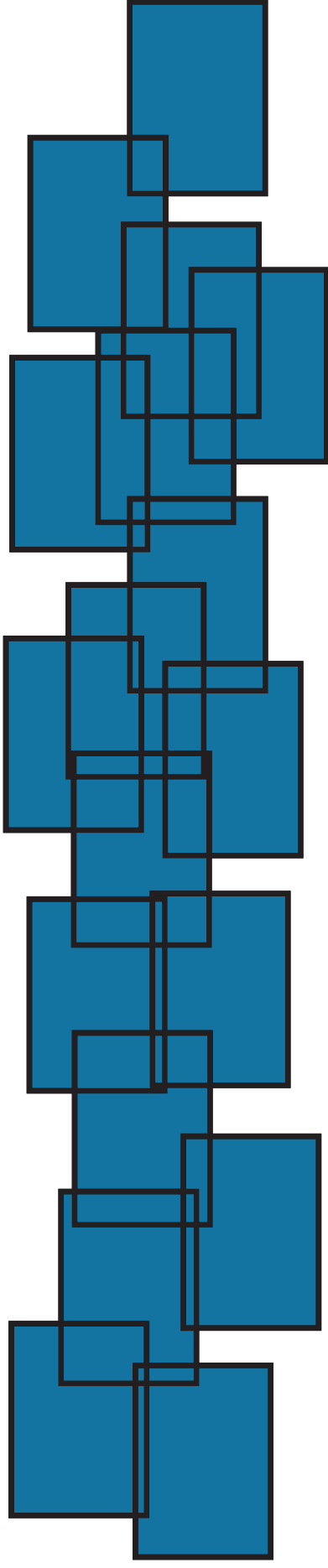


# NANOÓPTICA

# NANOFOTÓNICA





## **Antonio García Martín**

**Lugar y fecha de nacimiento:** Madrid (España), 1971

**Formación:** Licenciado en Ciencias Físicas en la Universidad Autónoma de Madrid en 1996. Doctorado cuatro años más tarde en esta misma universidad.

**Carrera Profesional:** Tras una estancia postdoctoral de dos años en la Universidad de Karlsruhe se incorporó al Instituto de Microelectrónica de Madrid, donde es Científico Titular desde el año 2005. Su actividad actual se centra en el área de magneto-plasmónica, siendo fundamentalmente responsable de los aspectos teóricos de la línea.



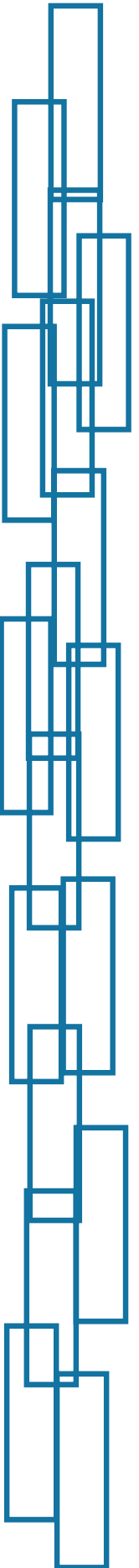
## 1. Introducción

La nanofotónica no es, como en la mayoría de las disciplinas inmersas en “lo nano”, el resultado de la mera reducción del tamaño de los elementos bajo estudio. A menudo, sucede que las propiedades intrínsecas de estos cambian al reducirse el tamaño. En otros casos lo que da lugar a ciencia novedosa es el hecho de encontrarse con elementos y distancias características commensurables con la longitud de onda de la luz (el rango óptico va del azul –400nm aprox.- al rojo –600nm aprox.-). Para convertirse en el heredero de la óptica convencional es aún necesario avanzar en diversos frentes, en particular en el desarrollo de materiales, tanto en la aproximación *ascendente* o *bottom-up* (ensamblar entidades para formar una estructura mayor), como en la *descendente* o *top-down* (miniaturización) y en la integración de los mismos con otros sistemas nanométricos. Se espera que las aplicaciones derivadas de la nanofotónica superen en variedad a las de la óptica clásica y se sitúen no sólo en el marco de las comunicaciones y la sociedad de la información, sino en otras áreas como la nanomedicina (diagnostico a través de imágenes ultra precisas “in vivo”) o los sensores (biosensores de alta sensibilidad “sin marcadores”).

## 2. Estado del arte (últimos avances, etc.)

La salud de la nanofotónica en España es razonablemente buena, a tenor de las actividades, cada vez más numerosas y con más relevancia, en las que la temática tiene una situación visible. Prácticamente en cada centro “nano” que se está creando en España la nanofotónica está presente, aunque en algunas ocasiones de forma indirecta. Esto puede verse como una consecuencia directa de la interdisciplinaridad presente en el campo, y que hace que áreas más generales, como pueden ser la *ciencia de materiales* o las *tecnologías de la información y las comunicaciones* sean los nichos donde encontrar grupos y proyectos versados en nanofotónica. Dentro de estas dos grandes áreas, y en relación con la nanofotónica, actualmente existen dos temáticas con un impulso importante: la plasmónica y las estructuras periódicas, donde se enmarcan los cristales fotónicos y los metamateriales. En ambos casos la base está en el desarrollo de materiales y sus aplicaciones principales en las comunicaciones. El desarrollo de los materiales se hace, también en las dos temáticas, desde las dos aproximaciones nano: ascendente o “bottom-up” y descendente o “top-down”. La ascendente se basa principalmente en síntesis química, en el caso de la plasmónica para desarrollar partículas metálicas nanométricas y en el caso de los cristales fotónicos para obtener estructuras auto-organizadas de semiconductor. En el caso de las descendentes la metodología está basada en litografías de alta resolución, donde los avances obtenidos hasta la fecha permiten ya obtener motivos nanométricos con gran perfección.

Una de las propiedades de las que adolecen los sistemas o estructuras nanofotónicas es que sus propiedades no pueden ser alteradas o manipuladas desde el exterior, es decir son elementos pasivos. Aquí esta naciendo un nuevo campo de investigación fundamental, donde se busca la obtención de materiales con las mismas o similares características a los que ya se tienen pero que sus propiedades ópticas respondan en presencia de elementos externos, es decir, sean elementos activos. Estos elementos externos pueden ser temperatura, presión, campos eléctricos o campos magnéticos, siendo estos dos últimos los más prometedores.



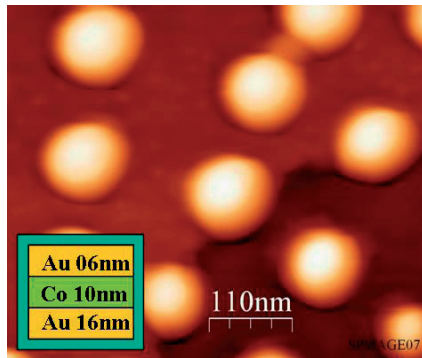


Figura 1. Imagen de AFM de una estructura plasmónica magneto-ópticamente activa formada por discos consistentes en tricapas de oro/cobalto/oro obtenidas por litografía coloidal. Cortesía de J.M. García Martín (Instituto de Microelectrónica de Madrid-CSIC). *Small* (en prensa 2007).

En cuanto a las aplicaciones, las más comunes se enmarcan en el área de las comunicaciones (dispositivos láseres, cavidades, guías y espejos sin pérdidas, etc.), donde la capacidad de control externo está siendo ya buscada a través de elementos electro-ópticos y, sobre todo, magneto-ópticos. Pero en el área de dispositivos sensores hay una gran actividad en la aplicación de sistemas plasmónicos en los que la modulación magnética ayudará a aumentar considerablemente la sensibilidad.

### 3. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008- 2011

En consonancia con las áreas de aplicación de la tecnología nanofotónica están las actuaciones a desarrollar en los próximos años. No obstante, las actuaciones no se encuentran directamente, estando englobadas en otras áreas. Por ejemplo, en las siete líneas que forman el "eje nano" la nanofotónica no aparece reflejada claramente salvo en una: *Nanotecnologías para la información y telecomunicaciones*. En otras dos se puede atisbar un nicho de aplicabilidad de la nanofotónica: *Nanotecnologías aplicadas en materiales y nuevos materiales en el ámbito de la salud* y *Materiales inteligentes basados en el conocimiento con propiedades a medida y materiales y recubrimientos de altas prestaciones para nuevos productos y procesos*.

Como puede verse, aunque la temática está presente y ejerce un papel muy relevante en el futuro plan nacional, se echa en falta un impulso dirigido y restringido al desarrollo de la base de la nanofotónica y no sólo a través de sus aplicaciones. Esto está un poco más avanzado en el séptimo programa marco de la UE donde la temática aparece bien reflejada, aunque englobada en las convocatorias de *Nanosciences*, *Nanotechnologies*, *Materials and new Production Technologies* e *Information and Communication Technologies (Objective ICT-2007.3.5: Photonic components and subsystems)*.

En cuanto a las demandas de la sociedad la nanofotónica está presente en diferentes áreas, con foco en diferentes tópicos:

- **Energía:** Materiales superconductores y semiconductores, diodos emisores de luz y células solares.
- **Tecnologías de la Información y la Comunicación:** Materiales luminiscentes para pantallas, OLEDs, materiales para almacenamiento y transporte de la información, holografía, baterías, materiales ópticos activos.
- **Salud y Cuidados Personales:** Dispositivos sensores "label-free" de tipo "lab-on-a-chip".

- **Calidad de Vida:** Dispositivos para una iluminación más eficiente, sensores de entorno, materiales electro-crómicos inteligentes y sensores de calidad para alimentos.

#### 4. Publicaciones más relevantes en el área (año 2004-2007)

Las 10 publicaciones que han sido publicadas en este período por autores españoles y han recibido más citas encontradas en el ISI Web of Knowledge, son las siguientes:

1. Pendry J. B., Martin-Moreno L., Garcia-Vidal F. J., *Mimicking surface plasmons with structured surfaces*, Science 305, 847-848 (2004).
2. Perez-Juste J., Pastoriza-Santos I., Liz-Marzan L. M., et al., *Gold nanorods: Synthesis, characterization and applications*, Coordination Chemistry Reviews 249, 1870-1901(2005).
3. Liz-Marzan L. M., *Tailoring surface plasmons through the morphology and assembly of metal nanoparticles*, Langmuir 22, 32-41 (2006).
4. Bisquert J., Cahen D., Hodes G., et al., *Physical chemical principles of photovoltaic conversion with nanoparticulate, mesoporous dye-sensitized solar cells*, Journal of Physical Chemistry B 108, 8106-8118 (2004).
5. Moreno E., Garcia-Vidal F. J., Martin-Moreno L., *Enhanced transmission and beaming of light via photonic crystal surface modes* Physical Review B 69, 121402 (2004).
6. Corma A., Atienzar P., Garcia H., et al., *Hierarchically mesostructured doped CeO<sub>2</sub> with potential for solar-cell use*, Nature Materials 3, 394-397 (2004).
7. Palacios-Lidon E., Galisteo-Lopez J. F., Juarez B. H., et al., *Engineered planar defects embedded in opals*, Advanced Materials 16, 341 (2004).
8. Karrai K., Warburton R. J., Schulhauser C., et al., *Hybridization of electronic states in quantum dots through photon emission*, Nature 427, 135-138 (2004).
9. Tetreault N., Mihi A., Miguez H., et al., *Dielectric planar defects in colloidal photonic crystal films*, Advanced Materials 16, 346 (2004).
10. Correa-Duarte M. A., Sobal N., Liz-Marzan L. M., et al., *Linear assemblies of silica-coated gold nanoparticles using carbon nanotubes as templates*, Advanced Materials 16, 2179 (2004).

#### 5. Proyectos

En los últimos 4 años se han aprobado en España diversos proyectos de I+D+i, enmarcados en la iniciativa **Ingenio 2010**. En todos ellos aparecen proyectos que de una u otra forma estarían enmarcados en la temática de Nanofotónica, aunque sea de manera parcial u ocultos en otra gran área. Los proyectos más relevantes y sus investigadores principales son los siguientes.



## **Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología**

- Cefe López Fernández, "Integración jerárquica de materiales en estructuras 3d para nanofotónica".
- Julián Rodríguez López, "Diseño y síntesis de estructuras dendríticas para aplicación en nanofotónica".
- Luís Manuel Liz Marzán, "Nanopartículas integradas en materiales para nanofotónica".
- Pablo Aitor Postigo Resa, "Estructuras bidimensionales para nanofotonica".
- Francisco Javier García De Abajo, "Teoría de materiales jerarquizados para nanofotónica".
- Luisa González Sotos, "Nanoestructuras de semiconductores como componentes para la información".
- Enrique Calleja Pardo, "Nanoestructuras de semiconductores como componentes para la información cuántica".
- Juan Martínez Pastor, "Nanoestructuras de semiconductores como componentes para la información cuántica".
- José Manuel Calleja Pardo, "Nanoestructuras de semiconductores como componentes para la información cuántica".
- José Rivas Rey, "Nanoestructuras magneto-plasmónicas para biosensores de alta sensibilidad".
- Gaspar Armelles Reig, "Nanoestructuras magneto-plasmónicas para biosensores de alta sensibilidad".
- Gonçal Badenes Guía, "Nanoestructuras magneto-plasmónicas para biosensores de alta sensibilidad".
- Francisco José Sánchez Baeza, "Nanoestructuras magneto-plasmónicas para biosensores de alta sensibilidad".
- Agustín Rodríguez González-Elipe, "Capas absorbentes y de puntos cuánticos preparadas mediante pecvd para su integración en dispositivos ópticos".
- David S. Levy Cohen, "Preparación vía sol-gel de recubrimientos con actividad óptica basados en dispersiones de nanopartículas fluorescentes o quantum dots".
- Héctor Guerrero Padrón, "Nanotecnología para sensores comunicaciones ópticas difusas y nuevos sensores por fibra óptica".
- Carlos Angulo Barrios, "Estructuras nanofotónicas".

## Proyectos Consolider

En las dos convocatorias de este programa fueron concedidos 2 grandes proyectos de investigación aplicados que tratan aspectos diversos de la *Nanofotónica* y agrupan a muchos grupos de investigación de diversas instituciones. Sus coordinadores son los siguientes: 1) Jurgen Eschner, Fundación Priv. Inst. Ciencias Fotónicas y 2) Niek van Hulst, Fundación Priv. Inst. Ciencias Fotónicas.

## Proyectos Europeos

En el periodo 2004-2007, dentro del sexto Programa Marco de la UE fueron seleccionados varios Proyectos de Investigación, de todos los tipos, tanto STREP como Proyectos Integrados, Redes de Excelencia y Redes Marie-Curie, en los que participan grupos de investigación españoles. Los proyectos están en su mayoría integrados en dos de las temáticas: Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and new Production Technologies (NMP) e Information and Communication Technologies (ICT), la lista sería muy extensa ya que hay una gran participación y, en total, los proyectos financiados son 411 en NMP y 1172 en ICT, la lista completa puede encontrarse en: <http://cordis.europa.eu/fp6/projects.html>.

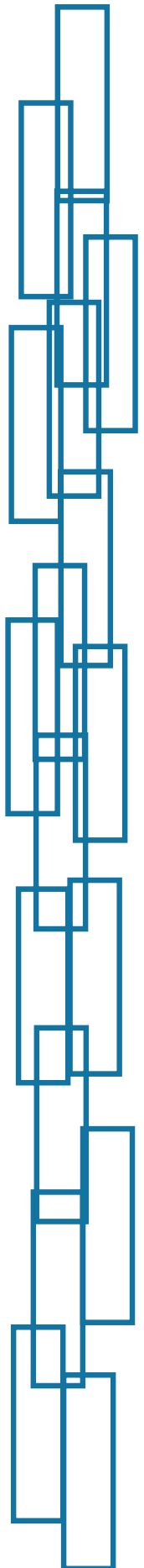
## 6. Infraestructura necesaria para cumplir objetivos (2008-2011).

La infraestructura que se suele emplear en Nanofotónica es de tipo *medio/pequeño* y es, en general, orientada a la fabricación y a la caracterización de nanoestructuras. Por mencionar unas cuantas: salas de litografía de alta resolución, tanto para metales como para semiconductores, síntesis química, deposición con control atómico, técnicas de caracterización de alta resolución tanto temporal como espacial (sondas locales).

Un aspecto que es en general destacable es la necesidad de que este tipo de infraestructura sea concedida a los grupos en un corto espacio de tiempo desde que la solicitud haya tenido lugar. La competitividad, que tanto trabajo cuesta conseguir y mantener, esta ligada a una rápida respuesta a las preguntas y variaciones a las que la investigación de alto nivel está sujeta. Es por ello que las inversiones no sólo tienen que incrementarse para conseguir una convergencia real con las grandes potencias europeas, Estados Unidos y Japón, sino que debe ser gestionada de una manera eficaz dejando al investigador margen de maniobra suficiente para realizar su labor de una manera adecuada. Los procesos que requieren grandes infraestructuras se realizan a través de los servicios técnicos o mediante colaboraciones, en muchos casos ya establecidas, con grupos especializados. No obstante, es necesaria la existencia de esas grandes instalaciones en el ámbito nacional, así como cuidar las *grandes* infraestructuras que estén sometidas a un uso considerable. Dichas infraestructuras deberían situarse en la mayoría de los casos en los *Servicios Científico-Técnicos* de las Universidades y los Institutos, dotando ineludiblemente a estos de los recursos científico-técnicos humanos necesarios para que den servicio a toda la comunidad científica de su entorno.

## 7. Grupos más relevantes.

Algunos de los grupos españoles más relevantes que trabajan en este campo de investigación son:



- Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO): 15 grupos  
<http://www.icfo.es/index.php?section=people0&lang=english>
- Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (CSIC): Cristales Fotónicos, Raman, Plasmónica, Metamateriales, Síntesis de nanopartículas.
- Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC): Cristales Fotónicos, Nanoestructuras semiconductoras.
- Instituto de Estructura de la Materia (CSIC): Plasmónica, Raman.
- Instituto de Microelectrónica de Barcelona (CSIC): Nanoestructuras semiconductoras, Sensores Ópticos.
- Instituto de Microelectrónica de Madrid (CSIC): Nanoestructuras magneto-ópticas, magneto-plasmónicas y semiconductoras, Biosensores ópticos (semiconductores y plasmónicos).
- Instituto de Óptica (CSIC): Procesado Láser e Irradiación iónica, Plasmónica.
- Universidad Autónoma de Madrid: Plasmónica, Fuerzas ópticas, nanoestructuras semiconductoras.
- Universidad Complutense de Madrid: Nano-antenas, OLEDs.
- Universitat Jaume I: Dispositivos Fotovoltaicos.
- Universidad de Navarra: Dispositivos ópticos.
- Universidad del País Vasco- DIPC: Espectroscopía Molecular, Plasmónica.
- Universidad Politécnica de Madrid: Sistemas Optoelectrónicos Y Microtecnología (ISOM), Células Solares.
- Universidad Politécnica de Valencia: Tecnologías Nanofotónicas, Cristales Fotónicos.
- Universidad Rovira i Virgil: Cristales Fotónicos.
- Universidad de Vigo: Síntesis de Nanopartículas.
- Universidad de Zaragoza: Plasmónica.

Esta lista es necesariamente incompleta, algunos otros grupos pueden encontrarse en:

<http://www.nanospain.org/members.php> y <http://www.fotonica21.org/miembros.php>

## **8. Iniciativas relevantes (Plataformas Tecnológicas, etc.)**

Las iniciativas más relevantes en este área están sobre todo dirigidas a la identificación y unión de los grupos cuya actividad científica está en el marco de la



nanofotónica. Aquí podemos destacar la plataforma Fotonica21 (que es la versión española de Photonics21 y la Red NanoSpain.

En otro sentido, la mayoría de los centros de nanotecnología de reciente creación cuentan con departamentos y líneas específicas en nanofotónica.

## 9. Conclusiones

Como conclusión general debemos destacar la buena salud de la que goza la nanofotónica en España, sin que esto signifique olvidar la necesidad de priorizar en España programas específicos dirigidos a fortalecer la presencia española en los temas anteriormente mencionados, en particular los sistemas nanofotónicos activos y/o controlables externamente. Para alcanzar la solvencia y versatilidad de los grupos líderes en Europa, América o Asia, es necesario hacer un esfuerzo global para que los laboratorios y grupos españoles más competitivos gocen de facilidades para obtener la infraestructura, y el personal necesario, a través de una gestión eficiente de los recursos económicos de los que dispongan. De esta forma se asegura la consistencia y continuidad de la excelencia actual, y se ponen las bases para incrementar de forma competitiva su productividad. Por otra parte, esto no debe ser exclusivo y los grupos que están emergiendo deben encontrar apoyo para desarrollarse y alcanzar altos niveles de producción científica.

