las actividades industriales están más avanzadas en Estados Unidos. La investigación en España en actividades biofotónicas potenciará la competitividad y dará a España la oportunidad de tener la ventaja de tener nuevas herramientas que permitirán el desarrollo de nuevos productos en el ámbito de la salud y los fármacos.

El desarrollo de la fotónica aplicada a las ciencias de la vida en mercados asiáticos como el japonés, chino o taiwanés está avanzando rápidamente, mucho más que en EE.UU o la UE debido a mayores inversiones. Se requerirán actividades importantes en España acceder a una posición de liderazgo.

Predicciones hasta el 2015

La Fotónica permitirá un cambio el modelo de ciencias de la vida y de la sanidad.

Ciencias de la vida

El entendimiento de los mecanismos bioquímicos y procesos de las células, los tejidos y organismos se mejorará con el uso de sistemas de creación y manipulación de imágenes en 3D, de la visualización in-vivo y de la manipulación de moléculas y de estructuras de las células.

Sanidad

Hoy en día las enfermedades se tratan basándose en sus síntomas. En el futuro el origen de una enfermedad se detectará y curará antes de que aparezcan sus síntomas. Idealmente el desarrollo de una enfermedad se prevendrá por detección temprana. Algunos ejemplos de esta medicina personalizada aparecerán antes del año 2015.

Analizar metabolitos humanos como la respiración, la saliva, la orina o analizar la retina podría ser una forma de monitorizar el estado de una forma no invasiva y automática. Un pequeño dispositivo óptico podría monitorizar los parámetros de la salud y ayudar a regular una dosificación automática de un cierto fármaco. Estos productos pueden tener como destino mercados masivos. También sería posible monitorizar ópticamente el ambiente para la detección de posibles infecciones y agentes patógenos y emplearlos en sistemas de alarma temprana.

La disponibilidad de herramientas de monitorización a nivel molecular creará conceptos nuevos de terapia, más efectivos y de mínima invasión. Para ciertas enfermedades se emplearán clasificadores de células por métodos ópticos en el proceso de preparación de ciertas terapias celulares.

Aplicaciones y tecnologías que verán la luz en los próximos 10 años

Los dispositivos fotónicos contribuirán significativamente a la obtención de diagnósticos más eficientes y fármacos personalizados. Nuevos métodos analíticos como los métodos ópticos no lineales darán una nueva visión al interior de las células. Se desarrollarán herramientas para la micromanipulación de células y para la captura selectiva de células o tejido basada en chips miniaturizados que permitirán medidas o tratamientos avanzados.

La fotónica entrará también en los quirófanos permitiendo diagnósticos más detallados e imágenes in vivo más avanzadas. Nuevos láseres permitirán aplicar métodos terapéuticos más avanzados, seguros, rápidos y fiables.

Los avances en la salud y ciencias de la vida a gracias a la fotónica se centrarán en 4 campos de aplicación:

- ✓ Biología celular y molecular
- ✓ Diagnóstico avanzado y precoz
- ✓ Medicina Preventiva

- ✓ Terapias personalizadas y mínimamente invasivas.

Biología celular y molecular

Los objetivos de este tipo de investigación son:

1.- Entendimiento detallado de los procesos bioquímicos en las células y tejidos – idealmente se desearía poder observar la dinámica del proceso in vivo desde genes simples hasta proteínas enteras.

2.- Selección e ingeniería de sustancias que puedan desencadenar procesos celulares, realizar diferenciación de células o reparar células defectuosas y que puedan servir como constituyentes de fármacos.

Distintos tipos de microscopios como los de fluorescencia en 3D o los microscopios basados en métodos no lineales han sido ya desarrollados para el estudio de procesos moleculares en las células. El entendimiento de estos procesos es la base para el diagnóstico temprano y la identificación de métodos potenciales para el tratamiento de enfermedades con terapias selectivas. Se debe enfatizar en el desarrollo de nuevos dispositivos que permitan monitorizar los procesos celulares.

Los laboratorios cuentan ya con herramientas para la manipulación de células como pinzas ópticas, ensanchador de células o herramientas fotónicas de microdisección. Estas herramientas son empleadas para capturar células específicas de los tejidos para realizar análisis o para inyectar moléculas específicas en el interior de las células.

Un ejemplo de aplicación para la creación proteínas y la manipulación con luz de los procesos celulares es CALI (Chromosphore-assited laser inactivation). Los procesos celulares se estudian con este método mediante la desactivación de una proteína específica. La ventaja de este método fotónico frente a los cambios genéticos y los inhibidores específicos es que se puede desactivar la función de una proteína sobre una única célula dentro de un organismo mediante el empleo de un haz láser.

Estas herramientas deben ser desarrolladas para obtener mayor eficiencia y efectividad. La automatización será la clave para poder manejar un gran número de especímenes en investigaciones de rutina y para uso clínico.

Diagnóstico avanzado y precoz

Se desarrollarán métodos para diversas aplicaciones:

1.- Diagnósticos celulares in vivo para ayudar a identificar individuos con predisposición a padecer ciertas enfermedades
2.- Histología in vivo y diagnósticos de tumores intra-operativos que ayudarán a los médicos durante la operación con marcadores fluorescentes del tejido que forma el tumor.
3.- Obtención de imágenes metabólicas para la detección de malfuncionamientos del metabolismo en etapas tempranas.
4.- Tomografía óptica, que está ya bien establecida en oftalmología y que proveerá a los especialistas de imágenes 3D de los tejidos.
5.- Análisis de la respiración con sistemas ópticos para dar un diagnóstico inmediato.
6.- Los diagnósticos fotodinámicos requieren marcadores específicos para ser una herramienta útil.
7.- La detección e identificación rápida y de gran sensibilidad de agentes patógenos ayudará a la lucha contra las enfermedades.

Medicina preventiva

Los individuos con defectos genéticos se caracterizan por una síntesis defectuosa de proteínas o la predisposición a padecer ciertas enfermedades. Estas alteraciones podrían ser tratadas antes de que se manifestasen. Los biochips y otros biosensores jugarán un papel esencial para su detección.

Un mayor entendimiento de las interacciones dinámicas de nuestro sistema inmune con estímulos internos o externos a nivel molecular ayudaría a la prevención de enfermedades. Una meta futura para prevenir las malformaciones celulares o su envejecimiento es el uso de estímulos bioactivos para activar ciertos genes como un tratamiento preventivo, manteniendo las células y tejidos mientras envejecen.

Las siguientes tecnologías deben ser desarrolladas:
1.- Permitir el desarrollo y monitorización de biomateriales para la entrega secuencial de activos y/o agentes químicos para el desencadenamiento de mecanismos endógenos autorreparadores.
2.- Generar conocimiento y productos que se centren en las interacciones a nano escala entre células de distinto tipo y su entorno.
3.- Permitir la monitorización de la regeneración de tejidos.
4.- Desencadenar y monitorizar la activación de genes así como el crecimiento de tejidos de una forma precisa.

Terapias personalizadas y mínimamente invasivas

La terapia fotodinámica está ampliamente estudiada, pero sólo se ha encontrado una aplicación hasta el momento, la degeneración macular relacionada con la edad (AMD). Un problema básico es la falta de fotosintetizadores específicos.

Los implantes de retina fotosensibles para el tratamiento de enfermedades específicas el ojo, están por el momento en fase experimental y podrían desarrollarse hasta conseguir una herramienta importante para ayudar a deficientes visuales.

Los métodos ópticos contribuirán significativamente a la terapia celular específica mínimamente invasiva. Para conseguir una cirugía endoscópica mejorada y mínimamente invasiva se requerirán herramientas de microcirugía para realizar endoscopias y obtener imágenes in vivo para la manipulación y la navegación, obteniendo un proceso robusto, de bajo coste y seguro.

La ingeniería y regeneración de tejidos y la confección de órganos es uno de los mayores objetivos a cumplir para conseguir la reposición de órganos y tejidos.

Uno de los mayores puntos a explorar es la posibilidad que ofrecen las células madre debido a su potencial autorreparador. La nueva generación de terapias requerirá entender el gran potencial de las células madre.

Prioridades de investigación en España

Todas las actividades relacionadas con las ciencias de la vida y la salud, deben llevarse a cabo orientadas estrictamente a su aplicación en la sanidad y las industrias farmacológicas. Para ello será obligatoria una cooperación entre los que aplican dichas tecnologías (biólogos y doctores) y la comunidad investigadora en física, química e ingeniería.

Los siguientes temas de investigación proveerán las bases para el desarrollo de aplicaciones en el campo de las ciencias de la vida y la salud.

Técnicas de diagnóstico avanzado y precoz

Se deben encontrar nuevos métodos para el diagnóstico celular, la histología y la patología. Estos métodos deberán conseguir una mayor resolución geométrica y espectral y tener una sensibilidad extrema al mismo tiempo. Los instrumentos deben poder trabajar in situ, sin retirar una muestra de tejido del organismo analizado. La Tomografía de Coherencia Óptica (OCT), la Microscopía (convencional o con focal), la Espectroscopia de Fluorescencia, las técnicas no lineales o el uso del THz son candidatos para la obtención de imágenes mejoradas.

El desarrollo de biochips funcionalizados permitirá el análisis proteómico y genómico de compuestos específicos con alta incidencia en la aparición de enfermedades. La utilización de plataformas de detección comunes, donde se cambie el compuesto de reconocimiento, abrirá nuevas perspectivas a la definición de metodologías de diagnostico con amplio campo de aplicación.

Herramientas fotónicas para la manipulación de células y tejidos

Las herramientas fotónicas para la manipulación de células pueden ser fácilmente combinadas con herramientas específicas de diagnóstico. Estas herramientas se aplican para el aislamiento de células de un tejido, el transporte de éstas y sus constituyentes además de su microdisección.

Ejemplos típicos de estas herramientas son nuevos marcadores que permiten obtener la huella dactilar espectral así como la identificación de constituyentes específicos de la célula. Además existen importantes métodos que no emplean marcadores como Raman o CARS.

Algunos ejemplos de la gran variedad de equipamiento fotónico necesario en este campo para la manipulación celular son las pinzas ópticas que permiten mover, rotar y separar células suavemente empleando fuerzas ópticas, las herramientas ópticas para medir las fuerzas de unión entre células o moléculas o las herramientas para realizar aperturas temporales en las membranas celulares.

Los requerimientos esenciales para los sistemas ópticos son la robustez, la facilidad de uso, el bajo coste y el alto potencial de uso en sistemas automáticos.

Diagnóstico celular in vivo

Para poder realizar diagnósticos en 3D de tejidos y células se necesitan nuevos marcadores biocompatibles y específicos o nuevos métodos que no requieran marcadores.

El primer campo de interés es el estudio dinámico del comportamiento de las células para conseguir entender el proceso de transformación de una célula normal en una célula de un tumor. El segundo paso será conseguir prevenir esta transformación. Esto requiere el estudio de células vivas en distintas dimensiones simultáneamente (esto es, las tres coordenadas geométricas además de la coordenada espectral y temporal). Para ello serán de gran importancia, fuentes de luz y métodos con mejor penetración en los tejidos biológicos. Los métodos no lineales como el de dos fotones, Raman o CARS serán candidatos interesantes para el avance de las tecnologías en éste área.

Se deben conseguir métodos y procesos para la penetración óptica y para el control de procesos intracelulares e intercelulares. La selección y el posicionamiento automático con pinzas ópticas o instrumentación similar son ejemplos en esta área.

El segundo aspecto importante es identificar claramente el tejido canceroso in situ como por ejemplo en un quirófano. Este es de extrema importancia para la calidad de vida futura del paciente. Las tecnologías mencionadas anteriormente han de ser adaptadas a su uso clínico. Esto supone el desarrollo de aplicaciones en colaboración de los usuarios clínicos mejorando la fiabilidad de la tecnología además de disminuir los costes a niveles aceptables.

Instrumentos Oftalmológicos

En este campo se requerirán instrumentos no invasivos que combinen diagnóstico y tratamiento.

La tomografía óptica coherente se ha convertido en una herramienta interesante para el diagnóstico oftalmológico para la retina y la córnea. La tecnología ha ganado un mercado considerable en los últimos 5 años. Se requiere más trabajo para mejorar la velocidad de adquisición y resolución de los instrumentos. Se deben

además explorar las aplicaciones fuera del ámbito de la oftalmología. Conseguir una óptica adaptativa rápida, robusta y de bajo coste que se pueda emplear en la cirugía de córnea es de gran importancia.

Otro aspecto interesante es la monitorización de enfermedades no relacionadas con el ojo, pero que pueden ser monitorizadas a través de éste. La monitorización óptica, no invasiva del nivel de glucosa en pacientes con diabetes puede ser muy atractiva además de reducir los costes.

Biochips y Biosensores Ópticos

La investigación debe centrarse en aumentar la eficiencia de los chips consiguiendo mayor capacidad, menor tamaño y lectura en paralelo. La preparación de las superficies del chip debe mejorarse considerablemente. La estandarización y el manejo de datos es necesario para simplificar el trabajo interdisciplinario.

Un caso particular de los dispositivos sensores son los "Laboratorios en un Chip" (LoC, Lab on a Chip), donde sobre una misma plataforma se realiza la determinación analítica integrando todas las funciones de la misma (calibración, mezcla, gestión de fluidos, separación…). Estos dispositivos permiten además la implementación de sistemas matriciales capaces de realizar miles de ensayos en tiempos muy reducidos. Los trabajos en este campo han de dirigirse a resolver los problemas de la integración monolítica, utilizando nuevos procesos y materiales mejorados.

Terapias Mínimamente Invasivas

La instrumentación endoscópica deberá ser desarrollada prestando especial atención a la resolución óptica y a la obtención de imágenes in vivo para la caracterización de tumores. La obtención guiada de imágenes in vivo en microcirugía para la navegación y manipulación permitirá realizar tratamientos de bajo coste, seguros y robustos. Todas las tecnologías fotónicas para la caracterización y manipulación de células y tejidos contribuirán en el avance de terapias celulares así como a la mejora de la ingeniería y regeneración de tejidos.

Implantes Avanzados

En el campo de los implantes de retina, Europa se ha ganado el papel de líder y España debería tener un peso relevante en este campo. El objetivo consistirá en aumentar el ritmo de investigación en este campo para llegar a la cabeza.

Participantes en la elaboración de este documento

Fecha	Empresa	Detalle contribución
1-03-2007	DAS	"esqueleto" sobre el que construir la versiones siguientes (v1.0)
Abril- junio/2009	Asistentes al I Workshop de Fotónica (1-2 abril 2009, San Sebastián).Anexo 1	Versión final capítulo Grupo Trabajo 3

Control de cambios

GT3_Ciencias de la vida_v1	DAS	Marzo 2007
GT3_Ciencias de la vida_v2	Grupo de Técnicas Ópticas Aplicadas (U. de Cantabria)	Abril 2009 y Junio 2009

5. ILUMINACIÓN Y DISPLAYS

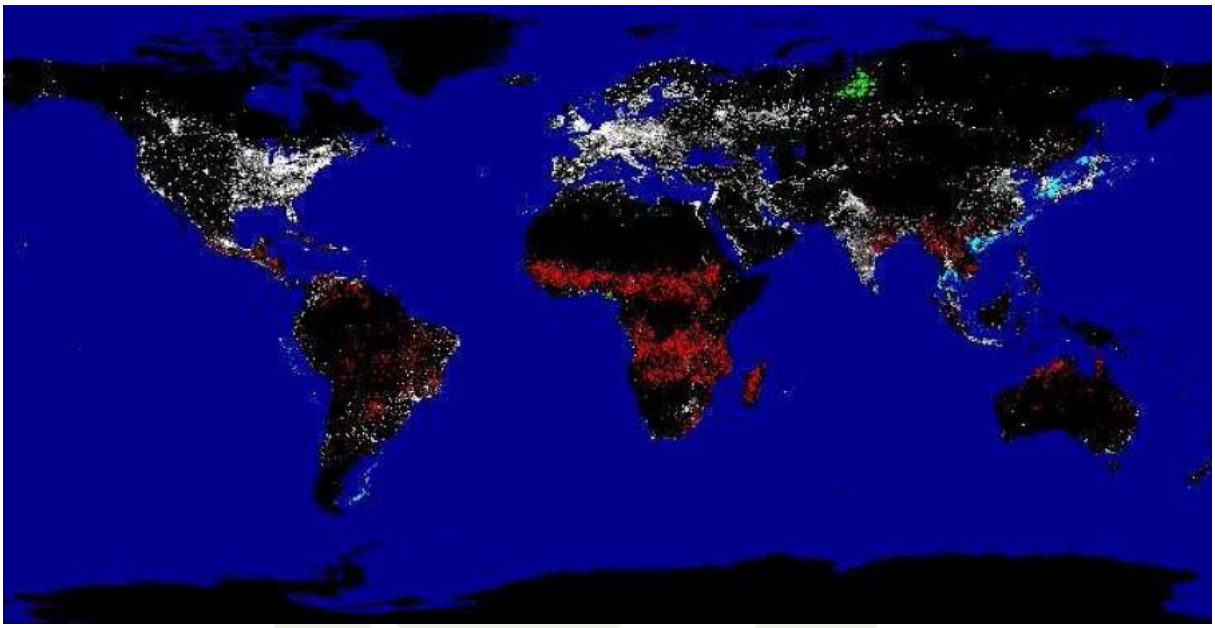


Figura.5.1: Imagen y procesado de datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos NOAA de USA. Datos recopilados por la Fuerza Aérea US de la Agencia Meteorológica.

Introducción

Desde hace siglos el ser humano ha usado el quemado o el calentamiento de materiales como fuente de luz. La invención de la lámpara de incandescencia en el siglo XIX y el establecimiento de la red eléctrica supusieron el comienzo de la producción industrial de la primera fuente luminosa que ofrecía una cantidad de luz razonable de forma limpia para hogares e industrias del mundo industrializado.

Desde entonces, la conversión eficiente de la energía eléctrica en luz visible y el diseño de sistemas para su aprovechamiento ha sido uno de los mayores esfuerzos de investigación y desarrollo en universidades y empresas.

Las lámparas de descarga, inventadas a mediados del siglo XX, fueron el primer paso en esta dirección aunque no era posible hacerlas a medida en forma, color y apariencia. En la tecnología convencional de fuentes de luz, tanto en lámparas incandescentes como en las lámparas de descarga, las compañías e instituciones europeas han estado a la cabeza desde los primeros momentos. Como resultado de ello, los principales implicados en estas tecnologías se encuentran aún en Europa y tienen una base europea de I+D. Esta excelente posición debería ser asegurada con una innovación constante.

Figura 5.2: Evolución de las fuentes de luz.

En la actualidad, el siguiente paso en la tecnología de iluminación se basa en las lámparas de estado sólido (SSL, Solid State Lighting), las cuales se espera que vayan reemplazando a las tecnologías de iluminación convencionales tal y como los circuitos integrados han ido sustituyendo a los tubos electrónicos en una analogía electrónica. Las lámparas de estado sólido ofrecen una solución elegante y económica en la conversión de energía eléctrica en luz al combinar gran eficiencia, alta versatilidad en nuevos diseños y aplicaciones y grandes posibilidades de elección en brillo y color. Estas características influyen en la apertura del mercado en soluciones luminosas.

Las lámparas de descarga, y en concreto las de alta intensidad, continúan teniendo un importante papel en la actualidad ya que no sólo son las que tienen mayor eficiencia de conversión electro-óptica en la actualidad, sino que cada vez existen más aplicaciones para ellas fuera de la iluminación general. Como ejemplo tenemos los tratamientos médicos con luz o el uso de luz ultravioleta para desinfectar aguas.

A largo plazo, las lámparas de estado sólido, los diodos emisores de luz orgánicos e inorgánicos (LED y OLED) y los láseres constituirán la siguiente generación de emisores luminosos y eventualmente reemplazarán las lámparas incandescentes y de descarga.

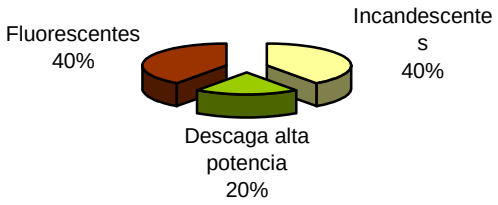


Figura 5.3: Reparto de tecnología en fabricación europea, excluyendo aplicaciones especiales. Datos de Philips Lighting (Fuente: Photonics21 SRA).

En España, la industria de iluminación ha establecido fuertes posiciones básicamente en el sector de desarrollo de luminarias y componentes, aunque existe un porcentaje de empresas dedicadas a la fabricación de fuentes de luz.

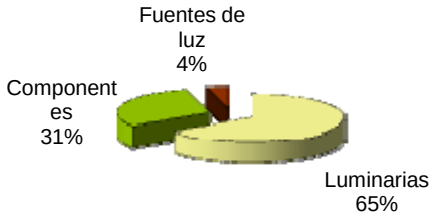


Figura 5.4: Distribución de las 90 compañías asociadas a Anfalum por categorías de producto. Datos de Anfalum (Fuente: Asociación Española de Fabricantes de Iluminación).

En Europa, el mercado está muy orientado al uso y aplicaciones de LEDs debido al rápido crecimiento y distribución de equipos portátiles (cámaras digitales, teléfonos móviles, etc.). Se considera un crecimiento del 10-15% en los próximos 5 años. Para asegurar esta posición de liderazgo en iluminación general, ha de establecerse una iniciativa coordinada que integre la industria, las universidades y los centros de investigación. Esta acción coordinada es la que se pretende favorecer en España también.

Por otro lado, los displays electrónicos es una tecnología relativamente reciente y emergente. El reemplazo de los tubos de rayos catódicos (CRT) por pantallas planas (FPD, Flat Panel Displays) es el primer paso hacia los displays totalmente inmersivos que, acompañados de una electrónica flexible, crearán la denominada "inteligencia ambiental" que ayudará al usuario a utilizar esta tecnología en multitud de aplicaciones de forma intuitiva y amistosa con el medioambiente. Una solución visionaria para esta tecnología es el display electrónico de bajo coste, flexible y de gran tamaño integrado con controladores inteligentes.

La fabricación convencional de displays en España y Europa se ha trasladado a Asia, donde las principales actividades de R&D se centran en la reducción de costes de manufactura. En España, las principales investigaciones sobre displays avanzados se centran en dos puntos:

- ✓ Creación de nuevas aplicaciones.

- ✓ Demostración de la posibilidad de nuevas tecnologías.

La fabricación de displays en España es muy pequeña, sin embargo, los nuevos tipos de displays, el prototipado rápido y a pequeña escala y las tecnologías disruptivas de manufactura pueden contribuir a incrementar y dinamizar de nuevo esta industria. Para conducir estas proposiciones competitivas, España debe evolucionar en la parte científica, tecnológica y de mercado. Si no permanecemos activos, será difícil acceder a estos sectores durante más tiempo. La innovación y las aplicaciones de estas nuevas y flexibles tecnologías en España, en combinación con el prototipado rápido y las técnicas de fabricación de bajo coste ofrecen una oportunidad para vigorizar el tejido industrial y de investigación en displays.

Necesidades sociales

.Ahorro energético, recursos y sostenibilidad

- ✓ Iluminación

En primer lugar, la producción de luz necesita energía: más de 30 billones de lámparas eléctricas funciona en todo el mundo cada día consumiendo más de 2,100 TWh/año (10-15% de la energía global producida). La OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) muestra que en un futuro cercano la necesidad de iluminación se incrementará rápidamente: una estimación realista indica un aumento de un factor 2 en los próximos 20 años.

La energía usada en iluminación en todo el mundo cada año se valora en aproximadamente 250 billones de euros (el 25% corresponde a Europa). Sin embargo, la luz no sólo se utiliza para iluminar, sino para otras aplicaciones más industriales, como:

- ✓ Proyección
- ✓ Reprografía
- ✓ Entretenimiento
- ✓ Tratamiento de superficies
- ✓ Purificación de aguas y aire
- ✓ Procesos de curado, monitorización y control.

Si tenemos en cuenta también estas aplicaciones, la valoración económica del coste de la energía trasformada en luz puede multiplicarse 2 a 3 veces.

En segundo lugar, la emisión anual de CO_2 debida a la producción de energía para iluminación se estima del orden de 900 millones de toneladas en todo el mundo. Pueden realizarse un gran ahorro de esta cantidad sin más que reemplazar las actuales lámparas incandescentes y de descarga por lámparas de estado sólido (SSL, Solid State Lights) más eficientes. Si consideramos cierta la predicción de obtener eficiencias de 150 lm/W (para el 2015) podría ahorrarse cerca del 30% de la energía utilizada para iluminación general. Esto corresponde a un ahorro de 750 TWh por año, así como 300 millones de toneladas menos en emisiones de CO_2 a la atmósfera. Se ha estimado para el 2025 que las lámparas de estado sólido podrán reducir la cantidad total de energía utilizada para iluminación en un 50%.

En tercer lugar, el uso de lámparas de estado sólido mejora también el impacto ambiental de los componentes de las lámparas al desecharlas, puesto que las lámparas convencionales contienen cantidades de materiales tóxicos y caros, como por ejemplo mercurio y tierras raras. Las SSL no contienen mercurio y por ello son más sencillas de eliminar que las lámparas de descarga. Por otro lado, el tiempo de vida de las lámparas de estado sólido es mucho mayor, con lo que por ejemplo, si se hacen de LEDs se espera que tengas una duración media de 100.000 horas, lo que también reduce la cantidad de desechos con respecto a los bulbos incandescentes que tienen una vida mucho más corta.

- ✓ Displays

El impacto social de los displays en el entorno de los sistemas inteligentes puede ser grande. Las características de los displays actuales ya contribuyen a mejorar la calidad de vida de una manera sencilla al ser humano, y tienen incidencia en cuestiones ambientales y de sostenibilidad, en el crecimiento del PIB, el empleo y la competitividad de la industria y de la investigación. Estas características serán incluso mejores en el caso de los futuros sistemas de displays controlados. La promoción y el avance en estos sistemas contribuirán a mejorar la percepción del mundo en la competitividad y creatividad de España. Los displays son una clave indispensable en cualquier sociedad basada en la información.

La sustitución de los voluminosos monitores de rayos catódicos (CRTs) por los monitores planos en las oficinas ya tiene un gran efecto en el medio ambiente: se utiliza mucho menos material, tienen menor consumo de energía en la fabricación y mientras se utiliza, menor radicación de exposición y, en definitiva, se genera muchos menos desechos electrónicos. La introducción de los monitores planos en aplicaciones de ocio (TV) incrementará este efecto positivo. Así mismo, la aplicación de los displays al concepto de "entornos inteligentes" favorecerá el contacto remoto dando lugar a una reducción significativa de los desplazamientos.

Bienestar humano y calidad de vida

✓ Iluminación

Una de las funciones más importantes de la iluminación es la mejora de la experiencia de los espacios. Para ello, los desarrollos tecnológicos de las lámparas de estado sólido cambiará el uso de la luz para incorporar beneficios emocionales además de los tradicionales beneficios funcionales. La manipulación del espectro luminoso, la intensidad o la distribución espacial y temporal serán cada vez más importantes en los futuros productos de iluminación para aplicaciones de creación de ambiente, salud y bienestar.

Para explotar las posibilidades ofrecidas por estas nuevas tecnologías de iluminación se necesita estudiar la influencia de los parámetros luminosos en varias situaciones:

- ✓ Percepción de las personas a la calidad de luz.
- ✓ Productividad en diferentes entornos luminosos.
- ✓ Percepción de seguridad y confort.
- ✓ Sensación de bienestar, estado anímico y salud.

En este contexto, es importante la investigación en la tecnología del mezclado eficiente de colores RGB y la generación de colores reales, siempre teniendo en cuenta que la percepción del color es subjetiva y depende de factores culturales.

Estas aplicaciones darán lugar eventualmente a nuevas áreas de mercado relacionadas con la creación de atmósferas y ambientes y la relación entre la luz y la salud. A medida que la funcionalidad y la complejidad de estos sistemas de iluminación se incrementen, será necesario desarrollar sistemas de gestión de la luz más intuitivos e inteligentes, con un control eficiente del sistema de iluminación completo.

Se ha anticipado que las lámparas de estado sólido podrán fundirse y diseñarse dentro de otros elementos en el espacio, de forma que los sistemas de iluminación y los displays serán cada vez más parecidos:

- ✓ Lámparas pixeladas podrán proveer información además de luz.
- ✓ Displays de cine-en-casa tendrán funciones ambientales tal y como la iluminación actual.

Los controles de iluminación se unirán a otros sistemas de control ya existentes con el fin de disponer de un sistema global de control inteligente en casa.

✓ Displays

El reemplazo de los monitores CRT por monitores planos ha supuesto la posibilidad de disponer de equipos portátiles y del desarrollo del uso móvil de la información. Esto ha cambiado bastante nuestro entorno de trabajo hacia la "oficina móvil" con los ordenadores portátiles y los teléfonos móviles.

El desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones para displays podrá proveer a los ciudadanos con información en cualquier lugar y momento según se solicite, el resto del tiempo que no se requiera, el display podrá estar escondido, sin proporcionar una sobrecarga de información. Esto permitirá a los usuarios desplazarse libremente, disfrutando de una alta calidad de vida mientras tienen acceso total a una alta densidad de contenidos.

Educación, salud y ayudas visuales

✓ Iluminación

Hasta ahora, la investigación y el desarrollo de la industria de lámparas se ha concentrado básicamente en los aspectos visuales de la luz, como la eficiencia o el color. Sin embargo, desde que hace varios años se identificaron los fotoreceptores azules del ojo humano como los que juegan un papel importante en la visión periférica, así como sus efectos en el sueño, se dispone de un mayor entendimiento de los efectos biológicos de la luz en los seres humanos.

La industria de iluminación está ahora desarrollando una nueva visión sobre la calidad de luz basada en varios efectos biológicos:

- ✓ La supresión de la hormona del sueño melatonina depende principalmente de la parte azul del espectro de longitudes de onda.
- ✓ El trastorno afectivo estacional (TAE) se debe a la disminución de la exposición a la luz solar, que produce una aumento de segregación de melatonina y la disminución de serotonina. Una iluminación que compense esta reducción de luz puede tratar efectivamente este desorden.
- ✓ Optimizando el contenido de luz azul en las lámparas usadas a diario en casa, en la oficina, y en aplicaciones industriales, se espera conseguir una influencia positiva en los ritmos circadianos y el bienestar de las personas.

Por todo ello, es necesario realizar estudios interdisciplinares que relacionen los efectos biológicos con el espectro real de las lámparas con el fin de determinar la mejor temperatura de color y la mejor distribución espectral luminosa.

En los últimos años se ha estudiado y probado que la luz puede ser también aplicada en tratamientos médicos:

- ✓ Tratamiento de la piel (foto-dermatología).
- ✓ Medicina estética.
- ✓ Cicatrización y esterilización.

Aunque son necesarios más estudios para determinar con mayor precisión las longitudes de onda y las dosis necesarias. En este sentido, se está produciendo un aumento significativo de las aplicaciones de la iluminación para el mercado de consumo.

✓ Displays

A medida que la población envejece, sería interesante poder usar los displays como libros o periódicos electrónicos con capacidad para aumentar el tamaño de las letras, fácilmente transportables y con interfaces más intuitivos, que puedan ayudar a mantener en activo e integrados en la sociedad a las personas mayores.

La educación podría cambiar bastante también debido al uso de dispositivos electrónicos portátiles. Las carteras de los colegiales serían más ligeras y podría utilizarse las ventajas de la formación de imagen en 3D para hacer el aprendizaje más efectivo.

En cuanto a las aplicaciones médicas, existen varias posibilidades de aplicación de estas tecnologías:

- ✓ Displays de alta resolución y 3D que pueden influir en que el diagnóstico sea más preciso y rápido.
- ✓ Mejora de la visión humana o como cura de la ceguera.
- ✓ Sustitución de los historiales médicos por tarjetas inteligentes.
- ✓ Mini-laboratorios desechables como sistemas que incluyen electrónica (orgánica) de bajo coste y displays de bajo contenido en información, por ejemplo para realizar diagnósticos de emergencia con un reducido riesgo para el paciente.

El concepto de "entorno inteligente"permitirá a las personas mayores a poder estar más tiempo en sus propias casas al poder estar monitorizados y disponer de consulta periódica con un doctor/a.

Seguridad e información

La luz no sólo guía y controla el tráfico, también es un elemento crucial en la seguridad de las carreteras. En el futuro, las señales de tráfico, los semáforos, las lámparas de las carreteras, los displays y las luminarias de los automóviles estarán conectados por sistemas ópticos inteligentes.

Con respecto a los automóviles:

- ✓ Los indicadores de velocidad y los sistemas de navegación podrían ser proyectados a través de un sistema de tecnología láser directamente en el campo de visión del conductor. De esa forma, la línea de visión del conductor se mantiene en la carretera y puede concentrarse en la conducción.
- ✓ La instalación de cámaras infrarrojas mejoraría significativamente la visión por la noche o en condiciones de niebla.
- ✓ Los sistemas de asistencia inteligente liberarían al conductor de decisiones de forma que pudiera concentrarse en unas pocas pero muy importantes tareas en la conducción.
- ✓ Los displays proveerán no sólo de telemetría de la velocidad, sino mapas e indicadores de peligro y avisos con respecto a una gran variedad de sistemas inteligentes.

Con respecto a las carreteras, cerca del 80% de los accidentes relacionados con la distancia de seguridad ocurren durante la noche o en condiciones de tiempo adversas. Un primer aumento de la seguridad de las carreteras pasa por iluminarlas suficientemente, de forma idónea a las condiciones reales del tráfico. Lámparas adaptativas, equipadas con fuertes de luz de alto rendimiento, y controladas por sensores de información (velocidad, curvatura de la carretera, condiciones meteorológicas y luz ambiental) producirán iluminación óptima de la carretera en todos los posibles casos.

El espectro de todas estas nuevas tecnologías y sus aplicaciones incluyen: iluminación inteligente, metrología óptica, sistemas de información, sensores, información y comunicación, dedicación a larga distancia, identificación de objetos, procesado de la señal y de la imagen y técnicas de visualización.

Prioridades y previsiones de investigación en España

Las prioridades de investigación se han dividido en tres etapas (corto, medio y largo plazo) y se han resumido en tres sectores de aplicación:

- ✓ Materiales: elementos básicos a investigar que sirvan como base para el desarrollo de dispositivos.
- ✓ Dispositivos: unidades de iluminación o display que han de ser integrados en sistemas más complejos y con muchas aplicaciones.
- ✓ Sistemas: compuestos de uno o varios dispositivos de igual o distinta naturaleza orientados a una aplicación final concreta.

Dentro de estos tres tipos de sectores, algunas investigaciones ya están lo suficientemente avanzadas como para poder ser aplicadas en la industria y otras están aún en fase de I+D, por lo que las prioridades identificadas

dentro de estos plazos y sectores se subdividen en I+D o Industriales según sus posibilidades de comercialización. Esto permite tener en cuenta diferentes estadios en el desarrollo de ciertas aplicaciones.

Se han identificado 17 temas prioritarios y se han repartido en función del tiempo estimado para su desarrollo así como según su naturaleza según la tabla que se muestra a continuación.

Plazos	Sectores	I+D	Industrial
Corto (1 a 3 años)	Materiales	Materiales para OLEDs con elevada estabilidad química y mecánica, tiempo de vida, mayor eficiencia y calidad de luz y sustratos flexibles de bajo coste y gran área de procesado.	Materiales para aplicaciones LED: aumento de la eficiencia interna al 80%, sustratos y emisores alternativos, conversores de color.
		Vidrios electrocrómicos (domótica)	
	Dispositivos	Tecnologías de packaging: sustratos con mejor transmisión / gestión de calor, nuevas tecnologías de ingeniería (soldadura obleas, nano-estructurados).	
	Sistemas	Control de la emisión luminosa: diseño, componentes para la generación de patrones predefinidos, control espacial y temporal de la emisión o proyección luminosa:	Tecnologías de packaging: elementos ópticos integrados.
			Sistemas de control necesarios para emisores luminosos y sistemas de visualización de grandes dimensiones
Medio (4 a 7 años)	Materiales	Materiales para aplicaciones LED	
	Dispositivos		Nuevas técnicas de fabricación y procesado de materiales de grandes dimensiones.
			Displays color, OLEDs para iluminacion general.
	Sistemas	Investigación de los factores humanos que permitan mejorar la interactividad, percepción y diseño de novedosos dispositivos de visualización y fuentes luminosas. Inteligencia ambiental. Efectos novedosos en la visualización.	Integración de vidrios electrocrómicos para aplicaciones en edificios inteligentes (domótica).
		Tejidos fotónicos.	
Largo (8 a 10 años)	Materiales		
	Dispositivos		Integración de dispositivos emisores nano-estructurados (sistemas basados en puntos cuánticos).
	Sistemas	Integración monolítica de tecnología OLED.	Investigación de los factores humanos que permitan mejorar la interactividad, percepción y diseño de novedosos dispositivos de visualización y fuentes luminosas. Inteligencia ambiental. Efectos novedosos en la visualización.
			Iluminación para control vegetal (invernaderos).
			Tejidos fotónicos.

Tabla 5.1: Objetivos del grupo 4.

Participantes en la elaboración de este documento

Fecha	Empresa	Persona	Detalle contribución
22-02-2007	ISDEFE	Jorge Sánchez	Coordinador WG1: "esqueleto" sobre el que

Fecha	Empresa	Persona	Detalle contribución
			construir la versiones siguientes (v1.0)
Abril- junio/2009	Asistentes al I Workshop de Fotónica (1-2 abril 2009, San Sebastián).Anexo 1		Versión final capítulo Grupo Trabajo 4

Control de cambios

GT4_Iluminación y displays_v1	GREENLIGHT SOLUTIONS	15.06.2009

6. SEGURIDAD Y SENSORES

Introducción

El presente documento nace de la revisión de la primera versión del capítulo de "Seguridad y Sensores" para la Agenda Estratégica de Investigación de la Plataforma española de Óptica y Fotónica, realizada por el grupo 5 de la plataforma, "Seguridad y Sensores", en la reunión de trabajo realizada en San Sebastián el 1-2 de abril del 2009, en el marco del I workshop de la plataforma FOTONICA 21 celebrado en las instalaciones del CEIT (*Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa*).

Como conclusión de la citada reunión de trabajo se acordó incluir en la nueva versión toda la información incluida en la primera versión, cambiando, sin embargo su estructura y composición general. El capítulo de Seguridad y Sensores se ha estructurado, en función de la orientación funcional de la seguridad, en tres grandes grupos:

- Seguridad para defensa
- Seguridad civil
- Seguridad medioambiental

Al finalizar estos tres primeros apartados realizaremos un análisis de las capacidades y tecnologías a impulsar utilizadas en las funciones de seguridad descritas estructurando de este modo los diversos sensores a impulsar, el apartado descrito constituye el apartado cuarto del capítulo y tiene el siguiente título:

- Análisis de capacidades y tecnologías a impulsar

Finalizaremos el capítulo con el tradicional apartado de participantes en la elaboración de este documento y del control de cambios del mismo.

Seguridad para defensa

Los diferentes puntos han sido incluidos con una orientación funcional (u horizontal) de acuerdo a las necesidades identificadas del Estado Español en el área de la seguridad de las personas, propiedades e infraestructuras. Para cada una de estos apartados funcionales se han señalado las tecnologías que pueden ofrecer un mayor avance en los objetivos de seguridad de esa función determinada, junto con las capacidades asociadas que pueden impulsar para cumplir una misión específica, fin éste último desde el punto de vista de todo desarrollo: su aplicabilidad. Este desglose de la "cadena del desarrollo" ha sido la columna vertebral de todas las consideraciones desarrolladas a lo largo del presente documento.

Sin embargo, hay que señalar que el documento tiene la intención de proporcionar una lectura igualmente transversal entre todos sus apartados, de manera que muchas de las tecnologías mencionadas en uno de ellos puede tener aplicabilidad en otras capacidades y/o misiones. Como debe hacerse evidente durante la lectura del documento, estas necesidades han sido seleccionadas para la especificad española, si bien muchas de las tecnologías mencionadas se recogen de manera más o menos directa en las recomendaciones de las instituciones europeas acerca de las necesidades de I+D+i, especialmente en el informe del European Security Research Advisory Board (ESRAB), publicado a finales del pasado año, de la "RSA" de la Plataforma de Óptica europea "Photonics 21" y de la "Línea estratégica de I+D en Seguridad Física" de la plataforma española eSEC (Plataforma tecnológica española de seguridad y confianza).

Siguiendo las pautas marcadas en el epígrafe anterior hemos estructurado en apartado en cuatro puntos:

- Control perimetral
- Protección del entorno
- Protección de infraestructuras críticas
- Gestión de situaciones de crisis

Control perimetral

La vigilancia de fronteras es un elemento de vital importancia para cualquier estado soberano. En el caso de España este hecho se agrava al ser asimismo frontera exterior, en gran parte del perímetro nacional, de la comunidad Europea y el continente europeo. A estos dos hechos geográfico-políticos hemos de añadirle otro de carácter social, como es la inmigración procedente del continente africano, un problema que ha mantenido a lo largo de los últimos años una presencia constante en la realidad política, económica y social de nuestro país.

En este marco resulta obvio que las fronteras españolas deberían estar vigiladas y monitorizadas de forma continua, y dada la vasta extensión de las mismas (5.849 Km), es de gran importancia continuar con el desarrollo de los diferentes sistemas de vigilancia; no solamente complementando las tecnologías que soportan el actual desarrollo del programa SIVE de vigilancia de las fronteras marítimas meridionales, sino también otros sistemas alternativos cuyos despliegues no requieran necesariamente de obras civiles por todo el perímetro fronterizo.

Por otra parte, las actividades relacionadas con el turismo mueven en España a más de 50 millones de personas (si bien este factor se refiere únicamente al turismo exterior, que no equivale a total). Esto supone una sobrecarga para el sistema de vigilancia fronteriza, y, a la inversa, convierte a dicho sistema en uno de los puntos clave de la gestión turística. Las tareas se centran en la identificación de las personas, la evitación del paso de armas, explosivos y sustancias nocivas, vigilancia del espacio aéreo y de las zonas marinas y terrestres fuera de los puntos de entrada y la detección de situaciones anormales y de riesgo.

Vigilancia de fronteras marítimas y terrestres

Para los casos de vigilancia fuera de los puntos regulados de entrada, en áreas amplias, se requieren diversas tecnologías de sensores, multisensores, tecnologías espectrales y multiespectrales, sensores acústicos, redes de sensores autónomas y reconfigurables, vehículos no tripulados y unidades móviles tripuladas de diferente tamaño y funcionalidad.

La diversidad y extensión de fronteras hace inviable su vigilancia a través de personal exclusivamente dedicado a este fin. Por otro lado la actividad de detección e identificación de posibles amenazas a este nivel requiere cierta capacitación y grado de experiencia. Desde un punto de vista de aplicación tecnológica para la resolución de este problema, parece adecuado el uso de tecnologías basadas en tratamiento digital de imagen y reconocimiento de patrones. Se establece como línea de investigación para este año el estudio de tecnologías que permitan en un primer nivel detectar formas y en un segundo nivel identificar estas formas u objetos en el caso de que sean elementos no deseados desde el punto de vista de la seguridad en la vigilancia de fronteras. De esta forma se abriría una vía de solución a la vigilancia de fronteras en lo relativo a la detección e identificación de naves y objetos que por ellas circulan. Las tecnologías de aplicación son las que se refieren a sistemas expertos de tratamiento digital de imagen (ej. Redes neuronales, y otras).

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 Airborne Vehicles), se han convertido en una alternativa más que interesante.

El UAV estará dotado de todas las cabezas sensoras necesarias (cámaras de visión nocturna, sensores térmicos, etc…) cuyos datos recogidos serán procesados a bordo en un primer nivel y enviados vía satélite a un centro de control terreno.

El sistema exige de varios elementos de desarrollo con diferente nivel de complejidad e investigación. En un extremo, la plataforma UAV, en el otro, la aplicación del centro de control, y en el medio, el procesado a bordo, y un sistema de comunicaciones por satélite, ligero, potente y preparado para el rango térmico de sistemas embarcados.

Este sistema se puede usar asimismo para la vigilancia de espacios abiertos (turismo y control de recintos).

En la actualidad se está considerando (a nivel internacional) la incorporación de sistemas MEMs (Micro Electro Mechanical) a las plataformas de sensores, a fin de reducir más aun su tamaño.
La vigilancia de fronteras no reguladas precisa de sistemas compuestos de redes ad-hoc de sensores análogos a los prototipos mencionados arriba, cuya plataforma de comunicaciones puede adaptarse a cualquier tipo de cabeza sensora (cámaras, sensores de movimiento, vibración, térmicos, químicos, etc). Las comunicaciones entre los nodos se harán con sistemas de bajo consumo baja y tasa binaria en general, gestionados por sistemas de enrutamiento multisalto, que permitan que cada nodo pueda emplear a los vecinos para ir alcanzando el elemento central o concentrador, que a su vez, podrá disponer de otro interfaz radio más potente para establecer comunicación con el centro de control.
En este campo hay muchos elementos por a desarrollar, cuyas características principales serán:
Redes ad-hoc. La red de sensores debe poder instalarse en cualquier lugar sin infraestructura de comunicaciones.

- Multi-salto. Los sensores deben ser capaces de captar y retransmitir la información de otro sensor encaminándola hacia el centro de comunicaciones o estación base. De este modo no se necesita que cada sensor transmita a grandes distancias y se reduce la potencia transmitida, así como la consumida.
- Routing. Los sensores deben ser capaces de aprender el camino para que su información llegue al destino.
- Auto-configuración. Si alguna unidad falla, la red debe ser capaz de auto-configurarse para "aprender" de nuevo el camino.
- Localización. La red de sensores será capaz de transmitir información acerca de la localización de cada sensor sin necesidad de incorporar tecnología GPS o similares en los nodos sensores.
- Procesado de señal colaborativo. Los sensores deben ser capaces de colaborar en el procesado de señal y en la fusión de datos de modo que se minimice el procesado de comunicaciones de cada uno.
- Ultra bajo consumo. Circuitos de ultra bajo consumo serán utilizados para diseñar y desarrollar los módulos de banda base y de radiofrecuencia de cada sensor.
- Escalabilidad. La red de sensores inteligentes debe ser capaz de gestionar miles y decenas de miles de sensores, cubriendo áreas de tamaño pequeño, medio y grande.
- Minimización de consumo de energía, a través de estados de "stand-by" y modos de escucha.
- Desarrollo de pasarelas para recolectar los datos de la red y conectarlos con las infraestructuras existentes de comunicaciones y redes de seguridad.
- Dispositivos de bajo coste y compactos. Tecnología avanzada para asegurar larga vida y gran robustez.
- Autolocalización: para los casos en que el despliegue se hace de forma aleatoria (p.ej. dejándolos caer en una determinada área de crisis a vigilar) es necesario que los sensores puedan autolocalizarse y transmitir la posición exacta en la que se ha producido cierta alarma.

Finalmente, en este apartado es esencial mencionar la necesidad de desarrollar unidades móviles (camiones 4x4, furgonetas y vehículos todo-terreno) equipadas con sistemas multi-sensor de adquisición de datos, ya sean detectores químicos y radiológicos o bien sensores de imagen (radar, infrarrojo y visible), que sean capaces de transmitir esta información para su fusión con los sistemas de navegación y bases de datos centralizadas. Estas unidades especiales deben ser capaces de detectar y localizar el movimiento de individuos y vehículos, particularmente en pasos fronterizos no regulados, y proporcionar trazas y seguimiento de su movimiento.

Identificación y control de pasajeros

Dentro del ámbito de la seguridad física, la protección de ciudadanos en espacios públicos (medios de transporte, grandes foros, espacios abiertos,..) se puede convertir en un problema de recursos difícilmente

sostenible para los medios de seguridad del estado. La vigilancia de determinados espacios públicos de gran flujo de personas (e.g.. aeropuertos) ya conlleva la necesidad de balancear recursos de un escenario a otro, disminuyendo por tanto la seguridad en el origen; igualmente, la vigilancia de todos los puntos críticos (e.g. todas las estaciones de metro o autobuses) supondría la necesidad de una dotación mucho mayor de medios de seguridad. En este contexto, la posibilidad de recurrir a sistemas de vigilancia artificial, capaces de identificar tanto a pasajeros particulares como a grupos, es un campo que precisa un gran esfuerzo de desarrollo.

Ello obliga a un esfuerzo investigador en el ámbito de la gestión de la identidad y protección de la intimidad, así como la integridad y seguridad de las comunicaciones, la continuidad de la conectividad (por la inmediatez de la respuesta requerida a fin de no entorpecer el flujo de las personas), y la disponibilidad –en los mismos términos– de la información procedente de la fusión y correlación de datos diversos.

Tendrán especial interés las tecnologías de control de accesos, biometría, reconocimiento, localización, tanto de personas como de bienes, como identificación genética y dispositivos para análisis genético inmediato, biotecnología, identificación por pelo, voz y escritura, identificación remota, posicionamiento por GPS/GLS y microetiquetación (RFID tags).
De manera más precisa, y dentro del campo de la óptica, se proponen las siguientes líneas de investigación:

- Reconocimiento Óptico de Formularios Impresos y Manuscritos.
- Reconocimiento de Texto Manuscrito Continuo.
- Reconocimiento de placas de matrícula.

Las tecnologías y algoritmos desarrollados dentro de algunas de estas líneas de investigación se pueden aplicar a la Seguridad Física. A continuación se describen con más detalle algunas de ellas.

Protección del entorno.

Vigilancia de entornos urbanos

En entornos urbanos se hace especialmente importante el control y gestión de la movilidad ciudadana. En cuanto a la seguridad física se refiere, esto conlleva desde la detección de vehículos infringiendo las normas de seguridad vial – exceso de velocidad, conducción temeraria, etc. – hasta la identificación de individuos o grupos de de personas que puedan suponer una amenaza para el mantenimiento de la seguridad ciudadana – manifestaciones no autorizadas, aglomeraciones espontáneas, etc.
Las tecnologías disponibles hoy en día permiten disponer en tiempo real, mediante sistemas de video, de información crítica para la vigilancia en las ciudades. No obstante, esto provoca un flujo de datos que debe ser gestionado y que conlleva un gasto notable de recursos en el momento de su análisis. Se requieren, por tanto, nuevos sistemas y algoritmos que permitan, en la medida de lo posible, automatizar las tareas de identificación de riesgos y respuesta.

Monitorización del medio ambiente

Hay que mencionar en este apartado el riesgo de deterioro del entorno natural y medioambiental español, ya sea por causas espontáneas o intencionadas. Las amenazas contempladas en este sentido incluyen principalmente la provocación de incendios, contaminación de ríos, embalses, costas..... En este sentido algunas de las tecnologías ya mencionadas en otros puntos pueden tener gran utilidad. Como ejemplo de tecnologías que requieren desarrollos nuevos y/o sostenidos podemos mencionar:

- unidades aéreas y terrestres de vigilancia no tripuladas (UAV y UGV), que deben servir para reducir el alto riesgo de las actuales misiones realizadas en helicóptero y todoterreno: las unidades deben ser equipadas en este caso con sensores meteorológicos y de imagen en el entorno particular del incendio (llama, humo, cenizas, turbulencias, etc.)
- análisis de terrenos mediante imagen satelital y desarrollos SIG

- técnicas y aplicaciones computerizadas de evaluación continuo del riesgo de incendio y simulaciones virtuales del mismo
- tecnologías de análisis forense del desastre
- equipamientos especiales para torres de vigilancia, que actualmente requieren vigilancia humana en su mayoría: los desarrollos implicarán equipos de imagen, sensores de magnitudes físicas relevantes, comunicaciones, e inteligencia para funcionamiento autónomo

Por otra parte, las tecnologías de prevención de ataques químicos, bacteriológicos y radiológicos (CBRN) deben ser mencionados en este apartado por su potencial riesgo ante amenazas terroristas de diversa índole.

Protección de infraestructuras críticas

Los sucesos del 11 de Septiembre de 2001 en Nueva York, las bombas en los trenes de cercanías en Madrid en 2004, los atentados del Metro de Londres de Julio de 2005, y más recientemente el atentado de la Terminal 4 de Barajas indican el objetivo de los terroristas de atacar las infraestructuras de transporte, energía y comunicaciones.

En su documento "Critical infrastructure protection in the fight against terrorism" de 2004, la Comisión ofrece esta descripción genérica de infraestructura crítica:
"Infraestructura crítica consiste en cualquier instalación físicas o de tecnologías de información, redes, servicios y activos que, cuando son dañados o destruidos, tienen un impacto grave en la salud, seguridad y protección del bienestar económico de los estados. Las infraestructuras críticas se extienden a lo largo de muchos sectores de la economía, incluidos la banca y las finanzas, transporte y distribución, energía, servicios públicos, salud, suministros y comunicaciones, así como servicios oficiales clave".
Asimismo, en su Libro Verde de Infraestructuras Críticas, publicado el 24 de Noviembre de 2005, la Comisión abordó temas clave en esta área, tales como el tipo de amenazas en las que debía focalizarse el EPCIP (European Program for Critical Infraestructures Protection), la definición de infraestructuras críticas nacionales y europeas y el rol de los propietarios y operadores de las mismas.

Protección de los medios de transporte

Si bien se trata de un objetivo general de la seguridad, es fundamental recalcar la importancia de cuidar este aspecto desde el punto de vista del efecto sobre el turismo debido a que una localización puede alcanzar una consideración de objetivo de ataque por el hecho de que sea frecuentada u ocasionalmente reciba un concentración mayor de visitantes de nacionalidades ligadas a riesgo por cuestiones políticas o de otra índole.
En este apartado es conveniente distinguir la protección de los nodos e instalaciones ligadas al transporte –en las que resulta muy importante toda la fase de vigilancia permanente de los alrededores, como alrededores de aeropuertos, vías férreas y otras infraestructuras, a poder ser de una manera continua y remota– así como de los flujos de personas que transitan por ellos, de la protección de los propios vehículos, en especial, cuando están desocupados, y del control del flujo del material.

En este sentido, cobrarán gran interés todos los sistemas de reconocimiento e identificación que conserven su potencia en entornos no colaborativos (involuntarios) y en movimiento.
Otras técnicas de detección, como la detección de explosivos y armas, presencia humana intrusa y el reconocimiento de comportamiento anómalo tendrán cabida asimismo. Debe concederse importancia primordial al aseguramiento de la cadena logística, ya que existen puntos de confluencia entre el transporte de pasajeros y de mercancías, por lo que la seguridad del transporte de estas últimas puede afectar a la seguridad de las personas y sus bienes. Esto abre el espectro de las tecnologías a los contenedores inteligentes, etiquetación de mercancías peligrosas, sensores y equipo electrónico asociado (sensores térmicos, multisensores, sensores cooperativos, imágenes por rayos X, detección de CBRN, tecnologías láser, tecnologías de IR), RFID y GNSS, además de los sistemas de información capaces de tramitar, gestionar, presentar y ayudar a la decisión sobre esos datos.

En el sector aéreo, las iniciativas de investigación y desarrollo deben estudiarse en el marco del proyecto SAFEE (Security of Aircraft in the Future European Environment), iniciado en 2004 con el objetivo de mejorar la seguridad de la aviación comercial. Este proyecto aborda las situaciones clásicas de secuestro, escenarios tipo 11 de Septiembre, y otros escenarios futuribles que implican interferencias y hacking de los sistemas electrónicos. Los sub proyectos deberían abordar cuestiones técnicas del tipo de detección de amenazas abordo, evaluación de amenazas, gestión de respuestas y protección de vuelo.

Protección de infraestructuras portuarias

El código ISPS (International Ship and Port Facility Security) fue introducido en Julio de 2004. Este código exige a los puertos y buques que implementen sistemas adecuados de seguridad e identificación. El propósito del código es proporcionar un marco estandarizado y consistente de evaluación y tratamiento del riesgo.
Las autoridades portuarias españolas están llevando a cabo un esfuerzo importante para adecuar sus sistemas de seguridad a este estándar internacional. Las áreas de actividad en este sector deben incluir:

- ✓ Protección física global del recinto y sub-áreas particulares, y sistemas anti-intrusión
- ✓ Vigilancia de la lámina de agua y sistemas de vigilancia submarina en puntos críticos
- ✓ Integración dentro del sistema de seguridad de la información de tráfico portuario
- ✓ Sistemas de visualización y de escenario de operación común
- ✓ Sistemas de control de accesos
- ✓ Unidades móviles equipadas con sistemas de detección, visualización y comunicaciones
- ✓ Sistemas de identificación y seguimiento de contenedores, y escaneo de mercancías
- ✓ Sistemas de identificación de pasajeros y control de pasaportes para los servicios aduaneros
- ✓ Centro de mando y control centralizado de los sistemas de seguridad, que incluya integración de comunicaciones para interoperabilidad con los otros organismos de seguridad relevantes

Asimismo se necesitan tecnologías de ayuda a la decisión que sirvan para ejecutar las siguientes tareas de evaluación objetiva y control del riesgo:

- ✓ Identificación y clasificación de los activos del puerto
- ✓ Identificación y clasificación de las amenazas
- ✓ Estimación de impacto y degradación de cada activo
- ✓ Estimación de probabilidades o frecuencias de las amenazas
- ✓ Determinación de la vulnerabilidad y del riesgo por cada amenaza y activo
- ✓ Análisis de coste-beneficio de los sistemas de seguridad
- ✓ Reconciliación con los planes y procedimientos de seguridad existentes y futuros, de acuerdo a la norma

Protección de edificios

Entre las numerosas tecnologías actualmente en desarrollo aplicables a la vigilancia de edificios, algunas de las cuales se describen en otros puntos de este documento, se pueden destacar como especialmente apropiadas las técnicas de asistencia a la video-vigilancia mediante detección de actividades anómalas por visión artificial, reconocimiento biométrico, etc.

Los sistemas "inteligentes" de asistencia a la vigilancia de seguridad se caracterizan por ser un mecanismo de alarma más allá de la simple detección de movimiento. Los niveles de automatización van desde el análisis de presencia humana en un recinto hasta la detección de comportamientos complejos. Se pueden dar algunos ejemplos en orden creciente de complejidad:

• Sensorización de presencia humana mediante visión: Se emitirían alarmas para que el encargado de seguridad compruebe sobre las imágenes la existencia de peligro, intrusión, etc. A diferencia de los simples sensores de

presencia, los movimientos o cambios en la escena que no se deban a presencia humana no darían lugar a alarma. La propia imagen de la cámara se usaría para el análisis automático y para la visualización humana.
• Seguimiento de trayectorias: La detección de humanos permite el seguimiento de su trayectoria y por tanto especificar patrones de movimiento no permitidos o "sospechosos" que llevarían al disparo de una alarma que debería ser analizada por el operador de seguridad. Es posible asimismo, enlazar diversas cámaras para que el seguimiento de trayectorias sea global a una instalación.

• Análisis de gestos y comportamientos: La detección de comportamientos anormales, agresivos o sospechosos es posible actualmente con un cierto nivel de precisión. El objetivo es, como en los casos anteriores, disparar una alarma interna que inste al operador humano a visualizar la escena y emitir un juicio definitivo de la existencia de una posible vulneración de la seguridad. Ejemplos de comportamientos sospechosos en recintos públicos, privados, cajeros automáticos, máquinas de venta, transportes, aparcamientos, oficinas, vía pública, etc., serían: Movimientos rápidos, acercamiento brusco de un individuo a otro o a un vehículo, mirando en su interior, gesticulación violenta, abandono de bultos sospechosos, etc.

• Reconocimiento biométrico. El uso de la imagen para el reconocimiento de los individuos es todavía complejo tecnológicamente (facial, iris, etc.). En casos restringidos y controlables, como un acceso con puerta automática, pueden introducirse este tipo de tecnologías no invasivas (sobre todo reconocimiento facial) con un nivel de eficacia razonable. Su uso en casos más generales todavía se encuentra en un nivel de desarrollo básico. Algunos rasgos biométricos más generales pueden utilizarse para el seguimiento en grandes instalaciones, complementando lo descrito en un punto anterior.

Gestión de situaciones de crisis

Identificación y neutralización de agentes agresivos

Un aspecto que se debe considerar es llevar a cabo la intervención en una atmósfera enrarecida por contaminantes, lo que implica la detección e identificación de sustancias, protección de los actuantes y la población, descontaminación, gestión de masas en situación de trastorno, enlaces de comunicaciones especiales, procedimientos operativos apropiados. Sobre todo, alcanza una gran importancia la inmediatez de las comunicaciones y la rapidez de los diagnósticos en lo que respecta a los componentes del medio.
Entre las tecnologías aptas para abordar la cuestión se encuentran los láseres de cascada cuánticos, los láseres de IR y UV, técnicas de espectrometría, tecnologías de detección espectrométrica de llama, sensores miniaturizados, sistemas de movilidad iónica e identificación de agentes biológicos por radiación de THz.

Seguridad Civil

En este documento se ha querido diferenciar explícitamente entre los aspectos de seguridad para defensa y la seguridad civil. En el bien entendido que la misma funcionalidad, tiene en la mayoría de los casos una doble aplicación en seguridad para defensa y en seguridad civil. La diferencia entre ambas no esta en la funcionalidad propiamente dicha, sino en el mercado, la estructura de la cadena de valor del mismo, los niveles de seguridad, normativas y especificaciones que el producto debe de cumplir. Todo ello, nos configura la presencia de las compañías, empresas y entidades sin ánimo de lucro tanto públicas como privadas en ambos mercados en el estado español.

Por este motivo, no vamos a citar en este apartado las más que evidentes aplicaciones civiles que pueden llevarse a cabo, con las tecnologías y sensores descritos en apartado anterior, referente a la identificación y control de pasajeros, vigilancia de entornos urbanos, protección de medios de transporte y edificios. Sin embargo, debemos citar algunas funcionalidades que no hemos recogido en el apartado anterior, como son:

- Control de manifestaciones
- Seguridad Vial
- Seguridad alimentaria

Los sensores ópticos y fotónicos citados en la apartado anterior pueden utilizarse para el control de manifestaciones, bien determinando el número de asistentes, como el posicionamiento de los mismo sobre un sistema georeferenciado mediante la instalación de sensores de imagen en vehículos aéreos tripulados o sin tripulación, bien individualmente como en red.

La seguridad vial consiste en la prevención de siniestros de tránsito o la minimización de sus efectos, especialmente para la vida y la salud de las personas, cuando tuviera lugar un hecho no deseado de tránsito. También se refiere a las tecnologías empleadas para dicho fin en cualquier vehículo de transporte terrestre (colectivo, camión, automóvil, motocicleta y bicicleta). Las normas reguladoras de tránsito y la responsabilidad de los usuarios de la vía pública componen el principal punto en la seguridad vial. Muchos de los sistemas de control introducidos por parte del estado, para organizar y la moderara las conductas humanas (particulares o colectivas) son realizadas con los sensores ópticos y fotónicos descritos en apartado anterior, así como las nuevas tecnologías descritas permiten nuevos sistemas de control y regulación de la seguridad vial.

La legislación alimentaria está encaminada a asegurar un nivel elevado de protección de la vida y la salud de las personas, teniendo en cuenta el bienestar de los animales, los aspectos fitosanitarios y el medio ambiente. Todo ello bajo el enfoque integrado «de la granja a la mesa» que es considerado actualmente un principio general de la política de seguridad alimentaria de la UE. Dicha legislación, establece tanto a escala nacional como comunitaria, el derecho de los consumidores a la seguridad de los alimentos y a disponer de una información precisa y veraz. A escala comunitaria, tiene por objeto armonizar los requisitos nacionales a fin de garantizar la libre circulación de alimentos y piensos en la UE. La legislación alimentaria reconoce la responsabilidad de la UE en el marco internacional y, por tanto, debe ser desarrollada y adaptada teniendo en cuenta las normas internacionales, salvo cuando ello pueda menoscabar el alto nivel de protección de los consumidores perseguido por la UE.

Los sensores ópticos y fotonicos, descritos en el apartado anterior aportan la posibilidad de inspeccionar la calidad de los alimentos mediante sistemas sin contacto y sin destrucción de los envases, esta tecnología emergente esta siendo implementada con fuerza por todos los agentes de I+D presentes en el estado español. Este aspecto de no destrucción del envase puede aportar nuevos mecanismos para la gestión del riesgo, transparencia en la evaluación y protección de los intereses tanto de los consumidores, como de las empresas trasformadoras del sector, mejorando el principio de cautela propio de este sector del mercado español.

Seguridad medioambiental

En este documento se ha querido diferenciar explícitamente entre los aspectos de seguridad para defensa, la seguridad civil y la seguridad medioambiental. En el bien entendido, que la misma funcionalidad, tiene en la mayoría de los casos una triple aplicación en seguridad para defensa, en la seguridad civil y en la seguridad medioambiental. La diferencia entre ambas no esta en la funcionalidad propiamente dicha, sino en el mercado, la estructura de la cadena de valor del mismo, los niveles de seguridad, normativas y especificaciones que el producto debe de cumplir. Todo ello, nos configura la presencia de las compañías, empresas y entidades sin ánimo de lucro tanto públicas como privadas en ambos mercados en el estado español.

Por este motivo, no vamos a citar en este apartado las más que evidentes aplicaciones medioambientales que pueden llevarse a cabo con las tecnologías y sensores ópticos y fotónicos descritos en apartado 6.2 referente a la monitorización del medio ambiente y la detección de contaminantes en el mismo.

No obstante, debemos tener presente que el vertedero es, en la actualidad, el destino final de un alto porcentaje de residuos, tanto en España como en la mayoría de países. La problemática medioambiental que presentan estas instalaciones ha propiciado la elaboración de una legislación, cada vez más restrictiva. La normativa sobre residuos, vertederos, prevención y control integrados de la contaminación, evaluación de impacto ambiental y responsabilidad ambiental ha forzado a que la eliminación de residuos mediante vertedero, se realice de una forma segura tanto desde el punto de vista sanitario como ambiental. Esta legislación afecta a parámetros de

ubicación, diseño, gestión, clausura y controles postclausura del vertedero. Sin embargo, tras la revisión exhaustiva de la normativa, se ha observado una carencia legal en cuanto a los parámetros relativos a las balsas de lixiviados de manera que, siendo éstos unos líquidos muy contaminantes con una alta carga orgánica y probabilidad de contener metales pesados, no se especifica, en la mayor parte de la normativa consultada, una referencia directa a estas balsas. Con el objetivo fundamental de minimizar el riesgo ambiental de las balsas de lixiviados y de evitar el impacto ambiental que se pudiera producir por una rotura en los diques de contención, se ha planteado la aplicación de la metodología alternativa de evaluación del riesgo como complemento a la norma UNE 150008 de evaluación del riesgo medioambiental.

Sin olvidar que la mayoría de las ciudades españolas de más de 500.000 habitantes superan los límites de contaminación atmosférica fijados por la UE. El Ministerio de Medio Ambiente admite que incumplen el criterio de calidad del aire para partículas y óxidos de nitrógeno, contaminantes derivados del tráfico y de la industria y que generan problemas cardiovasculares y respiratorios. Para luchar contra la contaminación, el ministerio presenta hoy a las autonomías las líneas generales de la Ley de Protección de la Atmósfera, que sustituye a una norma de 1972 y que espera aprobar a lo largo de 2006. Las pequeñas partículas en suspensión, los óxidos de nitrógeno o el ozono troposféricos son ya un grave problema de salud pública. Estos contaminantes, generados por los coches, la industria o las calderas de carbón, causan sólo en España 16.000 muertes al año por problemas respiratorios y cardiovasculares.

Los sensores ópticos y fotonicos son ideales para abordar estas y otras problemáticas medioambientales, tales como el control incendios, los niveles de contaminación en los túneles de la red vial española, los niveles y agentes contaminantes presentes en la torres de refrigeración, plantas potabilizadoras de agua, etc... puesto que la metodología de trabajo de los sensores ópticos y fotonicos siempre es no invasiva.

Análisis de capacidades y tecnologías a impulsar.

Este apartado del documento, podría ser extensísimo, si tuviéramos que repasar y citar todas la capacidades y tecnologías a impulsar relacionadas con los sensores ópticos y fotonicos, pero este apartado de sensores se encuentra dentro del paquete de trabajo se seguridad y sensores, por ello, no vamos a citar todos aquellas capacidades y tecnologías que han dado como resultado nuevos sensores químicos, de vibración, de movimiento, multiespectrales, acústicos, redes de sensores autónomos, sensores para una aplicación especifica, etc…, que no estén relacionados con la seguridad, entendemos que estos sensores deben estar recogidos en los capítulos referentes a su principal aplicación, de modo que es este apartado nos hemos centrado en el análisis concreto de la capacidades y tecnologías a impulsar en seguridad.

Siguiendo las pautas marcadas en el epígrafe anterior hemos estructurado el apartado en tres puntos:

- Sensores de imágenes
- Tratamiento de imágenes, integración y fusión.
- Terahercios y milimétricas.
- Sensores optrónicos de vigilancia.

Sensores de imágenes.

Sensores de alta sensibilidad en el visible.

La obtención de imágenes mediante sensores pasivos es uno de los ejemplos de aplicaciones duales. Sectores tan dispares como la medicina, mantenimiento industrial y Seguridad y Defensa la tienen como instrumentos rutinarios para sus quehaceres. Centrándonos en el rango del Visible (VIS) e Infrarrojo cercano (SWIR), la mayoría de los detectores usados provienen de la tecnología del Si (ILCCD, EMCCD, etc.). Éstos exhiben buenas características sensitivas pero a precios excesivos en la actualidad, que restringen su aplicación a mercados muy específicos: astronomía, biotecnología, Defensa. En la actualidad, hay una demanda creciente de las prestaciones requeridas por estos clientes, pero a un menor coste, lo que podría ser alcanzado por

dispositivos como los CMOS usados en la actualidad ya en amplios sectores de nuestra sociedad. Avances en la tecnología CMOS para alcanzar niveles bajos de ruido a temperatura ambiente, hacen posible obtener detectores con resolución del mega-pixel con una mejora en fotosensibilidad, lo que hará posible en el corto plazo la sustitución de los dispositivos de vacío, como los MCPs, por estos dispositivos. Esto hará más accesible el tratamiento de imágenes obtenidas mediante amplificadores de luz, alargando la vida del dispositivo, permitiendo una reducción de consumo y peso.

Una línea alternativa a mayor plazo para mejorar la sensibilidad de detectores es la explotación de la fenomenología del *plasmón*. Un plasmón es una oscilación colectiva de los electrones de un metal o de un semiconductor a frecuencias ópticas. Insertando en un dispositivo de estado sólido una estructura metálica de dimensiones típicas de la longitud de onda del electrón, la generación de estos plasmones incrementa la eficiencia cuántica del detector lo que se traduce en un aumento de la sensibilidad.

Teniendo en cuenta lo dicho, son de destacar las siguientes líneas de desarrollo:

- ✓ Tecnologías CMOS para detectores de bajo ruido
- ✓ Sensores infrarrojos no refrigerados
- ✓ Microtecnologías para fabricación de dispositivos de estado sólido
- ✓ Detectores basados en plasmones

- - Extendiendo las longitudes de onda.

- Sensores en el IR.

Desde el comienzo de la termografía, muchos han sido los esfuerzos para el desarrollo de sensores IR, basados primero en detectores fríos, o “cooled” (77K), para posteriormente buscar temperaturas de trabajo lo más cercanas posible a la ambiente, o “uncooled”.

Detectores “uncooled”.
Cámaras cuyos detectores necesiten detectividades del orden de 10^9 cm(Hz)$^{1/2}$/W pueden obviar la refrigeración. Aplicaciones duales que aprovechen esta tecnología pueden ser: ayuda a la conducción en condiciones meteorológicas adversas, control medioambiental, control de calidad en microelectrónica, por citar algunos ejemplos.

Para el medio plazo, la capacitación en tecnología de estado sólido basado en estructuras de baja dimensionalidad (pozos cuánticos, puntos cuánticos, superredes) permitirá obtener una primera generación de cámaras no refrigeradas, las cuales necesitan esfuerzos innovadores para conseguir velocidad de obtención de imagen, disminución de coste de mantenimiento, menor consumo y coste. Detectores de este tipo en las bandas I, II, y III necesitan demostrar alta detectividad (>5 10^{10} cm(Hz)$^{1/2}$/W), respuesta rápida con un bajo NEDT (< 50 mK) en matrices FPAs.

Los avances recientes en semiconductores del tipo III-V (Pozos y puntos cuánticos usando InGaAs/AlAs, InAs/GaSb, etc) van por este camino, para lo cual se requiere previamente una capacitación en microtecnologías de estado sólido.

Esto permitirá la obtención a precios asequibles de cámaras no refrigeradas, rellenando el nicho de aplicaciones donde los microbolómetros no han podido llegar, abriendo un mercado dual de gran volumen.

Para el corto plazo, habida cuenta del precio de los microbolómetros, las tendencias son el reducir su coste via su integración híbrida con la electrónica de control y su miniaturizacióbn al máximo consiguiendo optimizar las velocidades de procesado.

Detectores “cooled”.

Sensores donde se necesiten detectividades mayores que las anteriormente expuestas seguirán necesitando detectores refrigerados.

La detección IR por efectos cuánticos tendrá igualmente una posición relevante; en particular, la tecnología QWIP (Quantum Well Infrarred Photodetectors) multicolor, la cual puede posicionarse preferentemente en la fabricación de cámaras IR de detectividades del orden de 1011 cm(Hz)1/2/W, usando matrices FPAs de 1 Mega píxel de resolución mínima en banda II y III, utilizando simultáneamente varias longitudes de onda de operación.

- Sensores UV.

La detección del UV se obtiene tradicionalmente utilizando fotodetectores de Si. Para la obtención de imágenes, la tecnología actual del Si la hace idónea para detectores en el IR cercano (por debajo de 1.0-1.1 micras) y en el VIS (visible) en términos de linealidad y sensibilidad (citemos como ejemplos, los CCDs o CMOS, en sus diversas variantes). Sin embargo, estas tecnologías padecen de los siguientes problemas en el UV:

-Los CCDs actuales tienen una fuerte corriente de oscuridad, lo que hace que para aplicaciones en UV, éstos tienen que ser refrigerados.
-Falta de sensibilidad selectiva entre el UV y un “background” conteniendo VIS y/o IR cercano (por ejemplo, la luminosidad, natural o artificial).

Una alternativa es el desarrollo de la tecnología de semiconductores de ancho de banda prohibida (gap) grande.

-El diamante es interesante para el UV lejano, sobre todo para Astronomía, aunque su gap de energía es demasiado grande (~5.45 eV) para la mayoría de aplicaciones de interés. Pero su fabricación es y será durante tiempo bastante costosa, debido a la dificultad en el crecimiento de material de base.

-Los semiconductores del tipo III-N (GaN, AlGaN,.....) se ofrecen como una solución fiable para detección en el rango 3.5 a 6.2 eV (370-190 nm aprox.). El hecho de poseer gaps de energía mayor que el Si los hacen menos sensibles a la luz visible, lo que repercute en su mejor sensibilidad al UV y menor corriente de oscuridad (no refrigerados). Otra ventaja añadida es que se pueden obtener detectores con selectividad espectral muy bien definida por el hecho de ser semiconductores de gap directo y diseñando estructuras de baja dimensionalidad (pozos cuánticos, puntos cuánticos.....), hecho que con el Si no es factible al ser su gap de energía indirecto. El desarrollo de la tecnología de estos detectores es de sumo interés para las siguientes aplicaciones, por citar algunos ejemplos:

- Biología: Caracterizaciones de ADNs, proteínas....
- Seguridad: Sistemas de alerta de misiles (MWS), detección de fuegos y l lamas.
- Control medioambiental: Control de combustiones, detección de gases tóxicos, calidad de ambientes...

Tratamiento de imágenes, integración y fusión.

Existe una amplia gama flexible de sensores abarcando casi todo el espectro electromagnético (EM). De hecho, para cada tipo de información requerida existe una gama de frecuencias óptimas a usar, pudiendose considerar muchas veces complementarios los sensores para un cliente final. Por ello, la integración multisensorial y la fusión de datos con el fin de otorgar al cliente final una visión global con un único sistema lo más simple posible es uno de los campos de actividad más activos en este momento. A este respecto, los avances en microtecnologías para microsistemas de estado sólido (MEMs, MOEMs, etc) abren nuevos e interesantes campos para la optoelectrónica y fotónica, de modo que la próxima generación de sensores serán lo más pequeños posibles con la máximas prestaciones. A este respecto, y a modo de ejemplo, podemos citar las siguientes características de los mismos:

-Multiespectral, para maximizar la discriminación.
-Híbridos con su microelectrónica de lectura y control en un único chip.
-Con software y procesado integrados para un procesado óptimo que resalte contrastes y contornos e incluso se adapten dinámicamente a diferentes usuarios.

Terahercios y milimétricas.

La tecnología de THz (~300 GHz - 10 THz) y mmW (~1 GHz - 300 GHz) permite nuevas aplicaciones en el campo sensorial debido al hecho que es capaz de penetrar la mayoría de los dieléctricos no polares. A este hecho, se le añade la ventaja adicional de que su radiación es no ionizante, por lo que es "cuasi-inocua" al tejido biológico. Por lo tanto, se presenta como una tecnología idónea para detectar objetos escondidos de una manera menos dañina que los R-X, por ejemplo. Si se utilizan técnicas de espectroscopia resuelta en tiempo, la tecnología de THz podrá dar información estructural de los materiales analizados. También, para sistemas activos, donde se combine con tecnología de pulso ultracorto (femto-segundos) se prevé la obtención de imágenes 3D, con resolución espacial.

Las mayores incertidumbres provienen de los componentes "hardware" de este tipo de sistemas (principalmente, fuentes y detectores) que sean compatibles con los requerimientos industriales y de mercado.

En la parte detectora, los pocos detectores que existen son de área definida, y de prestaciones medias incluso refrigerados (las NEP se sitúan en torno a las 10s de pW/Hz1/2). Empiezan a verse a nivel de laboratorio las primeras matrices de detectores con dichas figuras de mérito, igualmente refrigeradas.

En la parte emisora, la gran incógnita es la potencia de emisión. Las siguientes líneas de investigación son las principales que se barajan:

- ✓ Dispositivos de estado sólido, como QCLs (Quantum Cascada Lasers) basados en estructuras de semiconductores de baja dimensionalidad (Superredes). En concreto, capas de Sb y aleaciones del mismo basados en semiconductores del tipo III-V.
- ✓ Generación de pulsos basados en microelectrónica de alta velocidad basada en circuitos de InP (MMICs, LNAs....)
- ✓ Láseres de femto-segundos para generación de pulsos ultracortos de elevada potencia de pico.

Por último añadir que se trata de una tecnología con aplicaciones múltiples donde sectores como la medicina, control ambiental e industrial pueden ser igualmente potenciales clientes.

Fuentes de excitación lumínica (láseres).

La utilización del láser ofrece cada vez aplicaciones duales más interesantes y de mayor difusión. Para que ello sea posible, y desde el punto de vista técnico, estos sistemas deben ser cada vez más fiables, de menor peso y volumen, y de menor consumo. En consecuencia, el desarrollo de dispositivos de estado sólidos, abarcando desde el UV hasta el IR a costes razonables se ve como el campo de trabajo más activo. A modo de ejemplo, y dentro de los conceptos de Seguridad y Defensa, destacaremos las siguientes aplicaciones que pueden beneficiarse:

-los sistemas DIRCM (Directed Infrarred Countermesaures) para protección de aeronaves, tanto civiles como militares, contra misiles del tipo MANPAD se prevén de utilización corriente al horizonte 2010-2015.

-Dentro de la protección NBQ, la detección de agentes CBRN, puede ser mejorada mediante tecnologías que utilicen láseres como LIF (Laser Induced Fluorescente), LIBS (Laser Breakdown Spectroscopy) y LIDAR (Light Detection and Ranging), siendo esta tecnología de aplicación inmediata para sensores activos de imágenes.

-Sistemas activos de THz para imágenes y espectroscopia, como desarrollado anteriormente como caso particular de relevancia.

En las aplicaciones anteriormente descritas, cuando el uso directo de un láser de estado sólido no es viable, la optimización de la tecnología láser y de los diodos excitados óptimamente aparece como una alternativa tecnológica de riesgo optimizado. Asimismo, y para un largo plazo, la obtención de fuentes láser de femto-segundo puede ser una alternativa interesante a desarrollar.

En este punto, para una generalización de las fuentes láser los siguientes "hitos" tecnológicos deben solventarse:

-Densidad de potencia lumínica.
-Calidad del haz.
-Eficiencia energética. Lo que hará optimizar el consumo eléctrico demandado.
-Sintonibilidad de longitud de onda y su estabilidad térmica.
-Matrices de láseres (VCSELs)

Sistemas optrónicos de vigilancia

Un sistema optrónico de vigilancia está compuesto por los siguiente elementos, no necesariamente relacionados en su totalidad con el mundo de la fotónica, pero necesarios para poder desarrollar un sistema completo:

- Sensores
- Sistema de apuntamiento
- Sistema de procesamiento
- Sistema de mando, control y comunicaciones.

Cada subsistema está compuesto por una tecnología diferente que lleva asociado unos conocimientos tecnológicos específicos. En el desarrollo de este apartado se va a considerar las tecnologías asociadas a cada uno de los elementos. Éstas son las tecnología a impulsar en este campo. Un sistema optrónico no tiene que estar constituido necesariamente por un solo sensor, puede ser la agrupación de varios sensores que comparten el mismo sistema de apuntamiento, procesado, mando, control y comunicaciones.

- Sensores

En nuestro caso un sensor optrónico está formado por distintos elementos que están relacionados con tecnologías diferentes.

- Opto-mecánica

La opto-mecánica es el conjunto de elementos que permiten integrar los elementos ópticos necesarios para tener prestaciones dentro del entorno físico del sistema optrónico. Las tecnologías implicadas en esta fase son el diseño óptico, el diseño mecánico y la ciencia de materiales. Los campos de investigación son zooms continuos y los sistemas ópticos dual band.

- Detectores

En este apartado se pueden incluir todos los elementos nombrados en el apartado de sensores de imágenes.

- Láseres

En este ámbito se consideran láseres con aplicaciones telemétricas, de designación de blancos e imagen activa. Las tendencias de actuación se enfocan a láser illuminators (de alta potencia) y láser pointers.

- Sistemas de apuntamiento y estabilización.

Estos sistemas son el soporte físico de los sensores dentro del sistema optrónico. Las funciones básicas de estos elementos son el apuntamiento y la estabilización de la línea de mira del sistema optrónico. Las disciplinas que afectan a estos tipos de sistemas son:

- Estructuras electro-mecánicas

La plataforma de estabilización es la estructura física que soporta los sensores y permite su orientación y estabilización dentro de la aplicación específica. El diseño de estas plataformas engloba muchas tecnologías diferentes que incluyen: Materias, cumplimiento de requisitos ambientales, interfaces mecánicos (motores rodamientos, etc), ópticos, eléctricos y electrónicos (encoders, resolvers , etc.)

- Estabilización

El control de los sistemas de apuntamiento se basa en los sensores incluidos en los mismos (giróscopos...) y en la información proveniente de la plataforma en la que se integran. Es necesario un sistema electrónico y un software que se encargue del procesamiento relacionado con la estabilización, el control de los elementos electromecánicos. Las líneas de investigación en este campo van orientadas al desarrollo de técnicas de estabilización para sistemas de altas prestaciones en estabilidad, al control predictivos y adaptativos a los movimientos de la plataforma y a diseño de sistemas ligeros de altas prestaciones (Micro-estabilización).

- Sistemas de procesamiento

Los sistemas de procesamiento son básicamente tarjetas electrónicas que junto con el software son capaces de realizar diferentes tipos de procesado de imágenes y datos obtenidos por los sensores. Los diferentes tipos de procesado se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Procesamiento para la mejora de la no uniformidad de los sensores.
- Procesamientos para la mejora de imagen.
- Procesamiento para el tratamiento de imagen.
- Procesamiento de video.
- Procesamiento de detección y seguimiento.
- Procesamiento para la identificación de blancos.

Todas estas capacidades se basan en tarjetas electrónicas con interfaces digitales de alta velocidad, con alta capacidad de proceso (FPGA's) y procesadores (SW, Real Time Operating Systems)

En este campo se pretende investigar en algoritmo de tipo "fusión de imagen" corrección de la no uniformidad, mejora de señales, procesamiento de detección y seguimiento, procesamiento para la detección de blanco.

- Sistemas, mando y comunicaciones..

Este apartado engloba los equipos y sistemas que realizan el interfaz con los operadores y con los otros sistemas a los que se conectan los sistemas optrónicos. En cuanto a las comunicaciones, se engloban los siguientes campos de conocimiento:

- Comunicaciones cable.
- Comunicaciones radio.
- Comunicaciones ópticas
- Compresión y codificación de señales.

En este campo se buscan sistemas con mayores capacidades de gestión de la situación y facilidad de uso del operador. Se hace necesario invertir en sistemas que integren redes de sensores que, de forma automática, realicen tareas de vigilancia. Por último se intenta aumentar la autonomía de los sistemas, de manera que la intervención del operador sea lo más remota posible.

Participantes en la elaboración de este documento

Fecha	Empresa	Persona	Detalle contribución
Abril- junio/2009	Asistentes al I Workshop de Fotonica (1-2 abril 2009, San Sebastián).Anexo 1		Versión final capítulo Grupo Trabajo 5

Control de cambios

Seguridad_sensores_v1	Jorge Sánchez	Febrero 2007
Versión final	SNELL OPTICS	Junio 2009

7. COMPONENTES ÓPTICOS Y SISTEMAS

El diseño y producción de componentes y sistemas sostienen la actividad fotónica. Los materiales ópticos y componentes fotónicos son la base para la construcción de sistemas de distintos niveles de complejidad. En la mayoría de los casos, realizan un papel clave y dictan el rendimiento de los sistemas.

Impacto económico de los materiales y componentes ópticos

Nuevos productos y procesos generarán actividad económica para la industria española en el siglo XXI. Sin embargo, esta actividad dependerá de la capacidad que tengamos para desarrollar nuevos y mejores componentes y sistemas. Para alcanzar el éxito, los componentes y sistemas ópticos deben:

- Ser fiables y económicos
- Ser genéricos y adaptables
- Ofrecer mejores prestaciones
- Innovar y estar protegidos por los derechos de la propiedad intelectual.
- Estar alineados con las oportunidades de mercado.

El objetivo a corto, medio y largo plazo, es el de establecer un programa marco coordinado que consiga que la actividad en este área de la tecnología sea competitiva. A corto plazo, la meta debería ser facilitar el desarrollo de la industria fotónica en España y la comercialización de los avances que la tecnología fotónica supone. A más largo plazo, los objetivos deberían centrarse en la búsqueda de nuevos materiales y en el diseño y producción de los componentes clave y sistemas para formar el enlace crítico entre ciencia y el éxito comercial.

El desarrollo de la fotónica está unas tres décadas por detrás de la electrónica, por lo tanto es lógico esperar un impacto similar al observado en la electrónica, permitiendo excelentes oportunidades de investigación y negocio.

Estructura actual de la industria e investigación en España, Retos actuales y futuros.

Industria

Las empresas españolas que se consideran en el presente documento incluyen a productores de componentes ópticos y micro-ópticos, compañías que producen materiales avanzados como semiconductores, vidrio o polímeros, productores de máscaras, compañías interesadas en el empaquetado, constructores de subsistemas y compañías dedicadas al diseño de software. España cuenta con empresas líderes a nivel europeo en algunas de estas tecnologías.

La industria fotónica Española es escasa, está altamente diversificada y fundamentalmente basadas en un gran número de PYMES. Independientemente de la producción en masa, las PYMES necesitarán en el futuro el conocimiento adecuado para la producción y comercialización exitosa de sistemas y componentes fotónicos.

Durante mucho tiempo, la producción se ha caracterizado por el incremento de la subcontratación a países con mano de obra barata. Inicialmente la subcontratación estaba limitada a bienes simples de producción en masa. Sin embargo la tendencia actual es la de realizar actividades que requieren personal más cualificado. Esta tendencia aparece incluso en la investigación y aparecen por tanto actividades de I+D subcontratadas como consecuencia inevitable de la globalización. Esto presenta una serie de desafíos y oportunidades en el sector de los componentes fotónicos. El desarrollo de componentes fotónicos con mayor complejidad y funcionalidad debería contribuir a traer la producción de vuelta a geografías de mayor coste como la española. La condición necesaria para ello es que España se encuentre en el frente de la innovación en el sector fotónico.

Otra evolución, más reciente, que se ha dado especialmente en el ámbito de los semiconductores es hacia empresas que carecen de instalaciones propias para la fabricación de sus componentes. Esto tiene sentido por dos razones fundamentales. Primero, porque una única fabrica puede servir para producir un componente que

se emplee en varias aplicaciones y por lo tanto para un espectro amplio de empresas. Segundo, porque el riesgo económico que asumen estas empresas que carecen de fabricación propia es mucho menor y les otorga una mayor flexibilidad. De esta forma se puede esperar que este tipo de empresas rellenen el hueco existente entre las fundiciones y los integradores de sistemas o usuarios finales de componentes.

España debe centrarse en tecnologías e industrias en las que pueda tener una ventaja competitiva. Esto se puede conseguir con el desarrollo de productos y procesos industriales en los que el valor añadido sea en forma de conocimiento (tanto técnico como de mercado) y en los que la tecnología genérica y la mano de obra contribuyan al precio final con un peso muy bajo. Este tipo de tecnologías requieren cada vez de más inversión. La fotónica es un ejemplo de este tipo de tecnologías que son complejas e integradas y están basadas en un conocimiento avanzado y en la innovación. Los materiales y los componentes son las tecnologías que han permitido en las últimas décadas enormes avances en el campo de la fotónica, y continuarán representado ese papel.

Investigación

El potencial de España en el área de diseño y fabricación de componentes debe sustentarse en su comunidad investigadora, de gran prestigio en la ciencia e ingeniería de los componentes fotónicos. En las dos últimas décadas ha evolucionado desde una colección de unidades pequeñas y aisladas, basadas en presupuesto nacional, a una red de unidades que operan internacionalmente apoyadas económicamente por una combinación de presupuesto local e internacional. Varios programas europeos han representado un papel fundamental en este desarrollo. Una de las claves para el futuro, es la de alinear las actividades de investigación a nivel nacional y europeo para alcanzar metas estratégicas de investigación.

Mientras que la investigación española en componentes fotónicos es fuerte, hay una serie de puntos débiles que habrá que mejorar en el futuro:

Proyección profesional de investigadores

Una debilidad estructural actual es que muchos investigadores, tras completar el doctorado, o una investigación post-doctoral, tienen grandes dificultades para encontrar puestos de trabajo en los sectores de la industria que les permitan desarrollar sus capacidades. La industria española actual no puede absorber este capital humano de alto valor que se pierde continuamente en el sector. Debido a esto, el número de investigaciones a largo plazo en componentes fotónicos podría disminuir en las próximas décadas. Además, no existen prácticamente laboratorios de investigación centralizados y la mayoría de las investigaciones actuales tienen un horizonte más bien cercano. Esta situación se vería rápidamente corregida con una industria en expansión en el área de diseño y fabricación de componentes,.

Investigaciones que requieren inversiones elevadas

Uno de los grandes desafíos para la futura investigación en componentes fotónicos es que dicha tecnología requiere una estructura de investigación y desarrollo cada vez más intensivas en capital debido a que se orienta hacia dimensiones menores y al empleo de combinaciones de materiales cada vez más heterogéneos,. Ya no se pueden realizar investigaciones en el campo de la fotónica en grupos de trabajo pequeños o medianos. Las medidas para solucionar este problema son básicamente dos. En primer lugar se debería estimular la creación de instalaciones a gran escala para el desarrollo de procesos de alta calidad y haciendo estas instalaciones accesibles a terceros. En segundo lugar, y de igual importancia, se deberían crear grupos de investigación pequeños y medianos que permitan absorber a todo el capital humano cualificado, permitiendo su colaboración con los grandes centros de investigación.

Desafíos actuales y fututos

Los desafíos actuales y futuros son los de crear un sistema de investigación a nivel académico e industrial que debe ser tan vital, dinámico y creativo como sus competidores a nivel mundial y que asegure la correcta transferencia de tecnología desde las universidades a la industria.

Predicciones hasta el 2015: Nuevas tecnologías.

Lo que se espera en los próximos diez años

Hay que tener en cuenta que para las tecnologías consideradas es muy complicado hacer predicciones debido su rápida evolución. Sin embargo hay varias tecnologías emergentes en el campo de la fotónica y varias propuestas que deben tenerse en cuenta.

Nuevos materiales

Estos incluyen nanoestructuras de semiconductores, materiales orgánicos, metamateriales, cristales fotónicos y materiales de índice negativo.

Nuevos fenómenos

Se basan fundamentalmente en los fenómenos cuánticos: interacciones coherentes de la luz con la materia, teletransporte cuántico y entrelazamiento cuántico, con propiedades que no se comprenden totalmente hoy en día. En el área de la interacción coherente luz-materia, la transparencia inducida electromagnéticamente (EIT) ofrece infinidad de aplicaciones. Por ejemplo, la única memoria RAM fotónica análoga a la versión electrónica se ha implementado utilizando EIT. Las aplicaciones en computación cuántica y comunicaciones son obvias. Otras posibles aplicaciones son conversión en longitud de onda, relojes atómicos y muchas otras que no pueden ser concebirse aún.

Nuevos dispositivos

En este apartado encontramos multitud de posibilidades basadas en los materiales y fenómenos comentados anteriormente. Los dispositivos se considerarán en relación a las diferentes aplicaciones. El amplio espectro de aplicación de la fotónica hace que la variedad de dispositivos fotónicos sea menos específica que la microelectrónica. Los nuevos mercados masivos como por ejemplo el de la iluminación y las ciencias de la vida emergerán con toda certeza. Esto también requerirá la subdivisión de dispositivos teniendo en cuenta distintas perspectivas.

Silicon Photonics

En corto y medio plazo, se podrá observar un desarrollo y refinamiento de las tecnologías existentes. La integración de dispositivos ópticos en 3D (3D-Integrated Optics) tendrá una gran relevancia. Otra área importante es la integración de los dispositivos fotónicos empleando las herramientas de la industria CMOS (“Silicon photonics”). El alcance de su relevancia dependerá de dos factores. Primero, la posibilidad de implementar un set relativamente completo de funciones fotónicas básicas, compactas y eficientes en términos de potencia, realizables en tecnología compatible CMOS o superior. Cuando esto se consiga, se abrirán las puertas de la fotónica a multitud de aplicaciones. Segundo, la tecnología CMOS puede actuar como el “backbone” para los dispositivos fabricados sobre silicio pero incluyendo materiales diversos como cristales, materiales orgánicos, nanoparticulas de metal, etc… De este modo se podría solucionar la debilidad de la fotónica que consiste en la dilución de los esfuerzos de investigación en un rango demasiado amplio de materiales. También se deben tener en cuenta los dispositivos dedicados a iluminación en los que los semiconductores están ligados a los cristales fotónicos.

Dispositivos nano-ópticos

Los dispositivos nano-ópticos (metales y dieléctricos) permitirán la creación de la tecnología que requieren las memorias de datos de muy alta densidad además de la tecnología de medida a muy alta resolución. A más largo plazo hay una gran cantidad de dispositivos potenciales, en algunos casos con aplicaciones impredecibles: como por ejemplo dispositivos basados en plasmones y metal ópticos, dispositivos para la generación, manipulación y detección de un único fotón o dispositivos de funcionamiento todo óptico. El ejemplo más extremo puede ser un ordenador cuántico basado en fotones. Se puede especular con óptica digital y la posibilidad de realizar funciones digitales con fotones, que complementarían o sustituirían a la electrónica. Es difícil de imaginar a día de hoy que la fotónica alcance algún día la densidad de integración actual de la microelectrónica. Sin embargo ser puede pensar que se lleguen a realizar circuitos digitales lógicos fotónicos relativamente compactos. Estos circuitos podrían usar niveles de potencia y frecuencias de reloj que superarían las posibilidades que ofrece la electrónica. Aceptando el hecho de que la escalabilidad de la electrónica digital en densidad y/o velocidad está llegando al límite, se puede pensar en la fotónica como la solución, lo que supondría un desarrollo extraordinario de la óptica en las próximas décadas.

- Fabricación y empaquetado

En un plazo más corto, las tecnologías para la fabricación y el empaquetado de componentes ópticos y dispositivos con funcionalidades ópticas y electrónicas serán vitales para la producción competitiva de los productos basados en dichos componentes. Esto no se restringe a los sistemas y subsistemas basados en semiconductores sino que también incluye láseres miniaturizados de bajo coste o displays. Lo que se requiere en un margen de 3 a 7 años son tecnologías de producción controladas y de precisión para la fabricación de componentes ópticos miniaturizados además de tecnologías para el empaquetado integrado de sistemas mixtos con funcionalidades ópticas, eléctricas y mecánicas.

- Aplicaciones industriales

La generación de potencias ópticas elevadas de una forma eficiente energéticamente y su entrega con bajas pérdidas y alta precisión es necesaria para el desarrollo de tecnologías ópticas en la industria del procesado. Para ello se requerirán nuevos sistemas, tecnologías de producción competitivas y nuevos materiales.

- Sensores y bio-sensores

La aparición de sensores ópticos de gran sensibilidad y bajo coste permitirá optimizar procesos como controles de calidad, controles del medio ambiente y diagnósticos in-vitro e in-vivo. El concepto de “lab-on-a-chip” puede generar una gran industria a su alrededor durante siglo 21. La integración genérica de plataformas tecnológicas relacionadas con microfluidos es la clave para este desarrollo.

- Ciencias de la vida

En la próxima década, se espera el despliegue de láseres de gran potencia a cualquier longitud de onda que permitan el tratamiento médico selectivo y la ingeniería de tejidos. También se espera el desarrollo de micro-instrumentos, la distribución optimizada de medicamentos y la aparición de métodos ópticos específicos para el tratamiento local de enfermedades, en particular del cáncer. Actualmente están surgiendo tecnologías para el diagnóstico de enfermedades, el seguimiento de proteínas, etc… empleando tecnologías ópticas como “quantum dots” o cristales fotónicos. La utilización de imágenes ópticas (por ejemplo del cerebro) está cobrando mayor importancia. La clave para el lanzamiento de esta gran variedad de aplicaciones biofotónicas es la disponibilidad de fuentes y detectores a longitudes de onda específicas, así como el desarrollo de la fotoquímica basada en nano-partículas.

- Tecnologías de la Imagen

Se capturarán imágenes en 3D con cámaras extremadamente miniaturizadas,. Se formarán imágenes brillantes en cualquier lugar usando proyectores digitales en miniatura. Ambos permitirán la grabación y reproducción de imágenes en 3D. Mediante cámaras ultraplanas y cables ultra finos se crearán nuevas aplicaciones en el diagnostico médico y en el ámbito de la seguridad.

- Iluminación

La sustitución, todavía pendiente, de las bombillas incandescentes por lámparas de estado sólido tendrá implicaciones importantes para fabricantes y vendedores de componentes y sistemas en el área. Esto muestra también la importancia de la fotónica en la preservación del medio ambiente, ya que puede permitir el ahorro de enormes cantidades de energía.

- Telecom

Muchas de las tecnologías estudiadas y/o implementadas sin éxito en los últimos 10 años pueden ver de nuevo la luz. En particular, el concepto de redes totalmente ópticas, cada vez más cercanas al usuario final. Es probable que este tipo de redes se desplieguen a gran escala antes del 2015. Los grandes esfuerzos realizados para disminuir el coste de los componentes empleados en este tipo de redes, supondrán un gran reto para los impresionantes avances de la microelectrónica. El desarrollo de componentes que permitan el procesado óptico de la señal será la clave para la implementación de este tipo de redes. Con la fusión de las redes de cable e inalámbricas se espera un gran desarrollo de componentes ópticos para la generación, manipulación y detección de señales milimétricas. El uso de la fotónica para comunicaciones inalámbricas utilizando un rango de frecuencias de 10 a 120GHz o más, permitirá la entrega de señales inalámbricas de forma selectiva al usuario elegido, de forma que se minimice la pérdida de energía y la radiación de esta a otros usuarios.

- Procesado de datos

El concepto de computación óptica se ha visto durante mucho tiempo como una quimera, pero es bastante probable que se desarrolle en los próximos 10 o 20 años. Este concepto ha tenido muy poco impacto en el área del procesado de datos. Hay, al menos, dos factores que pueden tener una influencia significativa en el cambio de esta situación. Estos son: la aparición de una tecnología que permita la computación cuántica y el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos para realizar funciones específicas adaptadas a las capacidades de la fotónica, como puede ser el procesado lineal y paralelo. La sustitución parcial o total de la electrónica digital actual sigue siendo una cuestión de investigación a largo plazo.

- Seguridad

Se desarrollarán dispositivos para la utilización de nuevas bandas de frecuencia incluyendo el rango de los THz, donde podemos encontrar nuevas aplicaciones en el campo de la seguridad. Estas aplicaciones requerirán el desarrollo de una gran variedad de sensores ópticos.

Situación actual de la industria e investigación española en el desarrollo de las aplicaciones y tecnologías descritas anteriormente con respecto al los países/regiones más competitivos.

Industria

Se tomará como ejemplo la situación de la industria Europea en el área de los componentes basados en semiconductores III-V. Este ejemplo será representativo de un sector en el que Europa se encuentra atrapada entre la competencia de EE.UU. y Asia.

Por un lado, la industria optoelectrónica infrarroja sigue sufriendo una reorganización después de la crisis de las telecomunicaciones del 2001. La mayoría de los fabricantes se han beneficiado de subcontratar el ensamblaje final aprovechando el bajo coste de la mano de obra y del material. La alta tecnología empleada en la fabricación, incluyendo dispositivos de tecnología III-V se ha consolidado en Asia. El campo de la investigación y fabricación de dispositivos en EE.UU. está compuesto por unos pocos actores industriales (Bookham, Avanex, CIP…) y por un número significativo de centros de investigación semiacadémicos (KPRC, III-V Lab, HHI, FBH, IAF…) además cuenta con una fuerte actividad investigadora en laboratorios académicos. La aceleración del crecimiento del mercado y la demanda está permitiendo a las organizaciones ser cada vez más rentables. De todas formas se necesitarán varios años de crecimiento y consolidación hasta que las organizaciones puedan ser auto-suficientes (esto es, ser capaces de subvencionar su I+D para garantizar su futura competitividad). Las ventajas de la cooperación entre los desarrolladores de sistemas y los fabricantes de componentes son obvias – la innovación en componentes y subsistemas llevará a la mejora global del sistema; la experiencia en sistemas a menudo actúa como una guía para la innovación e investigación de nuevos componentes. Es fundamental consolidar la infraestructura que permita conseguir esto en Europa.

La infraestructura para el desarrollo y producción de chips es muy cara y por consiguiente, debe ser utilizada al máximo para conseguir que sea rentable. En Europa se debe cambiar hacia la fabricación de tipo fundición, permitiendo la transferencia de productos y tecnologías desde nuestra industria académica a una industria de escala global de forma rápida y eficiente económicamente. Para que esto pueda ocurrir debe haber una mayor estandarización en los chips ópticos, no solo en el equipamiento de producción sino también en los tamaños y tipo de oblea, familias de componentes, etc. La parte de diseño será relativamente más importante que el proceso, a pesar de que pasen muchos años antes de que el proceso se estandarice, como pasó en la industria del silicio. A medida que se consigan mayores niveles de integración gracias a herramientas de diseño y control del proceso mejorados, el chip o combinaciones de estos representarán una mayor parte del valor del componente, mientras que el montaje final representará una parte menor. Los costes de los componentes y subsistemas son importantes, pero deben ser relativamente pequeños. La innovación en la capa física – tanto a nivel de componente como de subsistema – es esencial para permitir innovación y diferenciación a nivel de sistema. Debemos proveer a nuestras industrias del marco de trabajo adecuado, que les permita trabajar estratégicamente juntas, empezando por del desarrollo del material, pasando por los componentes y sistemas hasta llegar a la aplicación del usuario final.

Cada vez más, las nuevas empresas se basarán en el diseño y aplicación, confiando en muchos casos la fabricación de elementos electroópticos a la subcontratación. El 7º Programa Marco debe ayudar a la industria Europea a dirigirse hacia este nuevo esquema.

Por otra parte, en la industria europea de la optoelectrónica visible (LEDs y láseres a longitudes de onda visibles) está creciendo y fortaleciéndose muy rápidamente. La posición de la UE es buena pero la competencia es muy dura y la actividad de la UE está limitada a unos pocos actores fundamentales (principalmente OSRAM, Philips a nivel industrial) que controlan todos los dominios de actividad incluyendo la parte final de la producción. Aquí la propiedad intelectual es fundamental, de modo que los nuevos actores deben centrarse en actividades paralelas como por ejemplo desarrollando nuevos materiales.

Investigación

En general, le investigación de España en el área de la fotónica ha surgido y ha sido coordinada por numerosos proyectos europeos. La presencia de los resultados de la investigación en el campo de la fotónica en España es fuerte en revistas de investigación y conferencias. EE.UU cuenta con ventaja gracias a su mayor apoyo por parte de las entidades administrativas, la financiación por parte del ejército juega un papel muy importante. La UE tiene dificultades en mantener el alto ritmo que supone el desarrollo de la fotónica encabezado por EE.UU y tal vez por Japón. En general, el método de financiación de la UE, tiene un alto peso burocrático que no muestra la velocidad requerida en relación a las bajas sumas manejadas. Al mismo tiempo, hay un gran número de grupos de investigación excelentes, que se encuentran principalmente en universidades debido a que la investigación de las empresas ha descendido considerablemente. Una gran debilidad es la dificultad que surge en el proceso de

transferencia de tecnología desde la investigación universitaria a la industria. Este aspecto se puede observar en la dificultad que existe para encontrar un trabajo tras un periodo de investigación académica o en las muchas barreras que aparecen en el proceso de creación de una nueva empresa. Estas dificultades suponen un peligro para la investigación ya que impactan en la visión de una carrera de investigación y limitan la captación de nuevos jóvenes investigadores.

La movilidad de los investigadores españoles ha sido tradicionalmente débil. En los últimos 5-10 años – gracias a los programas de movilidad- ha habido una gran mejora en este aspecto. Hay un mayor entendimiento y aceptación de la movilidad entre los jóvenes investigadores. Esto ocurre en la investigación fotónica, donde los investigadores deben confiar en centros que tengan la masa crítica para mantener procesos tecnológicos avanzados. La movilidad puede ser simple para un investigador soltero, pero surgen grandes barreras para investigadores con pareja o familia. Además hay que tener en cuenta la barrera del idioma y de la diversidad social entre los distintos países de la UE.

Prioridades de investigación para España

Corto plazo

La investigación se debe centrar en:

- ✓ Fabricación y empaquetado de componentes y subsistemas (más baratos, dispositivos más densos, mayor miniaturización, más funcionalidad en menor volumen)
- ✓ Estrategias de producción y diseño para la obtención de sistemas híbridos electro-ópticos integrados como láseres miniaturizados o displays
- ✓ Desarrollo de equipamiento para la producción
- ✓ Materiales y componentes de gran fiabilidad para sistemas de gran potencia óptica
- ✓ Láseres semiconductores que no necesiten enfriamiento
- ✓ Láseres de estado sólido con gran potencia/calidad de haz
- ✓ Generación óptica de señales de ondas milimétricas
- ✓ “Silicon photonics” basado en tecnología CMOS compatible
- ✓ Materiales para la producción en masa, preferiblemente integrables con el silicio
- ✓ Miniaturización de equipos de grabación y proyección de imágenes
- ✓ Herramientas de simulación de componentes y subsistemas

Medio plazo

La investigación se debe centrar en:

- ✓ Materiales que posibiliten la realización de nuevas funciones (meta-materiales).
- ✓ Organización controlada de estructuras como cristales fotónicos
- ✓ Ensamblado automático controlado de dispositivos fotónicos híbridos
- ✓ Fotónica de campo cercano (para memorias de datos y técnicas de medida)
- ✓ Nuevos materiales y estructuras (sintonizables) para la generación y manipulación de longitudes de onda en el IR lejano y en los rangos DUV/XUV (no necesariamente basados en las interacciones no lineales)
- ✓ Láseres cuánticos en cascada operando en RT (room temperatura) utilizados como fuentes de THz.
- ✓ Materiales, dispositivos y aplicaciones de interacciones coherentes luz-materia.
- ✓ Aplicaciones y dispositivos de “slow wave”

Largo plazo

La investigación se debe centrar en:

- ✓ Nuevos conceptos que permitan la reducción drástica de tamaño, huella y consumo de potencia y el aumento de la funcionalidad de los componentes y sistemas.
- ✓ Desarrollo de nuevos materiales de mayor funcionalidad con propiedades controladas por software.
- ✓ Desarrollo de estructuras de componentes con propiedades controladas por software.

Recomendaciones de implementación

Para conseguir implantar las recomendaciones expuestas en esta SRA es necesario establecer una estrategia comprensiva en el área del diseño y la fabricación de componentes. Realizar esto es una tarea complicada. Para ello, hay que tomar medidas agresivas para situarse al nivel de los competidores en Estados Unidos y Asia. En la parte concerniente a la investigación académica se considera que existen los recursos adecuados y que la organización es eficiente. De hecho el estado de la investigación en España es bueno. Sin embargo tener una industria en el área de diseño y producción de componentes es más difícil. Esto es así por un factor fundamental: la subcontratación a otros países de la fabricación (a varios niveles), esto incrementa los beneficios de la industria, al menos a corto plazo.

Industria

Las recomendaciones expuestas en este apartado con genéricas. Las necesidades de la industria de telecomunicaciones son diferentes en comparación con las necesidades de la biofotónica. Sin embargo en ambos casos se emplea la misma tecnología.

El 7º Programa Marco debería ayudar a colocar cada cosa en su sitio ante la llegada de la próxima generación de semiconductores optoelectrónicos. Las instalaciones de fabricación, las herramientas de diseño, y los procesos de desarrollo, se han convertido en un coste que las empresas no pueden asumir individualmente. Las opciones de delegar la fabricación a entornos semi-industriales, académicos o instalaciones con procesos muy específicos de fabricación han llevado a la imposibilidad de escalar el proceso a un nivel mundial. La industria debe tomar las riendas y hacer propuestas que permitan una producción a escala mundial. Deben consolidarse redes de instalaciones industriales y académicas, permitiendo un crecimiento e innovación en el diseño y capacidad de proceso. Se debe potenciar la colaboración entre universidades y compañías dedicadas al desarrollo de componentes y sistemas ópticos permitiendo a la innovación subir hasta la cima de la pirámide del valor añadido. Se debe reforzar la innovación en nuevas tecnologías para sistemas y aplicaciones, tanto en las universidades como en la industria, permitiendo de este modo, el desarrollo de las tecnologías propuestas en el presente documento.

Industria y Ciencia

Se deben identificar los puntos estratégicos de investigación en fotónica aplicada. También se requiere establecer un número de centros distribuidos que enfoquen sus esfuerzos en áreas concretas de forma que se establezca la colaboración necesaria entre industria y ciencia. Esto debe realizarse de forma que sea una colaboración en la que la industria obtenga beneficios, de otro modo, la participación de la industria sería inútil.

Ciencia

Debe participar con los centros descritos anteriormente. Además debe identificar los campos de la fotónica en los que la investigación a largo plazo pueda tener un impacto en el diseño de componentes. También debe crear redes para aumentar la competitividad a nivel internacional. Sin embargo, en el futuro estas redes deben ser más específicas en sus orientaciones y ser por lo tanto más numerosas.

Participantes en la elaboración de este documento

Fecha	Empresa	Detalle contribución
1-03-2007	DAS	Coordinador WG6: “esqueleto” sobre el que construir

Fecha	Empresa	Detalle contribución
		la versiones siguientes (v1.0)

Control de cambios

WG6_Componentes_Opticos y sistemas_v1	DAS	Marzo 2007

8. INVESTIGACIÓN DE FRONTERA, FORMACIÓN E INFRAESTRUCTURAS

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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 de recursos humanos y educativa 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
- …..

Participantes en la elaboración de este documento

Fecha	Empresa	Detalle contribución
23-09-2008	Aragon Photonics	Coordinador WG7: esqueleto" sobre el que construir la versiones siguientes (v1.0)
Abril-junio/2009	Asistentes al I Workshop de Fotonica (1-2 abril 2009, San Sebastián).Anexo 1	Versión final capítulo Grupo Trabajo 7

Control de cambios

Versión final capítulo	ICFO	Junio 2009

9. CONCLUSIONES GENERALES POR GRUPO DE TRABAJO.

WP1: INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN.

Los despliegues masivos de tecnologías de acceso de ultra-banda ancha basadas en tecnologías de acceso óptico (FTTH) o inalámbrico (p.ej. LTE) capaces de ofrecer velocidades de acceso de hasta 1Gbps generarán un considerable aumento en el tráfico cursado en todos los segmentos de la red: acceso, metropolitano y troncal. Este incremento de tráfico podría afectar negativamente al coste del servicio ya que, en las arquitecturas de transporte actuales basadas en conmutación electrónica (p.ej SDH, Ethernet e IP), el coste de red depende directamente del volumen de tráfico cursado: a mayor tráfico, mayor coste. Por tanto, para asegurar el acceso universal a servicios de ultra banda ancha a bajo coste, se hace totalmente necesario investigar en nuevas tecnologías de red capaces de conmutar grandes volúmenes de tráfico con un mínimo coste. En este sentido, las tecnologías de transmisión y conmutación fotónica aparecen como una de las principales alternativas para lograr este objetivo.
La clave tras esta eficiencia en costes se encuentra en la reducción de las matrices de conmutación electrónicas y de las conversiones optoelectrónicas asociadas a éstas ya que a medio plazo esto implicaría un importante ahorro tanto en costes de inversión como en consumo de espacio y energía.

A continuación se resumen los principales temas de investigación relacionados con la evolución hacia redes fotónicas en cada segmento de red:

Red de Acceso

- Arquitecturas hibridas WDM-PON/ 10GPON
- Convergencia fijo móvil sobre WDM-PON
- Herramientas de monitorización para redes WDM-PON
- Diseño de PONs seguras basadas en OCDMA

Red Metropolitana

- GRID sobre OBS para optimización de costes de plataformas de servicio
- Plano de control en redes OBS
- Mecanismos de ingeniería de tráfico y restauración en redes OBS
- Mecanismos de distribución de tráfico multicast sobre OBS
- Herramientas de monitorización para redes OBS
- Mecanismos de protección/restauración en anillos WSON metropolitanos con tráfico alta dinamicidad.
- Algoritmos de agregación de tráfico Ethernet en anillos WSON metropolitanos con tráfico de alta dinamicidad.
- Algoritmos de enrutamiento y asignación de longitud de onda (RWA) en anillos WSON metropolitanos.
- Mecanismos de aprovisionamiento y reserva de longitudes de onda en en anillos WSON metropolitanos.
- Protocolos de control (RSPV-TE, OSPF-TE, PCE) en anillos WSON metropolitanos.
- Técnicas de monitorización del rendimiento de la señal óptica en anillos WSON metropolitanos.
- Tecnologías de transmisión ópticas.

Red Troncal

- Plano de control en mallas fotónicas
- Mecanismos de restauración rápida sobre malla fotónica
- Algoritmos de optimización para herramientas de planificación en malla fotónica
- Mecanismos de ingeniería de tráfico multicapa en redes IP sobre malla fotónica
- Soluciones de distribución de tráfico multicast sobre malla fotónica
- Trasmisión a 100 Gbps

- Herramientas de monitorización para MALLA FOTÓNICA
- Algoritmos RWA centralizados, distribuidos, y protocolos de reserva, junto con las extensiones requeridas a los protocolos actuales GMPLS RSVP-TE, OSPF-TE y PCEP para el aprovisionamiento y recuperación de servicios ópticos en redes WSON malladas uni y multi-dominio.
- Algoritmos de agregación, así como las extensiones de los protocolos necesarias para el aprovisionamiento y recuperación de servicios Ethernet sobre redes WSON malladas.
- Plano de control distribuido GMPLS con arquitectura PCE.
- Plano de servicio para la auto-gestión de conexiones lambdas, incluyendo mecanismos de caracterización de tráfico IP.
- Diseño y evaluación de sistemas de transmisión ópticos espectralmente eficientes basados en OFDM. Investigación de potenciales sistemas de transmisión basados en tecnología OFDM completamente óptica.
- Diseño y evaluación de técnicas avanzadas de monitorización del rendimiento óptico para redes WSON transparentes y reconfigurables dinámicamente

En España existe un gran potencial en la investigación de redes ópticas tanto a nivel industrial como académico. Por tanto, empresas como Telefonica, Telnet, Snell Optics y Aragon Photonics, universidades como ITEAM-UPValencia, UE-UPV, UC3M y UC-TOA, y centros de investigación como CTTC e ICFO podrían jugar un importante papel en el desarrollo de la red óptica extremo a extremo del futuro

WP2: PROCESOS DE FABRICACIÓN.

La era de la fotónica se acerca cada vez más al sector industrial. Pronto la fotónica va a ser vital, tanto para la mejora o sustitución de procesos existentes como para el desarrollo de nuevas soluciones y productos. Ya no será pues una técnica a evaluar sino que será una realidad destinada a mejorar en gran medida las técnicas, procesos y herramientas presentes. Y todo esto en cumplimiento de las directrices básicas de disminución de costes, incremento de la fiabilidad y mantenimiento de la seguridad. Los principales campos donde se utiliza actualmente la fotónica a nivel de fabricación son:

- Macro procesado de materiales (corte, soldadura, tratamientos superficiales, etc.)
- Procesos de litografía
- Control óptico de calidad
- Metrología,

A los que hay que añadir un considerable número de campos de aplicación emergentes, como por ejemplo:

- La Micro- y Nano- fabricación
- La visión artificial
- Aplicaciones en biotecnología (microscopia láser, etc)
- Procesado de nuevos materiales
- Aplicaciones en medicina

Sin embargo, dada la gran complejidad tecnológica inherente en la aplicación de la fotónica en procesos industriales, es evidente que el progreso en este campo viene ligado a la colaboración de muchas disciplinas de diferentes sectores, razón por la cual es tan importante la existencia de plataformas de interacción como es Fotónica 21. Esta clase de interacción entre entidades del mundo de la fotónica está concebida con la intención de cumplir una serie de objetivos, como serían:

- Incrementar la productividad y la competitividad de las industrias,
- Mejorar la calidad de la producción y bajar los costes de fabricación,
- Permitir el desarrollo de nuevos productos y procesos de fabricación,
- Mejorar la calidad de vida,
- Disminuir el gasto, reducir el consumo energético y proteger el medio ambiente, y
- Mejorar la seguridad de las personas en su vida diaria y en sus puestos de trabajo.

Con este objetivo, Fotónica 21 ha identificado cuatro grandes epígrafes en los que enmarcar las diferentes ramas de investigación prioritarias:

- Aplicaciones: donde se incluye el procesado de materiales (tanto a escala macroscópica como a micro o nano-escala), y donde se tendría como objetivo tecnológico el perfeccionamiento de procesos como: el corte o ablación por láser, el procesado de obleas, el grabado, flexografía o estampación.
- Herramientas: donde se pretende impulsar el desarrollo y perfeccionamiento de fuentes láser, transmisión, guiado y conformado de haces y nuevos componentes ópticos. Los logros en este epígrafe incluirían la obtención de nuevas fuentes, con nuevos materiales, menores costes y mejores prestaciones (nuevas longitudes de onda, más estabilidad, más potencia, más brillo, etc.). Así como el control del haz, el aumento de la resolución, la extensión del tiempo de vida, etc.
- Procesos: donde se pretende profundizar en el conocimiento del procesado de materiales así como en el control y diagnóstico de los procesos en sí. Esto permitirá la consecución de un aumento de la productividad, así como la utilización de nuevos materiales (cerámicas, vidrios, polímeros, materiales orgánicos,…).
- Control de calidad y visión artificial: dónde se incluye el estudio de nuevas técnicas de diagnóstico con nuevos sensores. En este epígrafe se pretenden obtener sistemas inteligentes de visión robot y de asistencia visual, sistemas de gran robustez y portabilidad, adquisición de imagen en condiciones extremas, mejora de sistemas de visualización médica, etc.

Los puntos arriba descritos y desarrollados en el presente documento representan una recopilación de los intereses y prioridades de un gran número de centros públicos y privados de investigación así como de representantes del sector industrial del campo de la fotónica.

WP3: CIENCIAS DE LA VIDA Y LA SALUD.

La fotónica tiene una larga tradición en los campos de las ciencias de la vida y la salud. El microscopio ha posibilitado una visión del mundo de las células y bacterias y ha evolucionado hacia una herramienta moderna y potente que permite la investigación básica de sus procesos. En las dos últimas décadas, el diagnóstico, tratamiento y la cirugía mediante técnicas ópticas se ha convertido en un estándar en campos como la oftalmología o la dermatología. Los endoscopios han permitido acceder al interior del cuerpo humano mediante procedimientos mínimamente invasivos. Los métodos ópticos para la secuenciación del genoma humano y los biochips han abierto nuevos caminos en el diagnóstico y tratamiento del cáncer, y los métodos fluorescentes han sustituido a los radiactivos en la visualización durante el proceso de creación de nuevos fármacos.

En un futuro próximo la fotónica permitirá un cambio en el modelo de las ciencias de la vida y de la sanidad. Los avances gracias a la fotónica se centrarán en 4 campos de aplicación: la biología celular y molecular, el diagnóstico avanzado y precoz, la medicina preventiva, y las terapias personalizadas y mínimamente invasivas.

Dentro del campo de investigación de la biología celular y molecular, los objetivos de investigación futura en fotónica se centran en el entendimiento detallado de los procesos bioquímicos en las células y tejidos y en el desarrollo de nuevos dispositivos que permitan monitorizar los procesos celulares. Los laboratorios cuentan ya con herramientas para la manipulación de células como pinzas ópticas, ensanchador de células o herramientas fotónicas de microdisección.

Para un diagnóstico avanzado y precoz es preciso desarrollar métodos para diversas aplicaciones: diagnósticos celulares in vivo para ayudar a identificar individuos con predisposición a padecer ciertas enfermedades; histología in vivo y diagnósticos de tumores intra-operativos que ayudarán a los médicos durante la operación; obtención de imágenes metabólicas para la detección de disfunciones metabólicas en etapas tempranas; tomografía óptica, que está ya bien establecida en oftalmología y que proporcionará a los especialistas imágenes 3D de los tejidos; análisis de la respiración con sistemas ópticos para dar un diagnóstico inmediato; marcadores

específicos para que los diagnósticos fotodinámicos se establezcan como una herramienta útil; y detección e identificación rápida y de gran sensibilidad de agentes patógenos, para lo cual los biochips y otros biosensores jugarán un papel esencial.

Para el desarrollo de una medicina verdaderamente preventiva se necesita un mayor entendimiento de las interacciones dinámicas de nuestro sistema inmune frente a estímulos internos o externos a nivel molecular. Se deberá profundizar en el desarrollo de las siguientes tecnologías fotónicas: permitir el desarrollo y monitorización de biomateriales para la entrega secuencial de activos y/o agentes químicos para el desencadenamiento de mecanismos endógenos autorreparadores; generar conocimiento y productos que se centren en las interacciones a nano escala entre células de distinto tipo y su entorno; permitir la monitorización de la regeneración de tejidos y desencadenar y monitorizar la activación de genes así como el crecimiento de tejidos de una forma precisa.

Dentro del área de las terapias personalizadas y mínimamente invasivas, la terapia fotodinámica está ampliamente estudiada aunque poco implantada, y se pueden desarrollar fotosensibilizadores específicos para nuevas aplicaciones. Deberán desarrollarse también implantes de retina fotosensibles para el tratamiento de enfermedades específicas del ojo. Los métodos ópticos contribuirán significativamente a la terapia celular específica mínimamente invasiva. Para conseguir una cirugía endoscópica mejorada, in vivo y mínimamente invasiva se requerirán nuevas y robustas herramientas de microcirugía. La ingeniería y regeneración de tejidos y la confección de órganos con la ayuda de técnicas ópticas es otro de los grandes objetivos a cumplir, siendo las células madre con su potencial autorreparador uno de los mayores campos a explorar

En España deberá incrementarse el esfuerzo investigador en las actividades relacionadas con las ciencias de la vida y la salud, con una clara orientación a su aplicación en la sanidad y en las industrias farmacológicas. Para ello será obligatoria una cooperación entre la comunidad investigadora en física, química e ingeniería, y los que aplican dichas tecnologías (biólogos y médicos).

Se deben encontrar nuevos métodos para el diagnóstico celular, la histología y la patología. Estos métodos deberán conseguir una mayor resolución geométrica y espectral y tener una sensibilidad extrema al mismo tiempo. Los instrumentos deben poder trabajar in situ, sin retirar una muestra de tejido del organismo analizado. La Tomografía de Coherencia Óptica (OCT), la Microscopía (convencional o confocal), la Espectroscopía de Fluorescencia, las técnicas no lineales o el uso del THz son candidatos para la obtención de imágenes mejoradas. El desarrollo de biochips funcionalizados permitirá el análisis proteómico y genómico de compuestos específicos con alta incidencia en la aparición de enfermedades.

Las herramientas fotónicas para la manipulación de células y tejidos pueden ser fácilmente combinadas con herramientas específicas de diagnóstico. Estas herramientas se aplican para el aislamiento de células de un tejido, para el transporte de éstas y sus constituyentes, y para su microdisección.

En cuanto al diagnóstico en 3D de células y tejidos in vivo, se necesitan nuevos marcadores biocompatibles y específicos o nuevos métodos que no requieran marcadores. El primer campo de interés es el estudio dinámico del comportamiento de las células para conseguir entender el proceso de transformación de una célula normal en una célula de un tumor. El segundo paso será conseguir prevenir esta transformación. Esto requiere el estudio de células vivas en distintas dimensiones simultáneamente. Para ello será de gran importancia estudiar fuentes de luz y métodos con mejor penetración en los tejidos biológicos. Los métodos no lineales como el de dos fotones, Raman o CARS serán candidatos interesantes para el avance de las tecnologías en éste área.

Se deben conseguir métodos y procesos para incrementar la penetración óptica y para el control de procesos intracelulares e intercelulares. La selección y el posicionamiento automático con pinzas ópticas o instrumentación similar son ejemplos en esta área. El segundo aspecto importante es identificar claramente el tejido canceroso in situ como por ejemplo en un quirófano. Esto supone el desarrollo de aplicaciones en colaboración con los clínicos, mejorando la fiabilidad y disminuyendo los costes.

Por lo que respecta a la oftalmología, se requerirán instrumentos no invasivos que combinen diagnóstico y tratamiento. La tomografía de coherencia óptica se ha convertido en una herramienta interesante para el diagnóstico de la retina y la córnea. Aunque la tecnología ha ganado un mercado considerable en los últimos 5 años, se requiere aún más trabajo para mejorar la velocidad de adquisición y resolución de los instrumentos.

En el campo de los implantes de retina, Europa se ha ganado el papel de líder y España debería incrementar el ritmo de investigación en este campo para llegar a tener un peso relevante.

La I+D en biochips y biosensores debe centrarse en aumentar la eficiencia de los chips consiguiendo mayor capacidad, menor tamaño y lectura en paralelo. La preparación de las superficies del chip debe mejorarse

considerablemente. La estandarización y el manejo de datos es necesario para simplificar el trabajo interdisciplinar.

En el campo de las terapias mínimamente invasivas, la instrumentación endoscópica deberá ser desarrollada prestando especial atención a la resolución óptica y a la obtención de imágenes in vivo para la caracterización de tumores. La obtención guiada de imágenes in vivo en microcirugía para la navegación y manipulación permitirá realizar tratamientos de bajo coste, seguros y robustos.

Por todo lo resumido anteriormente, los dispositivos fotónicos seguirán contribuyendo significativamente a todos los aspectos de las ciencias de la vida y de la salud, dando lugar a técnicas y métodos más avanzados, eficientes, fiables, rápidos y robustos. Además, el empleo de técnicas ópticas y fotónicas puede representar un papel determinante en el mantenimiento e incluso en la reducción de los costes sanitarios, mejorando por igual la calidad de la sanidad y la calidad de vida.

WP4. ILUMINACIÓN Y DISPLAYS.

En España, la industria de iluminación ha establecido fuertes posiciones básicamente en el sector de desarrollo de luminarias y componentes, aunque existe un porcentaje de empresas dedicadas a la fabricación de fuentes de luz. En Europa, el mercado está muy orientado al uso y aplicaciones de LEDs debido al rápido crecimiento y distribución de equipos portátiles (cámaras digitales, teléfonos móviles, etc.). Se considera un crecimiento del 10-15% en los próximos 5 años. Para asegurar esta posición de liderazgo en iluminación general, ha de establecerse una iniciativa coordinada que integre la industria, las universidades y los centros de investigación. Esta acción coordinada es la que se pretende favorecer en España también.

Por otro lado, los displays electrónicos es una tecnología relativamente reciente y emergente. El reemplazo de los tubos de rayos catódicos (CRT) por pantallas planas (FPD, Flat Panel Displays) es el primer paso hacia los displays totalmente inmersivos que, acompañados de una electrónica flexible, crearán la denominada “inteligencia ambiental” que ayudará al usuario a utilizar esta tecnología en multitud de aplicaciones de forma intuitiva y amistosa con el medioambiente. Una solución visionaria para esta tecnología es el display electrónico de bajo coste, flexible y de gran tamaño integrado con controladores inteligentes.

La fabricación de displays en España es muy pequeña, sin embargo, los nuevos tipos de displays, el prototipado rápido y a pequeña escala y las tecnologías disruptivas de manufactura pueden contribuir a incrementar y dinamizar de nuevo esta industria. Para conducir estas proposiciones competitivas, España debe evolucionar en la parte científica, tecnológica y de mercado. Si no permanecemos activos, será difícil acceder a estos sectores durante más tiempo. La innovación y las aplicaciones de estas nuevas y flexibles tecnologías en España, en combinación con el prototipado rápido y las técnicas de fabricación de bajo coste ofrecen una oportunidad para vigorizar el tejido industrial y de investigación en displays.

Se han revisado y estudiado las necesidades sociales de aplicación y desarrollo de la iluminación y displays:

- ✓ Ahorro energético, recursos y sostenibilidad
- ✓ Bienestar humano y calidad de vida
- ✓ Educación, salud y ayudas visuales
- ✓ Seguridad e información

Esta revisión ha dado lugar a una lista de prioridades de investigación que se han dividido en tres etapas (corto, medio y largo plazo) y se han resumido en tres sectores de aplicación:

- ✓ Materiales: elementos básicos a investigar que sirvan como base para el desarrollo de dispositivos.
- ✓ Dispositivos: unidades de iluminación o display que han de ser integrados en sistemas más complejos y con muchas aplicaciones.
- ✓ Sistemas: compuestos de uno o varios dispositivos de igual o distinta naturaleza orientados a una aplicación final concreta.

Dentro de estos tres tipos de sectores, algunas investigaciones ya están lo suficientemente avanzadas como para poder ser aplicadas en la industria y otras están aún en fase de I+D, por lo que las prioridades identificadas dentro de estos plazos y sectores se subdividen en I+D o Industriales según sus posibilidades de comercialización. Esto permite tener en cuenta diferentes estadios en el desarrollo de ciertas aplicaciones.

Se han identificado 17 temas prioritarios y se han repartido en función del tiempo estimado para su desarrollo así como según su naturaleza según la tabla que se muestra a continuación.

Plazos	Sectores	I+D	Industrial
Corto (1 a 3 años)	Materiales	Materiales para OLEDs con elevada estabilidad química y mecánica, tiempo de vida, mayor eficiencia y calidad de luz y sustratos flexibles de bajo coste y gran área de procesado.	Materiales para aplicaciones LED: aumento de la eficiencia interna al 80%, sustratos y emisores alternativos, conversores de color.
		Vidrios electrocrómicos (domótica)	
	Dispositivos	Tecnologías de packaging: sustratos con mejor transmisión / gestión de calor, nuevas tecnologías de ingeniería (soldadura obleas, nano-estructurados).	
	Sistemas	Control de la emisión luminosa: diseño, componentes para la generación de patrones predefinidos, control espacial y temporal de la emisión o proyección luminosa:	Tecnologías de packaging: elementos ópticos integrados.
			Sistemas de control necesarios para emisores luminosos y sistemas de visualización de grandes dimensiones
Medio (4 a 7 años)	Materiales	Materiales para aplicaciones LED	
	Dispositivos		Nuevas técnicas de fabricación y procesado de materiales de grandes dimensiones.
			Displays color, OLEDs para iluminacion general.
	Sistemas	Investigación de los factores humanos que permitan mejorar la interactividad, percepción y diseño de novedosos dispositivos de visualización y fuentes luminosas. Inteligencia ambiental. Efectos novedosos en la visualización.	Integración de vidrios electrocrómicos para aplicaciones en edificios inteligentes (domótica).
		Tejidos fotónicos.	
Largo (8 a 10 años)	Materiales		
	Dispositivos		Integración de dispositivos emisores nano-estructurados (sistemas basados en puntos cuánticos).
	Sistemas	Integración monolítica de tecnología OLED.	Investigación de los factores humanos que permitan mejorar la interactividad, percepción y diseño de novedosos dispositivos de visualización y fuentes luminosas. Inteligencia ambiental. Efectos novedosos en la visualización.
			Iluminación para control vegetal (invernaderos).
			Tejidos fotónicos.

WP5. SEGURIDAD Y SENSORES.

El trabajo sobre seguridad y sensores se ha querido diferenciar explícitamente entre los aspectos de seguridad para defensa, la seguridad civil y la seguridad medioambiental. En el bien entendido, que la misma funcionalidad, tiene en la mayoría de los casos una triple aplicación en seguridad para defensa, en la seguridad civil y en la seguridad medioambiental. La diferencia entre ambas no esta en la funcionalidad propiamente dicha, sino en el mercado, la estructura de la cadena de valor del mismo, los niveles de seguridad, normativas y especificaciones que el producto debe de cumplir. Todo ello, nos configura la presencia de las compañías, empresas y entidades sin ánimo de lucro tanto públicas como privadas en los tres mercados en el estado español.

A continuación se describirá las principales funcionalidades sobre las que investigar para cada uno de los tres sectores mencionados anteriormente, para acabar citando las principales capacidades y tecnologías sobre las que centrar las investigaciones.

Seguridad para defensa

- Control perimetral
- Protección del entorno
- Protección de infraestructuras críticas
- Gestión de situaciones de crisis

Seguridad Civil

- Control de manifestaciones
- Seguridad Vial
- Seguridad alimentaria

Seguridad Medioambiental

- Control de Incendios
- Niveles de contaminación
- Detección de agentes contaminantes

Análisis de capacidades y tecnologías a impulsar.

Este apartado del documento, podría ser extensísimo, si tuviéramos que repasar y citar todas la capacidades y tecnologías a impulsar relacionadas con los sensores òpticos y fotonicos, pero este apartado de sensores se encuentra dentro del paquete de trabajo se seguridad y sensores, por ello, no vamos a citar todos aquellas capacidades y tecnologías que han dado como resultado nuevos sensores químicos, de vibración, de movimiento, multiespectrales, acústicos, redes de sensores autónomos, sensores para una aplicación especifica, etc…, que no estén relacionados con la seguridad, entendemos que estos sensores deben estar recogidos en los capítulos referentes a su principal aplicación, de modo que es este apartado nos hemos centrado en el análisis concreto de la capacidades y tecnologías a impulsar en seguridad. Estas son:

- Sensores de imágenes

Sensores de alta sensibilidad en el visible basados en: tecnologías CMOS para detectores de bajo ruido, Sensores infrarrojos no refrigerados, microtecnologías para fabricación de dispositivos de estado sólido, Detectores basados en plasmones
Extendiendo las longitudes de onda mediante sensores en el IR y Sensores UV.

- Tratamiento de imágenes, integración y fusión.

Existe una amplia gama flexible de sensores abarcando casi todo el espectro electromagnético (EM). De hecho, para cada tipo de información requerida existe una gama de frecuencias óptimas a usar, pudiendose considerar muchas veces complementarios los sensores para un cliente final. Por ello, la integración multisensorial y la fusión de datos con el fin de otorgar al cliente final una visión global con un único sistema lo más simple posible es uno de los campos de actividad más activos en este momento. A este respecto, los avances en microtecnologías para microsistemas de estado sólido (MEMs, MOEMs, etc) abren nuevos e interesantes campos para la óptoelectrónica y fotónica, de modo que la próxima generación de sensores serán lo más pequeños posibles con la máximas prestaciones. A este respecto, y a modo de ejemplo, podemos citar las siguientes características de los mismos:

-Multiespectral, para maximizar la discriminación.
-Híbridos con su microelectrónica de lectura y control en un único chip.
-Con software y procesado integrados para un procesado óptimo que resalte contrastes y contornos e incluso se adapten dinámicamente a diferentes usuarios.

- Terahercios y milimétricas.

La tecnología de THz (~300 GHz - 10 THz) y mmW (~1 GHz - 300 GHz) permite nuevas aplicaciones en el campo sensorial debido al hecho que es capaz de penetrar la mayoría de los dieléctricos no polares. A este hecho, se le añade la ventaja adicional de que su radiación es no ionizante, por lo que es “cuasi-inocua” al tejido biológico. Por lo tanto, se presenta como una tecnología idónea para detectar objetos escondidos de una manera menos dañina que los R-X, por ejemplo. Si se utilizan técnicas de espectroscopia resuelta en tiempo, la

tecnología de THz podrá dar información estructural de los materiales analizados. También, para sistemas activos, donde se combine con tecnología de pulso ultracorto (femto-segundos) se prevé la obteneción de imágenes 3D, con resolución espacial.

- Fuentes de excitación lumínica (láseres).

Los sistemas DIRCM (Directed Infrarred Countermesaures) para protección de aeronaves, tanto civiles como militares, contra misiles del tipo MANPAD se prevén de utilización corriente al horizonte 2010-2015.
Dentro de la protección NBQ, la detección de agentes CBRN, puede ser mejorada mediante tecnologías que utilicen láseres como LIF (Laser Induced Fluorescente), LIBS (Laser Breakdown Spectroscopy) y LIDAR (Light Detection and Ranging), siendo esta tecnología de aplicación inmediata para sensores activos de imágenes.
Sistemas activos de THz para imágenes y espectroscopia, como desarrollado anteriormente como caso particular de relevancia.
En las aplicaciones anteriormente descritas, cuando el uso directo de un láser de estado sólido no es viable, la optimización de la tecnología láser y de los diodos excitados óptimamente aparece como una alternativa tecnológica de riesgo optimizado. Asimismo, y para un largo plazo, la obtención de fuentes láser de femto-segundo puede ser una alternativa interesante a desarrollar.
En este punto, para una generalización de las fuentes láser los siguientes "hitos" tecnológicos deben solventarse: la densidad de potencia lumínica, la calidad del haz, la eficiencia energética, la sintonibilidad de longitud de onda, su estabilidad térmica y las Matrices de láseres (VCSELs).

WP6.COMPONENTES OPTICOS Y SISTEMAS.

El diseño y producción de componentes y sistemas sostienen la actividad fotónica en su totalidad. Los materiales ópticos y componentes fotónicos son la base para la construcción de sistemas de distintos niveles de complejidad. En la mayoría de los casos, realizan un papel clave y dictan el rendimiento de los sistemas, dándoles el valor añadido por prestaciones deseado, principalmente respecto a los diseños electrónicos similares.

Para alcanzar el éxito, los componentes y sistemas ópticos deben:

- Ser fiables y económicos
- Ser genéricos y adaptables
- Ofrecer mejores prestaciones
- Innovar y estar protegidos por los derechos de la propiedad intelectual.
- Estar alineados con las oportunidades de mercado.

Desde el punto de vista cronológico, se espera que en los próximos diez años existan avances en:

- Nuevos materiales
- Nuevos conceptos (fenómenología y dispositivos/sistemas)
- Silicon Photonics , que permitiría una revolución en cuanto a generalización y costes similar a la microelectrónica cuando implantó el Silicio como material de base.
- Fabricación y empaquetado

Para que esta visión comúnmente compartida en el entorno europeo tenga implantación en España, en el corto plazo (2-5 años) debe haber una capacitación nacional de base de tipo industrial, capaz de hacer realidad diseños y pruebas de concepto que en la actualidad se realizan a nivel académico (FOUNDRIES NACIONALES "LOGIC-PRODUCTION") y en ciertas PYMES "fab less". Concretamente, y dentro de este marco de capacitación industrial, se recomiendan implantar industrialmente las siguientes líneas:

- Fabricación y empaquetado de componentes y subsistemas (más baratos, dispositivos más densos, mayor miniaturización, más funcionalidad en menor volumen)

- Estrategias de producción y diseño para la obtención de sistemas híbridos electro-ópticos integrados como láseres miniaturizados o displays
- Materiales y componentes de gran fiabilidad para sistemas de gran potencia óptica
- Láseres semiconductores/estado sólido "uncooled", potentes, sintonizables y "reliable" para viabilidad industrial.
- Generación óptica de señales de ondas mmW/THz (>300GHz)
- "Silicon photonics" basado en tecnología CMOS compatible
- Miniaturización de equipos de grabación y proyección de imágenes
- Herramientas de simulación de componentes y subsistemas

Para el medio plazo (5-8 años), las líneas que deben tener implantación industrial son:

- Materiales que posibiliten la realización de nuevas funciones (meta-materiales).
- Organización controlada de estructuras como cristales fotónicos, low dimensional structures,….
- Ensamblado automático controlado de dispositivos fotónicos híbridos
- Fotónica de campo cercano (para memorias de datos y técnicas de medida)
- Nuevos materiales y estructuras (sintonizables) para la generación y manipulación de longitudes de onda en el IR lejano y en los rangos DUV/XUV (no necesariamente basados en las interacciones no lineales)
- Láseres cuánticos en cascada operando en RT (room temperature) utilizados como fuentes de THz.
- Materiales, dispositivos y aplicaciones de interacciones coherentes luz-materia.
- Aplicaciones y dispositivos de "slow wave"

Y finalmente para un escenario de más de 8 años, se esperan implantaciones industriales con mercado en:

- Nuevos conceptos que permitan la reducción drástica de tamaño, huella y consumo de potencia y el aumento de la funcionalidad de los componentes y sistemas.
- Desarrollo de nuevos materiales de mayor funcionalidad con propiedades controladas por software.
- Desarrollo de estructuras de componentes con propiedades controladas por software.

WP7.INVESTIGACIÓN DE FRONTERA, FORMACIÓN E INFRAESTRUCTURAS

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, 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.

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 Master), 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, master, 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 master 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 de recursos humanos y educativa 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 másters 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

10. ANEXO 1

Asistentes al I Workshop de Fotonica celebrado en CEIT (San Sebastián) los días 1 y 2 de abril del 2009

NOMBRE ASISTENTE	ENTIDAD	GRUPO TRABAJO
Santiago Simón	AIDO	5
Teresa Molina	AIDO	4
Jose Antonio Ramos	AIDO	2
Amparo Barreda	AIDO	3
Juan Pedro Fernández-Palacios	TELEFÓNICA I+D	1
Enrique Méndez	MONOCROM	2
Jordi Figueras	IDEKO S.COOP	2
Luz Pérez	GREENLIGHT SOLUTIONS	4
Ana Manzanares	GREENLIGHT SOLUTIONS	4
Josep Arasa	SNELL OPTICS	4
Patricia Blanco	SNELL OPTICS	1
Carles Pizarro	SNELL OPTICS	5
Ferrán Laguarta	CD6	2
Santiago Royo	SNELL OPTICS	5
Jaume Castella	CD6	6
Jorge J. Sánchez	DAS PHOTONICS	5
Silvia Carrasco	ICFO	7
Enrique Castaño Carmona	CEIT	5
Santiago M Olaizola	CEIT	7
Noemí Pérez Hernández	CEIT	2
Álvaro Jorge Peñas	CEIT	3
Ainara Rodriguez González	CEIT	2
Francisco Gutierrez Macias	ALTER Technology Group Spain	6
Francesc Diaz	University Rovira i Virgili (URV).	6
Pablo Romero	AIMEN	2
Francisco Miguel Martínez Verdú	Grupo de Visión y Color-UNIVERSIDAD ALICANTE	4
Armando Yáñez Casal	U. CORUÑA	2
José Fernando Liébana	ROBOTIKER	2
Guillermo Orellana	U. COMP. DE MADRID	7
Paco López	ARAGÓN FOTONICS	1
Pilar Blasco	ARAGÓN FOTONICS	1
Xavier Quintana	Grupo de Tecnología Fotónica de E II - U.P.M	4
Eva Rodríguez	TEKNIKER	2
Deitze Otaduy	TEKNIKER	2
Iban Quintana	TEKNIKER	2
Laura Rodríguez Álvarez	GENERAL DYNAMICS SANTA BÁRBARA SISTEMAS	5
Fidel Zapiráin	LORTEK	2
Ramon Casellas	CTTC	1
Pedro A. Martínez Cordero	ADTELECOM	5
Carmen Vázquez García	U. Carlos III Madrid	1
Paco López Royo	NTC	6
Carlos Domínguez	IMB-CNM, CSIC	4
Andreu Llobera	IMB-CNM, CSIC	5
Kiirll Zinoviev	IMB-CNM, CSIC	6

Daniel Navarro Urrios	MIND-IN2UB, D. Electrònica, U. BARCELONA	6
Ramón Sans	EASY LASER	2
Fidel Zubiri	LORTEK	2
Pedro Sanz Justes	SAT TECNOLOGÍA	2
Daniel Torrens Ancizu	ROFIN BAASEL ESPAÑA, S.L.	2
Francisco Rodríguez Lorenzo	LOMG	2
Antón Garcia Diaz	LOMG	5
Miguel Angel Fernández López	LOMG	6
Xabier Bazan	tekniker	2
Adolfo Cobo García	U CANTABRIA - Grupo de Ingeniería Fotónica	2
Pablo Aitor Postigo Resa	Instituto de Microelectronica de Madrid, IMM-CNM-CSIC	7
Javier Martí	NTC	1
Ana Fernandez	TECNOBIT	5
Javier Gallego Alvarez	RAL	5
Francesc Alzina Sureda	Institut Català de Nanotecnologia (ICN)	6
José Luis Arce Diego	Grupo de Técnias Ópticas Aplicadas UNIVERSIDAD CANTABRIA	7
Félix Fanjul Vélez	Grupo de Técnias Ópticas Aplicadas UNIVERSIDAD CANTABRIA	3
Stefano Chiussi	U VIGO: Nuevos Materiales	7
Tito R. Vargas H.	iTEAM - UPV	1
Miguel Holgado Bolaños	UPM	2
Olga M. Conde Portilla	UNIVERSIDAD CANTABRIA	3
Francisco J. Madruga	UNIVERSIDAD CANTABRIA	5
Francisco Cuesta	DAS PHOTONICS	5
Carlos Enrique Zaldo	INSTITUTO DE CIENCIA DE MATERIALES DE MADRID	7

11. ANEXO 2

Miembros de FOTONICA21

NOMBRE ENTIDAD	DEPARTAMENTO	ACRÓNIMO
ADTELECOM S.L	Comunicaciones Ópticas	ADTELECOM
ALTER Technology Group Spain	Innovación	ATGS
Aragón Photonics Labs SLU	Área I+D	APL
Asociación Industrial de Óptica, Color e Imagen	Área de I+D+I	AIDO
Biótica. Bioquímica Analítica, S.L.	I+D+i	BIOTICA
CDTI	Programas I+D de la UE	CDTI
CEIT	Unidad de Microsistemas	CEIT
Celestica Valencia	Engineering & Design Services	Celestica
Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya	Redes Ópticas	CTTC
Centro de Investigación Tecnológica	Laboratorio de Aplicaciones Industriales del Láser	CIT
Centro de Tecnología Nanofotónica de Valencia	Innovación	NTC
Centro de Tecnología Nanofotónica de Valencia	Área de desarrollo web	NTC
Centro de Tecnologías Electroquímicas	Nuevos Materiales	CIDETEC
Centro Láser UPM	Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica	CLUPM
Centro Tecnológico AIMEN	Centro Aplicaciones Láser	AIMEN
COMMUNIQUE, Traducción e Interpretación S.L.	Dirección	COMMUNIQUE
Consejo Superior de Investigaciones Cientificas	Instituto de Óptica	CSIC
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Centro de investigación en nanociencia y nanotecnología (CIN2)	CSIC
DAS Photonics	Dirección	DAS
Depuración de Aguas del Mediterraneo	Tratamiento de aguas	DAM
Detnov Security S.L.	I+D	DETNOV
EASY LASER S.L.	I+D	EL
ELCAN Optical Technologies-Raytheon Microelectronics España, S.A.	Ventas/Marketing	ELCAN
Fibercom SL	Técnico	Fibercom
FIBERNET	Fotónica I+D	FIBERNET
Free-Space Optical Communications Group	Signal Theory and Communications	UPC-FSOC
Fundación Cartif	Automatización y control de procesos	Cartif
FUNDACION LA FE	FUNDACION	FUNDAFE
Fundación Tekniker	Mecatrónica e Ingeniería de Precisión	TEKNIKER
GD Santa Bárbara Sistemas	Calidad	GDSBS

Greenlight Solutions	Ingeniería Óptica	GREENLIGHT
Grupo "Nuevos Materiales" Universidad de Vigo	Física Aplicada	FA3-UVigo
Grupo de Ingeniería Fotónica. Universidad de Cantabria	Grupo de Ingeniería Fotónica. Departamento TEISA	GIF-UC
Grupo de Óptica Aplicada y Procesado de Imágenes	Óptica y Optometría - UPC	GOAPI
Grupo Interdisciplinar de Computación Óptica	Óptica, Facultad de Ciencias Físicas	GICO UCM
HI-IBERIA INGENIERIA Y PROYECTOS SL	I+D	HIB
ICFO	ICFO	ICFO
Indra Sistemas S.A.	Sensores Electroópticos	INDRA
Inspecta, SL	Direcció Executiva	Inspecta
Institut Català de Nanotecnologia	Phononic and Photonic Nanostructures Group	ICN
Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (CSIC-Univ. Zaragoza)	Laboratorio de Procesado por Láser	ICMA
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid. CSIC	Grupo Laser. Materiales Ferroeléctricos	ICMM-CSIC
Instituto de Física Aplicada	Metrología	CSIC
Instituto de Física de Cantabria	Estructura de la materia	CSIC-UC
Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM) CSIC	Micro y Nanositemas	IMB-CNM CS
Instituto de Microelectrónica de Madrid	Dispositivos, sensonres y biosensores	CSIC
Instituto de Microelectrónica de Madrid- CSIC	Fabricación y Caracterización de Nanoestructuras (MagnetoPlasmonics)	IMM-CSIC
Instituto de Optica "Daza de Valdes", Consejo Superior de Investigacio	Instituto de Optica	IO-CSIC
Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia	Grupo de Comunicaciones óptica y cuanticas	ITEAM
Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen	Láser	AIDO
LABORATORIO OFICIAL DE METROLOGÍA DE GALICIA	I+D	LOMG
Light Prescriptions Innovators-Europe S.L.	I+D+i	LPI-Europe
LORTEK	Láser	LORTEK
LORTEK. Centro de Investigación en Tecnologías de Unión.	LÁSER Y RAPID MANUFACTURING	LORTEK
Mastermedia, Centro de Estudios de Tecnología Audiovisual	Dirección	Mastermedia
MICOS IBERIA SL	Dirección	MICOS IBERIA
Micropap Easy Motion SCP	I+D	MicroPaP
MINISTERIO DE INDUSTRIA	DG DESARROLLO DE LA SI	MITYC
Monocrom SL	I+D	Monocrom
Next Limit Technologies	Departamento I+D	Next Limit Technologies
Radiant Light, S.L.	Dirección	Radiantis

RAL TECNICA PARA EL LABORATORIO, S.A.	I+D+i	RAL, S.A.
Robotiker - Tecnalia	Telecom	ROBOTIKER
ROFIN-BAASEL ESPAÑA, S.L.	I+D	RBE
SAT TECNOLOGÍA	Tecnología	SAT
Sensofar Tech, S.L.	Dirección	Sensofar
Servicevision Bis, S.L.	Ingeniería óptica	SVB
Simulacions Optiques S.L.	Comercial	SIOP
Sociedad Española de Óptica	Presidencia	SEDOPTICA
Talleres Mecánicos Comas SLU	Láser	TMC
TECNOBIT S.L.	Ingeniería / I*D+I	TECNOBIT
Telefónica I+D	Transmisión Radio	Telefónica
TELNET Redes Inteligentes	Innovación y Desarrollo	TELNET Red
Universidad Autónoma de Barcelona	Grupo de Óptica	UAB
Universidad Autónoma de Madrid	MoLE group, Depto. Fisica de la Materia Condensada	U.A.M.
Universidad Carlos III Madrid	Tecnología Electrónica	UC3M
Universidad Complutense de Madrid	Grupo Complutense de Óptica Aplicada/Applied Optics Complutense Group	UCM/AOCG
Universidad Complutense de Madrid	Grupo de Sensores Optoquímicos-Laboratorio de Fotoquímica Aplicada	UCM
Universidad de Alcalá	Electrónica	UAH
Universidad de Alicante	Óptica, Farmacología y Anatomía	UA
Universidad de Barcelona	Física Aplicada y Óptica	UB
UNIVERSIDAD DE BARCELONA	ELECTRÓNICA	UB
Universidad de Cantabria	Física Aplicada-Óptica	UC
Universidad de Cantabria	Grupo de Técnicas Ópticas Aplicadas (TEISA)	UC
Universidad de Cantabria	Grupo de Ingeniería Fotónica - Dpto TEISA	UNICAN
Universidad de Málaga	Ingeniería de Comunicaciones	UMA
Universidad de Salamanca	Servicio Láser	USAL
Universidad de Santiago de Compostela	Física Aplicada	USC
Universidad de Valencia	Física Aplicada	UV
Universidad de Zaragoza	Grupo de Tecnologías Fotónicas	UNIZAR
Universidad del País Vasco	Electrónica y Telecomunicaciones	Universida
Universidad Politécnica de Madrid	Centro Láser	CLUPM
Universidad Politécnica de Madrid	Grupo de Ingeniería Óptica	UPM
Universidad Politécnica de Madrid	Tecnología Fotónica	UPM
Universidad Politécnica de Valencia	Grupo Señal y medida en Química (SYM): Instituto de Química Molecular	UPV
Universidad Publica de Navarra	Grupo de Comunicaciones ópticas. Dpto. Ing. Electrica y Electrónica	UPNA
Universidad Rovira y Virgili	Física y Cristalografía de Materiales	URV
Universidad Rovira y Virgili	Ingeniería electrónica	URV

Universidade de Vigo	Fisica Aplicada. Area de Optica	Uvigo
Universitat Politecnica de Catalunya	Teoría de la Señal y Comunicaciones	UPC
Universitat Politecnica de Catalunya	Grupo de Dinámica No Lineal, Optica No Lineal y Láseres	UPC
Universitat Politècnica de Catalunya	Centre de Desenvolupament de Sensors, Instrumentació i Sistemes	CD6
VISIOMETRICS S.L.	I+D	VISIOMETRICS S.L.