



ÓPTICA Y FOTÓNICA: CONTEXTO IBEROAMERICANO

MARÍA LUISA CALVO, ÁNGELA GUZMÁN Y LLUIS TORNER

Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas,
Universidad Complutense de Madrid/Profesora Emérita de la Universidad
Nacional de Colombia/ICFO-Instituto de Ciencias Fotónicas,
Universidad Politécnica de Cataluña, Parque Mediterráneo de la Tecnología

LA ÓPTICA ES LA DISCIPLINA CIENTÍFICA DEDICADA A LA GENERACIÓN, TRANSMISIÓN, detección, control y manipulación de luz. Como es bien conocido, de acuerdo con la formulación de la Física Cuántica a principios del siglo XX, en su nivel más elemental la luz está compuesta por entidades elementales llamadas fotones. La actividad educativa y de investigación en Óptica en varios países Iberoamericanos es intensa y de relevancia internacional. Esta actividad está fraccionada y necesita un apoyo decidido de las entidades responsables, así como una atención prioritaria de las instituciones y empresas privadas que pueden beneficiarse del extraordinario potencial de las tecnologías que nos ocupan. En este artículo presentamos una visión breve de la temática. Discutimos el contexto educativo a escala global, así como la contribución de las sociedades profesionales y organismos internacionales de la temática en el mundo, con especial énfasis en el contexto iberoamericano. Finalmente, presentamos una discusión breve de los programas de cooperación existentes entre los países iberoamericanos.

MARÍA LUISA CALVO PADILLA ES DOCTORA EN CIENCIAS POR LA UNIVERSIDAD DE Paris VI (Francia, 1971) y doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid (UCM, España, 1977). Desde 1999 es catedrática de óptica por la UCM. Actualmente es Directora del Departamento de Óptica de UCM. Dirige el Grupo Interdisciplinar de Computación Óptica (GICO-UCM). Desarrolla investigación científica en nuevos materiales holográficos vidrios fotopolímeros, procesado óptico y digital de la información, almacenamiento holográfico de datos y óptica electromagnética. Autora de más de 120 artículos científicos, participa como conferenciante invitada en centros de investigación en el mundo. Coautora de libros de texto sobre óptica avanzada. Desde 2002 es Secretaria General de la Comisión Internacional de Óptica (ICO), organismo asociado al International Council of Science (ICSU) y representa los intereses de la óptica y la fotónica a nivel internacional. ICO tiene actualmente 50 comités territoriales distribuidos en todo el mundo.

ÁNGELA M. GUZMÁN ES FÍSICO, M.Sc. Y PROFESORA Emérita de la Universidad Nacional de Colombia. Realizó su doctorado en el Instituto Max Planck de Optica Cuántica y se doctoró en la Universidad Ludwig Maximilian, Munich (1984). Ha sido distinguida con el Premio "Academia de Ciencias del Tercer Mundo" en Colombia (1988) y el Premio "Sarwar Razmi 1992-1993" del Centro Internacional de Física Teórica (ICTP) en Trieste, Italia. Presidió el Consejo Internacional de la Sociedad Americana de Óptica (OSA) y sirvió como Miembro de su Mesa Directiva en el periodo 2003-2004. Recientemente se vinculó al Departamento de Física de Florida Atlantic University y en septiembre recibirá la distinción de OSA Fellow por sus contribuciones a la óptica cuántica y atómica, y a la promoción de la óptica en países en desarrollo. Actualmente y hasta el 2008 es Vicepresidente de la Comisión Internacional de Óptica (ICO).

LLUIS TORNER ES LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICAS por la Universidad Autónoma de Barcelona y Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña. Actualmente, Catedrático de la Universidad Politécnica de Cataluña, y Director fundador del ICFO-Instituto de Ciencias Fotónicas. Investigador post-doctoral en varias Universidades y centros de investigación de Estados Unidos. Investigaciones de su grupo han sido seleccionadas para *Optics in the Year* en los años 1995, 1997, 1999, 2001, 2002, 2003 y 2006. Elegido Fellow de la Optical Society of America en el año 2000.

ÓPTICA Y FOTÓNICA: CONTEXTO IBEROAMERICANO

MARÍA LUISA CALVO, ÁNGELA GUZMÁN Y LLUIS TORNER

Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas,
Universidad Complutense de Madrid/Profesora Emérita de la Universidad
Nacional de Colombia/ICFO-Instituto de Ciencias Fotónicas,
Universidad Politécnica de Cataluña, Parque Mediterráneo de la Tecnología

1. INTRODUCCIÓN

LA ÓPTICA ES LA DISCIPLINA CIENTÍFICA DEDICADA A la generación, transmisión, detección, control y manipulación de luz. Como es bien conocido, de acuerdo con la formulación de la Física Cuántica a principios del siglo XX, en su nivel más elemental la luz está compuesta por entidades elementales llamadas fotones. Durante los últimos años, en algunos círculos científicos e industriales se ha popularizado el uso del término *fonónica* para describir a veces las partes más aplicadas, a veces toda la disciplina. Aquí vamos a usar indistintamente los dos términos ya sea juntos o separados, para referirnos siempre al conjunto de la temática en su sentido más amplio posible: La ciencia y la tecnología de la luz, y sus aplicaciones industriales.

La actividad educativa y de investigación en óptica y fonónica en varios países Iberoamericanos es intensa y de relevancia internacional. Esta actividad con frecuencia está fraccionada y necesita un apoyo decidido de las entidades públicas responsables, así como una atención prioritaria de las instituciones y empresas privadas que pueden beneficiarse del extraordinario potencial de las tecnologías que nos ocupan. Así pues, hemos aceptado con placer la invitación de la Consejería de Educación de la Embajada de España en México de contribuir un breve artículo al respecto en la publicación *“Transatlántica de Educación”*.

En los capítulos 2 y 3 presentamos una visión breve de la importancia de la fonónica como ciencia y tecnología fundamental para el currículo de los estudiantes de ciencias físicas y de diversas ingenierías. Esta importancia viene

motivada por el carácter transversal de las aplicaciones de las tecnologías ópticas a una gran variedad de sectores industriales actuales, así como al fenomenal potencial de crecimiento en el futuro. En el capítulo 4 revisaremos brevemente el contexto educativo a escala global. En el capítulo 5 discutiremos brevemente la contribución de las sociedades profesionales y organismos internacionales a la educación e investigación de la temática en el mundo entero, con especial énfasis en el contexto iberoamericano. Finalmente, en el capítulo 6 presentaremos una discusión muy breve de los programas de cooperación existentes entre los países iberoamericanos.

2. LUZ: HERRAMIENTA TRANSVERSAL

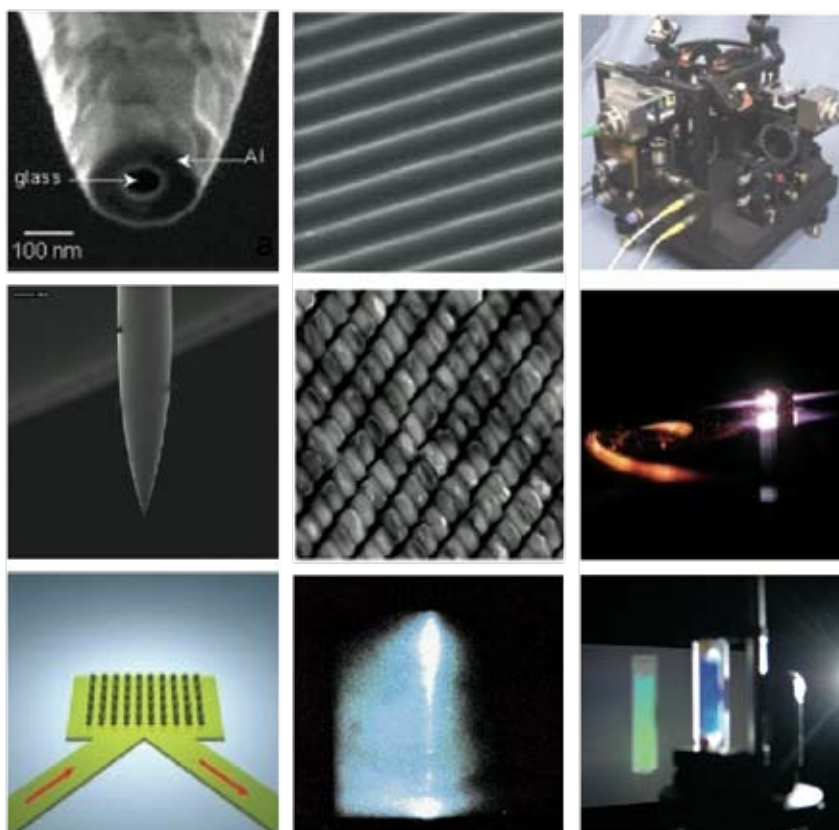
Todas las agencias internacionales coinciden en identificar la fonónica como una de las **tecnologías horizontales clave en el siglo XXI**, y como pilar de los avances científicos y tecnológicos en una gran variedad de áreas de conocimiento, incluyendo las tecnologías de la información y las comunicaciones, las nanotecnologías, las tecnologías energéticas y de medio ambiente, la detección remota, la seguridad, las biotecnologías, ciencias de la vida, y biomedicina, etc. El impacto de las tecnologías fonónicas en el sector industrial es **transversal**:

En **telecomunicaciones y tecnologías de la información**, la fonónica posibilita la transmisión y almacenaje de información a grandes velocidades, a través de enlaces de comunicaciones de ultra-alta capacidad entre continentes, y los sistemas ópticos de almacenamiento de la información. En particular, la transmisión por fibra óptica es la que ha hecho posible el desarrollo de Internet y la herramienta clave para el nacimiento de la Sociedad de la Información.

En **medicina** las aplicaciones de la fonónica son numerosísimas, y crecientes en el tiempo. La fonónica está en la base de técnicas tan importantes de diagnóstico no invasivo, por ejemplo basado en termografía y en técnicas de diagnóstico colorimétrica; constituye en sí misma la base de tratamientos fotodinámicos; y ha hecho posible la utilización del **láser** como instrumento de **microcirugía** ultraprecisa, y como consecuencia, al alcance de la mayoría de los hospitales y centros de salud del mundo.

FIGURA 1.1.

LAS APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS TECNOLOGÍAS FOTÓNICAS SON TRANSVERSALES; ABARCAN UNA VARIEDAD CRECIENTE DE SECTORES INDUSTRIALES, INCLUYENDO LAS TELECOMUNICACIONES, LA DETECCIÓN REMOTA, LAS NANOTECNOLOGÍAS, LAS CIENCIAS DE LA SALUD Y DE LA VIDA, LA SEGURIDAD EN LOS PRODUCTOS DE ALIMENTACIÓN, ENERGÍAS RENOVABLES, CONSUMO, ETC. IMÁGENES CEDIDAS POR EL ICFO-INSTITUTO DE CIENCIAS FOTÓNICAS (BARCELONA, ESPAÑA)



En **biotecnología**, la fotónica ha posibilitado el avance de la **genómica**, a través de sistemas de lectura y descodificación del ADN, y tiene enormes posibilidades de aplicación para la detección de reacciones químicas a escala molecular mediante femto-biología y femto-química. Una de las más prometedoras tecnologías fotónicas puede permitir visualizar procesos bioquímicos celulares de manera no invasiva.

La capacidad de la fotónica para detectar de manera no destructiva está en la base de la **teledetección**, fundamentada en una amplia gama de radares ópticos instalados en sensores de temperatura, presión, humedad, y otros parámetros químicos. Estas posibilidades abren nuevas puertas a la gestión **medioambiental** y a la agricultura. En la misma línea, los dispositivos fotónicos ofrecen prestaciones inigualables en todo tipo de sensores, que son especialmente indicados para entornos hostiles.

Existen también numerosas aplicaciones de la fotónica en **equipos de consumo**, tales como los lectores de CD y lectores de códigos de barras, los aparatos de vigilancia, etc. Asimismo, la fotónica está presente en innumerables **procesos industriales**, desde la inspección y control de calidad hasta las aplicaciones de corte láser especializado, ópticas de precisión para automoción o iluminación, equipos de soldadura y marcaje láser, sistemas láser de perforación de materiales blandos de alta precisión, etcétera.

3. LUZ: HERRAMIENTA DE FRONTERA

Con igual o mayor importancia que el carácter transversal de la fotónica aparece el hecho de actualmente la luz láser se ha transformado en una de las herramientas claves para los investigadores que avanzan varios de los límites de la ciencia moderna. Efectivamente, las ciencias y tecnologías de la luz son herramientas imprescindibles para avanzar en las fronteras límite del conocimiento en que la Humanidad tiene exploradores.

Se trata de investigadores que, para ir avanzando, inventan y perfeccionan herramientas revolucionarias: las pinzas más delicadas que se conocen, que se utilizan para atrapar desde partes de células vivas a átomos individuales; la materia más fría que jamás ha existido en el Universo, que forma los fascinantes condensados de Bose-Einstein; los pulsos mas intensos de energía ca-

paces de generar fusión nuclear; los pulsos de luz más breves que los humanos somos capaces de generar, en la escala de los atto-segundos en la que los electrones sufren transiciones atómicas; las imágenes más nítidas de procesos biológicos *in vivo*; los relojes atómicos más precisos, necesarios para sistemas de sincronización de satélites, tales como los que se utilizan en el Global Positioning System; las balanzas más sensibles, capaces de pesar virus individuales; los experimentos científicos más delicados en distintas ramas de la ciencia; las comunicaciones más potentes, con capacidades prácticamente ilimitadas; los códigos criptográficos más secretos, protegidos por las leyes de la física cuántica etcétera.

Así pues, las tecnologías ópticas y fotónicas son esenciales en los laboratorios científicos más avanzados del mundo. Así como en la mayoría de equipos de precisión científica, tecnológica e industrial utilizados en las diversas ramas de las nanotecnologías, los microsistemas, las terapias no invasivas, los biochips, etc. Se hace pues evidente que un país que desee participar en la generación o en el aprovechamiento de los avances científicos y tecnológicos en toda la amplia área de sectores mencionado necesita un sólido sistema educativo donde las tecnologías de la luz estén bien representadas en distintos currículos de ciencias y de ingenierías, a varios niveles, desde los elementales a los más avanzados.

LOS CONTEXTOS CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO Y EDUCATIVO EN GENERAL: EL CASO DE LA ÓPTICA Y LA FOTÓNICA

Desde los primeros estudios estadísticos realizados en el pasado s. XX por instituciones de prestigio como la Fundación para la Ciencia en los Estados Unidos de América (National Science Foundation, NSF), ha quedado bien establecida la importancia que en el campo de la formación científica y académica tienen la óptica y la fotónica. Esta presencia primordial se debe de intensificar en el s. XXI. La ciencia de la óptica es una parte integral del amplio espectro de disciplinas científicas que se abordan en la formación de futuros físicos, ingenieros y técnicos de muy diversas áreas que incluyen también estudios de carácter interdisciplinario en el área de la salud, biofotónica, y en otras áreas de creciente interés como las ciencias medioambientales. Ello proporciona una posibilidad de currículo profesional altamente interdisciplinario con el reto que

ello supone cuando se busca una especialización de calidad y que pueda ser aceptada de forma inmediata en el mercado de trabajo.

Una idea de la alta velocidad de desarrollo de la óptica y la fotónica se obtiene del dato proporcionado por Optoelectronics Industry Development Association (OIDA) que predice que el mercado de la optoelectrónica crecerá 10% anual de forma que para el año 2013 el volumen de negocio se aproximará a 500.000 millones de dólares USA.

Para tener una visión de conjunto del contexto educativo en el que se desarrollan las enseñanzas de la óptica y la fotónica se estudia su implantación en las universidades y centros de formación de países que pueden considerarse como líderes actuales de estas áreas. Para ello se pueden estimar datos asociados a las variaciones anuales en los índices de la producción científica y tecnológica.

Existe, además, una variedad de opciones en la formación de futuros tecnólogos debido a las distintas tradiciones en regiones geográficas diversas y que han influido en el posterior desarrollo, oferta y demanda de estas enseñanzas. También, hay una conexión directa entre el creciente desarrollo de tecnologías ópticas y fotónicas, su inclusión en la vida diaria en una sociedad avanzada y la necesidad de formar profesionales capaces de abordar nuevas soluciones técnicas en un mundo fuertemente competitivo.

Con estas coordenadas de partida se hace necesario definir ciertas áreas geográficas a partir de las cuales se pueden deducir unas conclusiones específicas sobre el contexto en estudio. Para entender la enorme diversidad que implica este análisis podemos poner el ejemplo del acceso a Internet en el mundo actual. En los países del este asiático más 70% de los usuarios está comprendido entre los 21 y los 35 años, un rango de edad que corresponde a etapas de formación y de orientación profesional. Es fácil entender que la globalización no conduce directamente a una homogenización de recursos educativos ya que estos interfieren con unas imperativas necesidades individuales que aseguren una calidad de vida razonable. En opinión del economista americano Paul Krugmann, la globalización está ligada al mantenimiento de la desigualdad económica, afectando en especial a los países en vías de desarrollo. Un indicador que puede ayudar a obtener una visión del grado de desarrollo es el llamado índice Gross Domestic Product (GDP), que revela la relación entre la región geográfica y el desarrollo económico. La figura 4.1 muestra el mapa mundial con los indicadores GDP [Gallup et al., 1999]. De esta forma podremos extraer datos comparativos en: a) Europa, Asia-Pacífico, América del Norte (continente americano), Norte de África, como sur del continente americano y b) África sub-Sahariana, Asia Central y parte de la región del Caribe del continente americano. Denotaremos que esta subdivisión permite establecer una primera aproximación del desarrollo y oferta de programas de formación tecnológica en óptica y fotónica en el mundo, donde un porcentaje, que puede llegar a 90%, se encontraría localizado en las zonas mencionadas en a). Para apoyar esta tesis se muestran datos adicionales en las figuras 4.2-4.3 obtenidos de organizaciones internacionales como la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y OPERA 2015.

En la figura 4.2a se muestra una estadística publicada por la OCDE con datos de la evolución en el número de investigadores científicos en países de la OCDE desde 1993 hasta 1999.

FIGURA 4.1.

MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA SEGÚN EL ÍNDICE GDP QUE RELACIONA LA REGIÓN GEOGRÁFICA Y EL DESARROLLO ECONÓMICO. LAS ZONAS MENOS COLOREADAS CORRESPONDEN A AQUELLAS QUE DISPONEN DE MENOS RECURSOS Y TIENEN UNA MENOR DENSIDAD DE POBLACIÓN [FUENTE: GALLUP ET AL., 1999]

GDP Índice

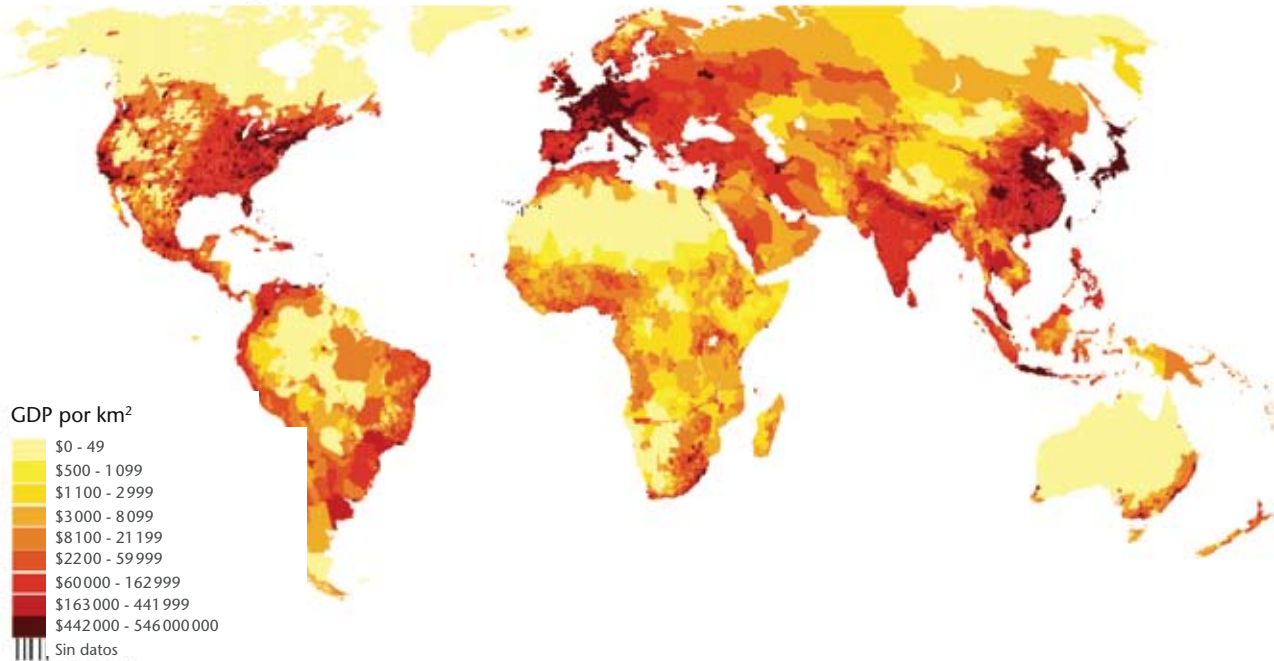


FIGURA 4.2.

ESTADÍSTICAS PROPORCIONADAS POR LA OCDE CON DATOS SOBRE EL VOLUMEN DE FUERZA LABORAL GLOBAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA (PERIODO 1993-1999). A) EVOLUCIÓN DE LA FUERZA LABORAL GLOBAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN PAÍSES DE LA OCDE. B) DISTRIBUCIÓN GLOBAL DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR (FUENTE: ROBERT BARRO Y JONG-WHA LEE, SCIENCE AND ENGINEERING INDICATORS, 2006)

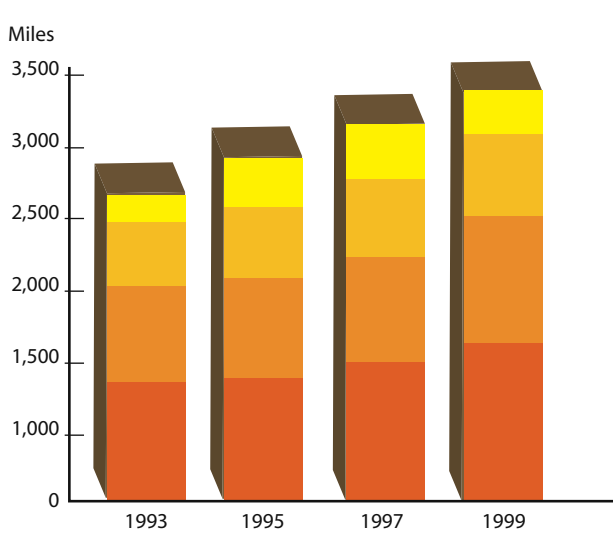


Figura A

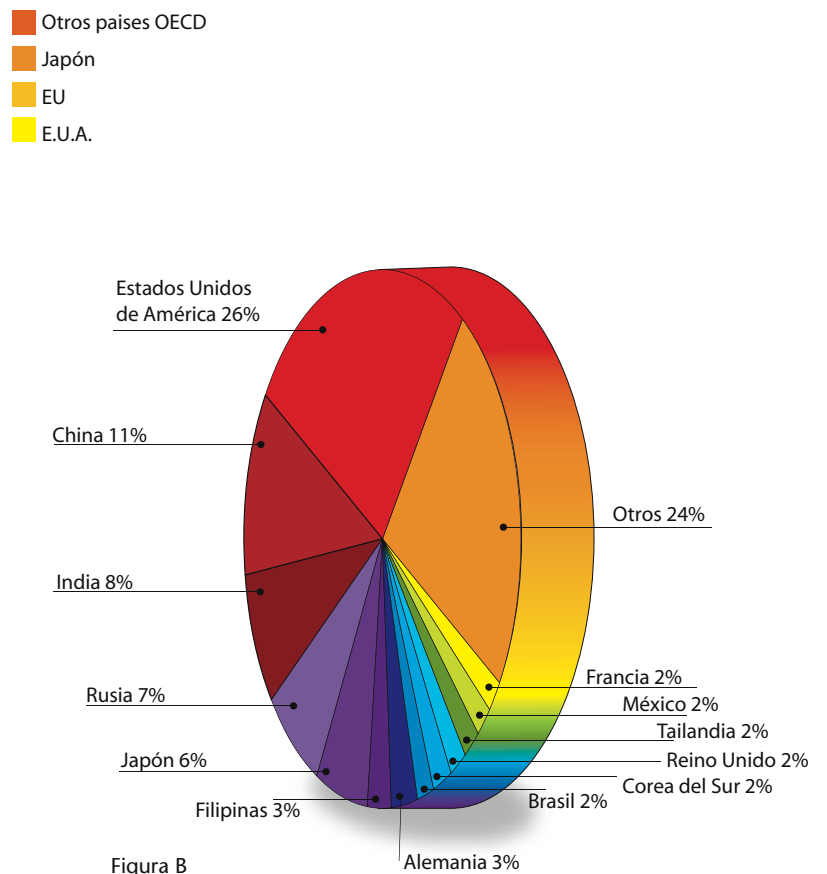


Figura B

Se observa una evolución sostenida en el número de investigadores en los que se considera igualmente a ingenieros en ramas científicas. Los países de la OCDE que no corresponden a Japón, Unión Europea (25 países) y Estados Unidos presentan un crecimiento mayor en este periodo. Estos datos proporcionan una medida directa de la fuerza laboral global existente en ciencia y tecnología. Desde 1993 a 1999 el número total de investigadores (incluyendo todas las especialidades de ciencia, tecnología e investigación biomédica) creció 33,9% (un aumento medio anual de 5%), pasando de aproximadamente 2,46 millones en 1993 a 3,03 millones en 1999. Dentro de este mismo periodo el aumento medio anual en los Estados Unidos de América fue de 4,6%. Si bien la suma de los investigadores de los Estados Unidos de América, Japón y la Unión Europea corresponden aproximadamente a 85,7%, para el año 1999 el mayor índice de crecimiento corresponde a otros países de la OCDE, con 120% de crecimiento, pasando de 196 000 en 1993 a 433 000 de trabajadores en ciencia y tecnología en 1999. Ciertamente en los países que no pertenecen a la OCDE también se ha estimado el porcentaje de trabajadores con un nivel correspondiente a estudios superiores. La figura 4.2b proporciona una estadística de estos datos. Se muestra la distribución global de educación superior (individuos que tenían al menos un grado de diploma o similar) en el año 2000. Alrededor de un cuarto de los graduados como fuerza laboral están ubicados en los Estados Unidos de América. Sin embargo, los siguientes tres países con mayor número de graduados son China, India y Rusia, ninguno de los cuales pertenece a la OCDE.

Un aspecto que debe de ser comentado es que si bien existen países donde un alto número de la población tiene acceso a la educación superior, ello no parece estar siempre en relación directa con la oferta tecnológica, y por ello con el porcentaje del grado de especialización en tecnologías emergentes como la óptica y la fotónica. En un estudio de la evolución anual (desde 1990 a 2003) del porcentaje de empresas dedicadas a desarrollo tecnológico en las cuatro regiones con mayor impacto en el mundo se observa el liderazgo de los Estados Unidos (del orden de 39%) con una tendencia al decrecimiento en la Unión Europea (18% en 2003) y Japón (11% en 2003) y un crecimiento sostenido en Asia-Pacífico (excluyendo Australia) y China. Ambas regiones comparten aproximadamente 12% cada

una en 2003. Se hace notar que países como Rusia, con un alto grado de número de graduados, no aparecen en esta estadística de mayor impacto. Estos países estarían incluidos en 20% restante no contemplado en esta estadística con porcentajes individuales inferiores 11%. Para completar los datos globales que hemos expuesto debemos incluir información relativa al volumen de empresas en óptica y fotónica en regiones geográficas con un desarrollo importante. Se observa que la distribución geográfica del número de compañías operando en óptica y fotónica e implantadas en países de la Unión Europea (27 países), incluyendo cuatro países que han aplicado para ser miembros: Israel, Noruega, Suiza y Turquía. Se observa un liderazgo en Alemania (400 empresas), seguido de Francia (370) y Reino Unido (350).

Como conclusión a este estudio se infiere que la óptica y la fotónica son campos emergentes que tendrán una demanda creciente en el mercado de trabajo en las próximas décadas. Los países en vías de desarrollo deberán hacer frente a un enorme esfuerzo colectivo dentro de la oferta educativa universitaria de especialización tecnológica si quieren participar, en pie de igualdad, con países en los que la creciente demanda de tecnología de última generación está generando nuevas ofertas educativas, en la forma de másteres y estudios de segundo y tercer ciclo con contenidos dirigidos a una formación científica aplicada con amplia proyección industrial.

5.- LA CONTRIBUCIÓN DE LAS SOCIEDADES PROFESIONALES Y ORGANISMOS INTERNACIONALES A LA EXPANSIÓN DE LA ÓPTICA Y LA FOTÓNICA

El mundo de la ciencia mantiene una estructura en cierta medida piramidal en el que la presencia de sociedades profesionales se hace evidente en la búsqueda de liderazgos científicos.

La existencia de sociedades científicas profesionales es un hecho que puede constatar en Europa en los comienzos de la expansión científica a partir del s. XVI y la introducción del método científico cartesiano en el s. XVII. La consecución de la revolución industrial en el s. XIX no hizo sino aumentar esta proyección e influencia en los países europeos y la diseminación de la idea de progreso económico. Ciertamente, esta trayectoria no se debe extrapolar a otras zonas geográficas, como puede ser el caso de China, la civilización islámica o de los países del continente americano, en los que la coyuntura histórica ha sido afectada por un devenir diferente. Como ejemplo la Academia Mexicana de Óptica (AMO) fue fundada en la ciudad de León (Guanajuato) en 1987 con el objeto de representar a la óptica en México actuando desde entonces como promotor tanto en el mundo académico como en el empresarial.

La mayoría de las academias de ciencias en Europa se estableció entre los siglos XVII y XVIII. En el continente americano podemos situar estos comienzos a mitad del s. XIX como consecuencia de la expansión universitaria y académica en estas regiones geográficas.

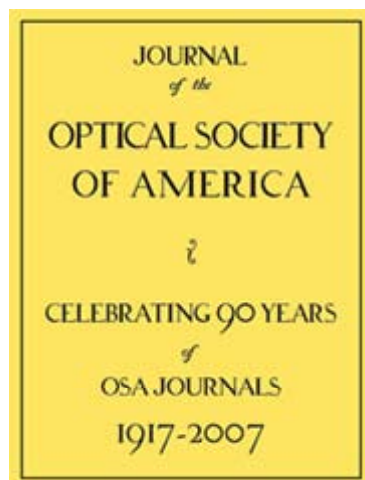
Con el crecimiento de la actividad industrial y de las enseñanzas académicas en el área de las ciencias, con contenidos cada vez más tecnificados, se fue creando una necesidad de interconexión entre el mundo industrial y el mundo académico, mundos por otra parte con desarrollos tradicionalmente poco convergentes.

En el campo de la óptica, la Sociedad Americana de Óptica (*Optical Society of América*, OSA) se fundó en 1916 a partir de iniciativas de grupos

locales (como en Rochester). Uno de los objetivos primordiales fue la promoción y diseminación de las actividades en óptica dentro de cada región donde funcionaba un grupo local. Un año más tarde, en 1917, se fundó la revista *Journal of the Optical Society of America* (JOSA, véase Figura 5.1).

FIGURA 5.1

PORTADA DE LA REVISTA PUBLICADA POR LA SOCIEDAD AMERICANA DE ÓPTICA, CELEBRANDO EN 2007 EL 90 ANIVERSARIO DE SU PRIMERA EDICIÓN [FUENTE: OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, (OSA)]



Esta revista puede considerarse como pionera en las publicaciones científicas en el campo de la óptica clásica y de la óptica contemporánea y una referencia obligatoria para entender el desarrollo de la óptica y la fotónica en el s. XX. El enorme crecimiento en el número de publicaciones científicas fue la causa de que en 1984 la revista se dividiera en dos publicaciones periódicas independientes: JOSA A, dedicada a Óptica y Ciencias de la Imagen, y JOSA B, dedicada a Óptica Física. Estas revistas han aplicado una política de impacto de calidad y ofrecimiento de temas de interés actual en las llamadas publicaciones especiales (*Special issues*). Como ejemplo, para 2007 están propuestas las siguientes: Metamateriales fotónicos, (publicación conjunta JOSA A y B), Láseres de fibras ópticas (JOSA B) y Calidad

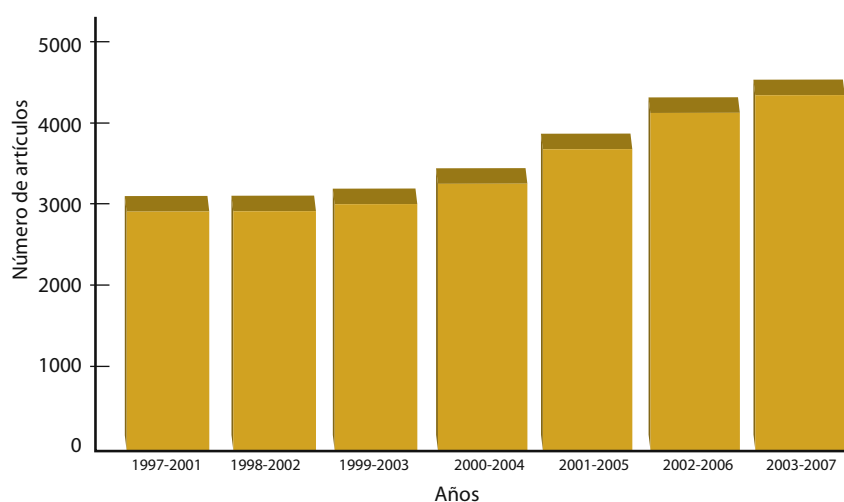
de Imagen (JOSA A). La OSA edita hoy en día además de las mencionadas revistas otra más en óptica aplicada, *Applied Optics*, otra dedicada a publicaciones rápidas, *Optics Letters* (para publicaciones rápidas, la revista de óptica con mayor índice de impacto), y una revista de acceso electrónico exclusivo, *Optics Express*, todas ellas de calidad. En la figura 5.2 se indica la evolución en el número de publicaciones de artículos científicos en el *Optics Letters*. Se observa un crecimiento anual sostenido hasta un total de 4500 artículos en 2007.

En la actualidad la OSA tiene un número considerable de miembros asociados en todo el mundo en centros de investigación, universidades y compañías profesionales dedicadas al mundo de la fotónica. Organiza al menos tres congresos internacionales anuales en ciudades no necesariamente localizadas en Estados Unidos de América, proporciona listas de ofertas de empleo y facilita contactos a los estudiantes que buscan oportunidades de trabajo profesional.

Posteriormente otras sociedades profesionales han ido emergiendo y se han incorporado al mundo profesional de la óptica y la fotónica. Tal es el caso de SPIE fundada en 1955 en Los Ángeles (Estados Unidos de América) por ingenieros de imagen, posteriormente enfocada a un campo más extenso de ingeniería óptica y optoelectrónica. La rápida expansión de la carrera profesional en óptica y fotónica en el s. XX se ha visto reflejada en el considerable aumento en el número de miembros del SPIE distribuidos en todo el mundo. La organización de congresos internacionales aparece como una actividad puntera,

FIGURA 5.2.

EVOLUCIÓN EN EL NÚMERO DE ARTÍCULOS PUBLICADOS EN *OPTICS LETTERS* EN LOS ÚLTIMOS DIEZ AÑOS (1997-2007) (FUENTE: ISI WEB OF KNOWLEDGE, ESSENTIAL INDICATORS, 2007).



como ejemplo, en 1997 el congreso de Fotónica en el Oeste (*Photonics West*) celebrado en San José (California) tuvo 10000 participantes y 400 exhibidores de compañías de óptica y fotónica. Estos congresos se han organizado igualmente en Europa con gran éxito de asistencia y de exhibición de productos compañías empresariales. En la actualidad SPIE publica un total de siete revistas de investigación científica en el campo de la ingeniería óptica, de ellas *Optical Engineering* es la más citada, además publica revistas dedicadas a imagen electrónica, óptica biomédica, detección remota de señales y micro y nano-tecnología.

En Europa y resto del mundo las sociedades profesionales de óptica se han visto beneficiadas de una creciente expansión. Previo a 1984, la óptica en Europa estaba representada en el Comité Europeo de Óptica (EOC). En 1984 EOC se unió a la Sociedad Europea de Física (EPS) como División de Óptica. En 1986 varias sociedades de óptica europeas se unieron para crear *Optica* oficialmente lanzada en 1987. Pronto se establecieron colaboraciones con otras sociedades profesionales como SPIE para organizar congresos internacionales de óptica y fotónica en Europa. La experiencia adquirida en la organización de estas actividades condujo a la fundación de la Sociedad Europea de Óptica (EOS) en 1990, la cual publica varias revistas científicas dedicadas a óptica fundamental y óptica aplicada. Otras instituciones europeas como el Institute of Physics (IOP) participan activamente en la disseminación de actividades en todo el mundo. También podemos mencionar la existencia de sociedades asiáticas como la Sociedad Japonesa de Óptica.

Dentro de un ámbito de proyección internacional la Comisión Internacional de Óptica (ICO), como miembro asociado del Consejo Científico Internacional para la Ciencia (*International Scientific Council of Science, ICSU*), representa y agrupa a un total de 50 comités territoriales en todo el mundo. Igualmente tiene en su seno como miembros sociedades de óptica con proyección internacional: EOS, *the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, la Red Africana para Láseres y Óptica Atómica y Molecular (*LAM Network*) bajo el patrocinio del "Abdus Salam" *International Center for Theoretical Physics (ICTP)*, *Optics Within Life Science (OWLS)*, OSA y SPIE. La ICO fue fundada en 1947 en París (Francia) con el objetivo de contribuir en el escenario internacional al progreso y a la difusión del conocimiento en el campo de la óptica. La

ICO tiene una vocación de solidaridad internacional para el apoyo de actividades profesionales en países en vías de desarrollo. En este sentido apoya la celebración de eventos de carácter internacional en muchos países del mundo no necesariamente ubicados en áreas de actual expansión tecnológica. De esta forma contribuye al desarrollo y autogestión de actividades e iniciativas de carácter local. Tiene una publicación trimestral periódica, *ICO Newsletter*, comenzada en 1989 y edita una serie trienal de libros denominada "*Trends in Optics*", cuyos volúmenes suministran una visión global y actualizada de la investigación en curso en el campo de la óptica a nivel mundial.

En este recorrido resumido de las actividades desarrolladas por sociedades profesionales nacionales e internacionales asociadas con el mundo de la óptica y de la fotónica, y según se extrae de su clara expansión, se puede concluir que la óptica y la fotónica viven un momento de creciente importancia en el mundo de las tecnologías de última generación, hecho que debe de reflejarse necesariamente en su influencia en el mundo académico y empresarial.

EL DESARROLLO DE LA ÓPTICA Y LA FOTÓNICA EN EL CONTEXTO IBEROAMERICANO.

La óptica moderna inicia su desarrollo en Iberoamérica principalmente en el ambiente académico y como una rama de la física. Por ello la mayoría de los investigadores iberoamericanos en óptica son miembros de sociedades de física que, excepto por la Sociedad Mexicana de Física y la Asociación Física Argentina, carecen de divisiones de óptica. Aunque internacionalmente existe una tendencia hacia el fortalecimiento de las sociedades de óptica (OSA, SPIE, EOS, SEDOPTICA), en la actualidad existen en Iberoamérica sólo tres organizaciones independientes de las sociedades de física y de carácter nacional en óptica: la Academia Mexicana de Óptica, fundada en 1987, la Red Colombiana de Óptica, creada en 1993, y el Comité Venezolano de Óptica, creado en 1990 y aceptado como Comité Territorial de ICO en 1999. Estas organizaciones tienen una componente multidisciplinaria que da cabida a ingenieros en el caso de México y Colombia y a un nutrido número de químicos en Venezuela.

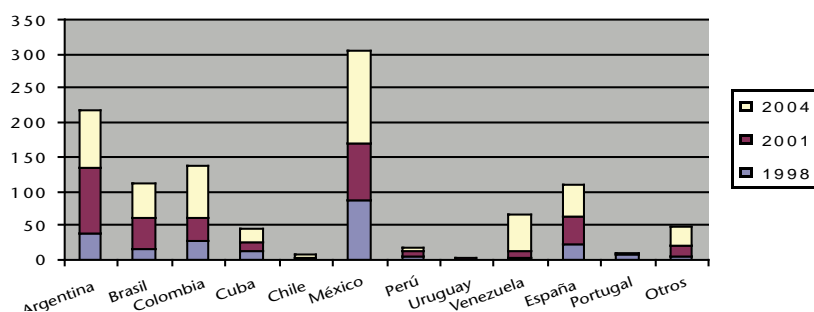
La visibilidad internacional de la comunidad iberoamericana de investigadores en óptica se ha incrementado notoriamente durante las últimas dos décadas debido a un rápido crecimiento de la investigación y la enseñanza de la óptica en la región. Indicadores de este crecimiento son la creación de estructuras organizativas de las comunidades científicas a nivel nacional, el auge y trayectoria de RIAO/OPTILAS como la principal conferencia internacional en Óptica en la región y el establecimiento de nexos con instituciones y sociedades internacionales (ICO, ICTP, OSA, SPIE). Existen dos capítulos de estudiantes de SPIE en Colombia, uno en México, uno en Argentina y uno en Perú. Adicionalmente existen dos capítulos de estudiantes de la OSA en Brasil, tres en Colombia, tres en México y uno en Perú. Actualmente se impulsa la creación de una red de óptica latinoamericana REDOLA que facilite el conocimiento mutuo del recurso humano, intereses investigativos, actividades científicas y tecnológicas, y favorezca la colaboración y el intercambio de investigadores.

RIAO/OPTILAS se nutrió de dos vertientes. A principios de los 80, tres físicos latinoamericanos, Eddien Alvarez, Carlos Massone y Vicente Pais tuvieron oportunidad de encontrarse en el ICTP y concibieron la idea de

realizar un encuentro latinoamericano de láseres y aplicaciones. El primero de ellos se realizó en Colombia en 1984 y fue seguido de encuentros en Brasil (1986), Argentina (1988), México (1993) y Cuba (1995), donde se acuñó para el evento la sigla OPTILAS. En 1992 la comunidad española organizó en Barcelona la primera RIAO (Reunión Iberoamericana de Óptica), en conjunción con su III Reunión Nacional de Óptica y en conmemoración del quinto centenario del descubrimiento de América. En 1995 II RIAO tuvo lugar en México y en 1998 los dos eventos confluyeron en III RIAO/VI OPTILAS en Cartagena de Indias, Colombia, constituyéndose en una conferencia trienal que tuvo sede posteriormente en Argentina (2001) y en Venezuela (2004) y esta programada para octubre de este año en la Universidad de Campinas, UNICAMP, Brasil. En 2004 el evento contó por primera vez con la participación de un Premio Nóbel de Física, el Profesor Claude Cohen-Tanoudji. México ha hecho el mayor número total de contribuciones a las tres últimas conferencias (305), seguido por Argentina (219), Colombia (137), Brasil (112) y España (108) (Figura 6.1).

FIGURA 6.1

NÚMERO DE CONTRIBUCIONES POR PAÍS EN LOS TRES ÚLTIMOS RIAO/OPTILAS.
DATOS DE N. GAGGIOLI, 2005



En Perú existe interés por el diseño de dispositivos y sistemas ópticos y una estrecha colaboración con Francia en programas de Maestría. Se han realizado dos congresos nacionales y tres escuelas internacionales de óptica; hay interés en crear un Comité Territorial de ICO y en obtener la sede del próximo RIAO/OPTILAS. Chile inició y ha organizado dos de tres conferencias internacionales "Quantum Optics" (2000, 2006). La segunda de la serie tuvo lugar en México en el 2004. En Uruguay se va a celebrar en Punta del Este en diciembre de 2007, el Tercer Taller sobre Ruido, Caos y Complejidad en Láseres y Óptica No-Lineal.

Estos indicadores muestran que la comunidad científica iberoamericana ha logrado un lugar en el contexto internacional en la investigación básica en el área de la óptica, pero el impacto de sus logros en el desarrollo de tecnología en Latinoamérica es menos notorio. Varios países, entre ellos Colombia a través de Colciencias y México a través de Conacyt han diseñado su política de apoyo a la ciencia y la tecnología (CyT) con el objetivo de hacer de ellas componentes efectivos para la competitividad y el desarrollo social y han enfocado la intervención del estado en la búsqueda de investigación e innovación con impacto sobre la estructura productiva y el desarrollo social. Sin embargo, no se observa en estos sistemas de CyT una estratificación de la investigación similar a la de países desarrollados. No existe en ellos una componente fuerte de investigación aplicada que facilite el desarrollo tecnológico y carecen de esquemas de transferencia e incluso de industrias adecuadas para efectuarla.

De la inversión mundial total en investigación y desarrollo (I+D) en 2006, 874 mil millones de dólares, 35% es de USA, 24 % de la Unión Europea incluyendo Gran Bretaña, Japón 14%, China 11% y Corea 3%. Todos los demás países aportan conjuntamente un modesto 13%. Los economistas estiman que la mitad del crecimiento económico de USA en los últimos 50 años es debido a avances tecnológicos. Las Universidades son vistas por quienes establecen la política de CyT como catalizadores del desarrollo económico y de alta tecnología mediante las actividades empresariales que generan con sus resultados investigativos, y a través de las concentraciones de recurso humano altamente calificado que atraen y generan. El gobierno Federal juega un papel central en la investigación universitaria. En 2004, USA invirtió 2.66% de su producto interno bruto en investigación y desarrollo; 64% de esa suma fue aportada por industrias, y 30% por el gobierno federal. Aunque parezca una modesta participación, el aporte del gobierno es crítico pues financia 62% de la investigación básica y 64% de los proyectos de investigación y desarrollo realizada en los institutos universitarios. Pero la estructura del sistema es orientada a la producción de tecnología avanzada. El programa de investigación, desarrollo, prueba y evaluación (RDT&E) del Departamento de Defensa de los EEUU, para citar un ejemplo, establece siete categorías investigación básica y aplicada, desarrollo de tecnología avanzada, de componentes y prototipos, de sistemas y demostración, apoyo administrativo, y desarrollo de sistemas operacionales. El sistema apoya la evolución de proyectos a través de las diferentes categorías buscando solución de continuidad.

La Figura 6.2 muestra la inversión por país en CyT en la región Iberoamericana como porcentaje de su Producto Bruto Interno (PBI), y la Figura 6.3 como se distribuye esta inversión según las fuentes de financiación. El aporte de otros incluye inversiones del extranjero y de organizaciones sin ánimo de lucro.

Si bien los investigadores mexicanos han organizado recientemente múltiples conferencias sobre física e industria y en Argentina ha habido numerosos contactos con la industria en el área de la metrología óptica, Brasil es quizás el único país en donde resultados de investigación básica y aplicada han sido transferidos a la industria y contribuido al desarrollo e implementación de tecnología propia a nivel nacional a gran escala.

FIGURA 6.2.-

GASTO EN CYT POR PAÍS COMO PORCENTAJE DEL PBI. DATOS DE LA RED DE INDICADORES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA - IBEROAMERICANA E INTERAMERICANA- (RICYT) 2004

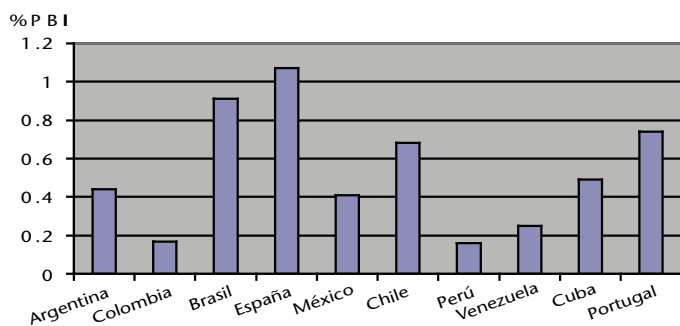
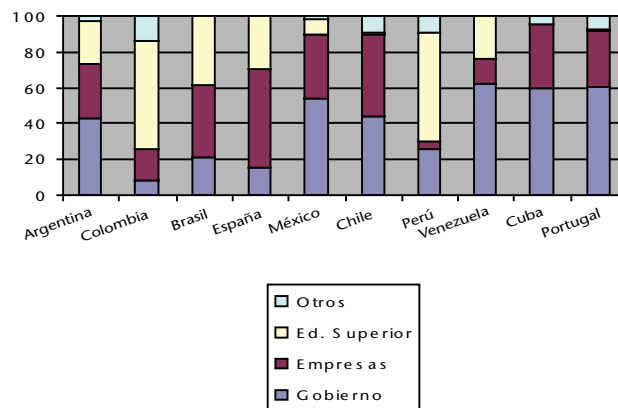


FIGURA 6.3.

DISTRIBUCIÓN DE LA INVERSIÓN EN CYT POR FUENTE DE FINANCIACIÓN. DATOS RICYT 2004



Con una serie de entrevistas con los pioneros de la tecnología de telecomunicaciones por fibra óptica en Brasil, Unicamp celebró el año pasado 40 años de su papel de incubadora de desarrollo tecnológico. La historia de lo que fue un desarrollo tecnológico oportuno y exitoso en Latinoamérica puede servir de ejemplo en esta época en que una nueva revolución, la nanotecnológica, se inicia. En 1970, cuando Bell Labs y Corning sentaban las bases tecnológicas para el desarrollo de las telecomunicaciones por fibra óptica, Unicamp con su campus aún en construcción facilitó la repatriación de brasileros altamente capacitados en optoelectrónica, fibra óptica y sistemas. El gobierno creó Telebras e hizo una fuerte inversión para apoyar la investigación en la Universidad, teniendo en mente el modelo de Universidad como centro de un polo industrial y tecnológico. Posteriormente creó el CPqD (Centro de investigación y desarrollo en telecomunicaciones) en Campinas. La Universidad generaba recursos humanos y tecnología básica; el CPqD tomaba la tecnología básica y la convertía en tecnología industrial para ser transferida a dos o más industrias a quienes la Telebras les garantizaba el mercado impidiendo la instalación de tecnologías que compitiesen con la transferida, pero permitiendo la competencia entre ellas. Así nacieron ABC Xtal y Elebra, empresas que durante más de una década crecieron vertiginosamente. Lamentablemente por asuntos de mercado y cambios de política gubernamental estas grandes empresas desaparecieron y actualmente no se fabrica fibra óptica en el Brasil, pero de ellas se derivaron múltiples empresas brasileras de tecnología de telecomunicaciones y sensores.

7. COLABORACIÓN INTERNACIONAL

Uno de los programas más exitosos de colaboración científica internacional en Iberoamérica es el CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, en que participan 19 países de América Latina, España y Portugal, y que tiene como objetivo principal contribuir al desarrollo armónico de la Región mediante el establecimiento de mecanismos de cooperación entre grupos de investigación de universidades, centros de I+D y empresas innovadoras de países iberoamericanos, que pretenden la consecución de resultados científicos y tecnológicos transferibles a los sistemas productivos y a las políticas sociales.

Dentro del CYTED existen tres modalidades de cooperación internacional: las Redes Temáticas, los Proyectos de Investigación Precompetitiva y los Proyectos de Innovación IBEROEKA, que requieren la participación de empresas de, al menos, dos países miembros con un servicio o producto de carácter innovador y cercano al mercado. El Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) español tiene oficinas en México, Brasil y Chile, que facilitan a las empresas españolas la búsqueda de socios para el desarrollo de alianzas y proyectos de cooperación tecnológica internacional, en relación con el Programa IBEROEKA. Sin embargo el Programa CYTED no ha sido muy utilizado en el área de la óptica. Dentro del área temática de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) sólo un proyecto de 53 en curso menciona el uso de sensores con fibra óptica. En el área de *promoción del desarrollo industrial*, los pocos proyectos que lindan con la óptica, son en realidad investigación básica y no tienen como propósito el desarrollo de prototipos de nuevos dispositivos sino el estudio de nuevos materiales. Los esfuerzos en redes temáticas y proyectos de investigación no parecen desembocar en el desarrollo de industrias, ni tener conectividad o solución de continuidad con los proyectos IBEROEKA, al menos en el ámbito de la óptica, los sensores, la optoelectrónica y la nanotecnología. La estructura misma del programa CYTED no parece diseñada para perseverar en un objetivo específico y carece de una verdadera etapa de investigación aplicada y transferencia de tecnología.

Francia estableció colaboración con Chile desde 1962 e inició con él su programa ECOS (Evaluación-orientación de la cooperación científica) en 1992 de cooperación científica y universitaria con la América Hispano parlante. El programa tuvo gran acogida y en 1997 fue necesario subdividirlo

en ECOS-Sud para Argentina, Chile y Uruguay, y ECOS-Nord para México, Colombia y Venezuela. Está destinado a apoyar proyectos de excelencia en materia de colaboración científica. Financia intercambio de investigadores en la forma de misiones de corta duración, estadias de perfeccionamiento y becas doctorales. Está abierto a todos los campos del saber. La colaboración empieza al nivel de establecimientos y de equipos universitarios, y de investigadores que elaboran conjuntamente un proyecto científico donde se involucran intelectualmente en forma equivalente. El CNRS tiene acuerdos de cooperación científica con México (Conacyt), Venezuela (FONACIT), Argentina (CONICET), Chile (CONICYT) y Brasil (CNPq y FAPESP). En 2006 realizó con FAPESP una convocatoria para proyectos conjuntos en las áreas (entre otras) de materiales y nanotecnología, fotónica y óptica.

La Comisión Europea adoptó en el 2002 el Programa Alþan dirigido a América Latina para becas de postgrado (máster o doctorado) o de especialización (formación o actualización profesional superior). Se espera que, hasta el 2010, alrededor de 3 900 estudiantes y profesionales latinoamericanos se beneficien ellas.

La Unión Europea (UE) ha establecido además actividades específicas de cooperación científica internacional dentro de su Programa Marco FP7, principal instrumento de financiación de investigación científica y desarrollo tecnológico durante el periodo 2007-2013. La cooperación con terceros países apunta a grupos específicos entre los cuales se encuentra Latinoamérica. La cooperación internacional se maneja de modo diverso en tres diferentes partes del programa. Acciones de cooperación internacional orientadas por tema se realizan bajo el programa de *cooperación*, que apoya la colaboración entre universidades, industria, centros de investigación y autoridades públicas en la UE y fuera de ella. Parte de él es el programa ICT (Information and Communication Technologies) cuya segunda convocatoria cierra el 9 de Octubre del 2007 e incluye entre otros tópicos componentes fotónicas y subsistemas, y micro/nanosistemas. En el programa NMP (Nanociencias y nanotecnologías, tecnologías de materiales y nueva producción) se pone énfasis en el estudio de fenómenos y manipulación de la materia a nanoescala y al desarrollo de nanotecnologías que conduzcan a la manufactura de nuevos productos y servicios; al uso del conocimiento de nano y biotecnologías para nuevos productos y procesos y a crear condiciones para la innovación continua y el desarrollo de “valores” genéricos de producción (tecnologías, facilidades de organización y producción y recurso humano; integración de tecnologías para aplicaciones industriales).

Dentro del Programa *gente*, las acciones *Maria Curie* relacionadas con formación de recurso humano y movilidad de investigadores, incluyen financiación para entrenamiento y desarrollo profesional de investigadores mediante becas de doble vía entre la UE y terceros países. Si el investigador es originario de uno de los países socios, el esquema puede incluir asistencia a los becarios para retornar a su país de origen, contribuyendo así al establecimiento de cooperación sostenible entre esos países y las organizaciones de investigación europeas.

En el Programa *capacidades*, las actividades *INCO (Specific International Scientific Cooperation Activities)* están diseñadas para apoyar y estimular la participación de terceros países en FP7. La mayoría de países latinoamericanos pueden participar como países socios. Argentina, Brasil, Chile y México han firmado acuerdos con la CEE que incluyen el área de CyT. Brasil puede ser considerado como una región, de modo que dos o más de los socios requeridos para un proyecto pueden pertenecer a estados diferentes del Brasil.

España, dada su integración científica y tecnológica con la UE y su posición abiertamente favorable a la cooperación con Iberoamérica, puede y debe jugar un papel primordial para la optimización de la participación latinoamericana en los Programas de la UE. Diversas organizaciones españolas vienen ya desarrollando una importantísima labor en el contexto de proyectos de cooperación entre España e Ibero América en temas educativos y de investigación. La Agencia Española de Cooperación Internacional, asociada al Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación (MAEC) del Gobierno de España, ofrece becas de postgrado (becas MAEC-AECI) a través del Programa Mutis. El Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) es conciente del impacto que la cooperación científica y tecnológica tiene en la mejoría del nivel de vida de los países en desarrollo y la fomenta, y la Fundación Carolina ofrece becas de formación permanente abiertas indistintamente a latinoamericanos y españoles.

No es noticia que Europa, Estados Unidos y Asia están realizando inversiones monumentales en investigación y desarrollo de nanotecnología por sus aplicaciones en áreas tan diversas como Tecnología de información y comunicaciones, salud, energía, agricultura, tratamiento de aguas, etc. El primero de tales programas a gran escala es la Iniciativa Nacional en Nanotecnología de EEUU (NNI), que se inicio en el 2000. Es quizás menos conocido que dentro del programa FP6 de nanotecnología, la CEE ha fundado el proyecto Nanoforum EU Latín América, que desde el 1 de diciembre de 2006 hasta el 31 de mayo de 2008 fomentará la creación de relaciones duraderas entre instituciones y organismos de investigación en nanotecnología en Europa y Latinoamérica. El proyecto organizará visitas de intercambio entre investigadores latinoamericanos y cuatro instituciones europeas con el objetivo de estimular colaboración en I+D dentro del marco del FP7. Organizará además dos talleres, uno en México y otro en Brasil, con subsecuentes visitas de investigadores e industriales europeos a instituciones en el país anfitrión con el fin de identificar oportunidades de establecer trabajo conjunto. El primer evento, un Taller sobre Prioridades en Investigación en Nanomateriales en Latinoamérica y Europa, tendrá lugar en México en Agosto 2007,

La apertura Europea a la colaboración científica y tecnológica con países latinoamericanos, otorga amplio espacio a aquellos investigadores

latinoamericanos para participar en la nueva revolución tecnológica en forma interdisciplinaria. La óptica, como herramienta horizontal y fundamental para el análisis de las propiedades de nuevos materiales, y para el sensoramiento y monitoreo de procesos está llamada a jugar un papel preponderante en nanofotónica y nanobiotecnología. La comunidad científica latinoamericana cuenta con recurso humano calificado e infraestructura de fabricación y caracterización de materiales, incluyendo técnicas de espectroscopía láser, lineal y no lineal. La revolución en nanotecnología apenas empieza a abrir un inmenso campo para la investigación y Latinoamérica puede formar parte de ella si logra actuar como par científico de investigadores de países desarrollados, utilizando todos los canales de cooperación internacional y apoyando simultáneamente ideas innovadoras de empresas de tecnología avanzada en la región.

BIBLIOGRAFÍAS

“Harnessing Light: Optical Science and Engineering for the 21st Century”, National Academy Press, Washington, D.C. 1998.

OSA-Optical Society of America, www.osa.org; <http://www.osa.org/membership/student-services/chapters/location/default.aspx#MO>

EOS-European Optical Society, www.eos.org

EPS/QEOD. European Physical Society, Quantum Electronics and Optics Division, www.quniverse.sk/qeod

SEDOPTICA - Sociedad Española de Óptica, sedo.optica.csic.es

ICO-Comisión Internacional de Óptica, www.ico-optics.org

SPIE-International Society of Optical Engineering, spie.org; <http://spie.org/x1727.xml>

REDOLA-Red de Óptica Latinoamericana, www.redola.org

Fundación Carolina, www.fundacioncarolina.es/fundacioncarolina

ICFO-Instituto de Ciencias Fotónicas, www.icfo.es

“Optics in Latin America”, N. Gaggioli, 2005.
www.ico-optics.org/pdfs/opticsinlatinamerica.pdf

Inovacao Unicamp. <http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-40anos-smolka.shtml>;
<http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-40anos-ripper.shtml>;
<http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-40anos-josemauro.shtml>

Report of the American Association for the Advancement of Science, AAAS Report XXXII, Research and Development FY 2008. <http://www.aaas.org/spp/rd/rd08main.htm>.

National Nanotechnology Initiative (NNI) <http://www.nano.gov>

RICYT: Red de indicadores de CyT : <http://www.ricyt.org/>;

ECOS, Francia, <http://www.ecos.univ-paris5.fr/>

DAAD <http://www.daad.de/deutschland/index.en.html>

Becas MAEC-AECI <http://www.becasmae.com>

Community Research and Development Information Service – CORDIS, http://cordis.europa.eu/guidance/home_en.html

MARIE CURIE ACTIONS
http://ec.europa.eu/research/fp6/mariecurie-actions/indexhtm_en.html

INCO http://cordis.europa.eu/inco/home_en.html

Seventh Research Framework Program (FP7)
http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html

NANOFORUMEULA: UNA RED ENTRE EUROPA Y LATINOAMÉRICA
<http://www.mesaplustwente.nl/Links/nanoforumeula/>

Gallup, J.L., Sachs, J.D., Mellinger, A.D., “Geography and economic development”, International Regional Science Review, 22:2, 179 (1999).