

## Universidad Politécnica de Madrid

### "Con los metamateriales cambian todas las técnicas de diseño"

**Juan Carlos Miñano, Doctor ingeniero de Telecomunicación y director del grupo de investigaciones ópticas del Cedint de la Universidad Politécnica de Madrid.**

Por primera vez un investigador español, recibe el **A.E Conrady Award**, uno de los más prestigiosos galardones otorgados en el campo de la ingeniería óptica por su labor investigadora en el campo de las tecnologías Non-Imaging y por el desarrollo de nuevos métodos de diseño y dispositivos anidólicos.



Juan Carlos Miñano

**Montserrat Álvarez**

Hoy nos trasladamos hasta el Centro de Investigación Cedint, en el que conviven grupos de investigadores de varias áreas: realidad virtual, eficiencia energética, electrónica. También es la sede del grupo de ingeniería óptica que está dirigido por el profesor Juan Carlos Miñano, recientemente galardonado por la International Society Advancing Light-based research (SPIE), una de las sociedades internacionales más importantes en el ámbito de la óptica, por sus contribuciones a este campo de la ciencia.

"El premio -nos aclara Juan Carlos Miñano- más que el reconocimiento a un logro concreto, lo es en realidad a toda una actividad, a un línea de trabajo que venimos desarrollando desde hace años".

Nuestro propósito es, pues, conocer en qué consiste este trabajo. Por ello le pedimos que nos explique qué investiga con este grupo que lidera y que está compuesto por unos 10 miembros, 4 profesores y 6 alumnos de postgrado, con él y con uno de sus colaboradores más cercanos, Pablo Benítez, iniciamos esta conversación.

#### **Campos de estudio**

"Fundamentalmente trabajamos con problemas relacionados con transferencia de energía luminosa como la concentración solar fotovoltaica, la iluminación y las comunicaciones ópticas y también con la formación de imágenes". Nos aclara el profesor Miñano.

"En general, tratamos problemas referidos a la transferencia de eficiente de energía luminosa y que normalmente no están relacionados con problemas de óptica tradicional de formación de imágenes, de gafas, etc. sino con problemas de transferencia de energía luminosa de un sitio a otro, como es el caso de sistemas de iluminación".

Para ilustrarlo nos pone dos ejemplos, "tienes una imagen generada por un LCD o un dispositivo electrónico y la quieres proyectar en una pared: eso es un problema de formación de imagen. O dispones de una energía en forma de radiación que está siendo generada en un lugar y la quieres llevar a otro como ocurre en la iluminación: este es un problema de transferencia de energía luminosa".

La tecnología capaz de solventar los problemas de transferencia eficiente de energía luminosa es la que se conoce como *Non-Imaging* y se denomina así porque, en principio, su objetivo fundamental no es la formación de imagen, ésta no es su condición de partida. El concepto del *Non-Imaging* se empezó a desarrollar en los años 60, pero fue durante los 80 cuando más intenso fue su avance.

"En todos estos problemas- nos dice- hay dos aspectos muy importantes que hay que tener en cuenta: que esa transferencia de energía sea barata y que también sea eficiente. Esto último se consigue cuanto menores son las pérdidas de energía durante la transferencia; por eso, liberarse de la condición de formar imagen nos resulta muy útil, pues dejamos de estar lastrados por algo que no nos interesa para nada".

Llegados a este punto, le pregunto porqué en ocasiones ha afirmado que los LEDs podrían llegar a convertirse en la tecnología de iluminación, de transferencia luminosa, del futuro. "Como te decía, para que cualquier tecnología triunfe tiene que dar respuesta a dos parámetros: precio y eficiencia. Todo el mundo entiende la importancia del precio, tiene que ser económico. En el caso de los LEDs que me preguntas, es cierto que de momento son caros pero tienen el potencial de irse abaratando con el tiempo; de hecho ya ha sido así, una bombilla LED no cuesta ahora lo que costaba al comienzo del desarrollo de esta tecnología.

En cuanto a la eficiencia, es un concepto más técnico. Con él nos referimos a cuánta energía luminosa es capaz de obtener esa tecnología con un 1 watio de energía eléctrica, porque, siempre se producen pérdidas. Por ejemplo, en el caso de una bombilla de incandescencia que funciona calentado un filamento, sólo del orden del 5 % de la energía se convierte en radiación visible, el resto se convierten en radiaciones infrarrojas, calor. que para lo que nosotros queremos hacer que es iluminar, no nos sirve. Las lámparas de descarga son más eficientes, del orden de un 30%, pero si analizamos las gráficas en el tiempo, veremos que su progresión de mejora está casi estancada, que ya no hay posibilidad de mejorar estos porcentajes.

Sin embargo, los LEDs no están completamente desarrollados, su gráfica evoluciona constantemente en forma de pendiente ascendente. Pero además, tiene otras ventajas adicionales: son más duraderos (1 bombilla tiene una vida media de 10 años), con ellos es más fácil conseguir algunas aplicaciones (la selección del color de la luz, por ejemplo) y, dada su rapidez de conmutación, es posible que en el futuro puedan ser utilizados como canales de comunicación."

Juan Carlos Miñano y su equipo han llevado a cabo también trabajos en el campo de la óptica más tradicional, la formación de imágenes, pero siempre en aplicaciones con un sello especial. Por ejemplo, en el año 2000 y a instancias de la empresa japonesa JVC, desarrollaron un sistema óptico de proyección con una característica diferenciadora: el proyector tenía que estar muy cerca de la superficie donde se proyectaba.

"La ventaja del proyector frontal ultracorto es que te puedes pasear por la habitación sin interferir con el haz de luz, éste no te molesta si estás realizando una exposición, no se producen sombras y necesitas mucho menor espacio para realizar una proyección de calidad".

De hecho la reducción del espacio necesario para la proyección fue una de las condiciones que JVC les impuso para desarrollar el proyecto. "En Japón las casas no son grandes; los proyectores voluminosos y que requieren mucho espacio no tienen salida; pero no por ello quieren renunciar a las pantallas grandes, por eso esta tecnología se ajustaba fielmente a sus necesidades".

Con la misma multinacional japonesa desarrollaron también un enlace óptico por láser que patentaron y JVC llegó a comercializar.

"La compañía quería desarrollar un enlace de comunicaciones de alta velocidad que uniera, pongo por caso, el DVD y una pantalla situada a cierta distancia, en el dormitorio por ejemplo, y querían hacerlo sin cables. La primera alternativa para realizar esta comunicación era por radiofrecuencia, pero este espectro está saturado.

Otra forma era hacerlo mediante una comunicación óptica no guiada, lo mismo que un mando a distancia. El problema es que la capacidad de transmisión de ese canal de información, es decir la velocidad de conmutación es bajísima;

**La tecnología *Non-Imaging* se denomina así porque su objetivo fundamental no es la formación de imagen.**

**Los LEDs son más duraderos, y dada su rapidez de conmutación, es posible que en el futuro puedan ser utilizados como canales de comunicación.**

**Rompiendo la coherencia espacial y colimando el haz de luz de un láser diseñaron un sistema óptico que permitía una comunicación de alta velocidad sin que el rayo láser afectara a la vista.**

hacia falta muchísima más velocidad.

Para conseguirlo podíamos utilizar un láser, pero el problema del uso de láseres dentro de una habitación es que pueden afectar a la vista de las personas que se encuentran dentro. Por eso hay una normativa de seguridad que dictamina las condiciones que tienen que cumplir los láseres, condiciones que bajaban tanto su capacidad que no servían a nuestro propósito. La solución se la ofrecimos al desarrollar un sistema óptico que modificaba las condiciones del haz del láser para que no dañara al ojo pero que si permitiera esa comunicación de alta velocidad, ¿cómo?, rompiendo la coherencia espacial y colimando el haz, es decir concentrando el haz hacia un punto determinado para que llegara mucho más lejos".

Continuamos nuestra conversación preguntando por otro de los campos de trabajo que nos anunciaban al principio; la concentración fotovoltaica. "Al hablar de energía solar, todos pensamos que es barata porque el sol, que es quien la genera, no cuesta dinero, sin embargo esto no es así.

Para que se produzca la conversión fotovoltaica, necesitamos de un semiconductor; se trata de un cristal donde llega la luz, que la absorbe, y que, gracias a una estructura interna determinada, es capaz de generar energía eléctrica a partir de esa luz absorbida. Pues bien, el problema es que estas células son caras y como resultado esta energía puede resultar también cara y por tanto no competitiva.

Actualmente, tenemos diferentes dispositivos semiconductores capaces de realizar esta conversión de energía luminosa en eléctrica, el más conocido es el silicio. Las células de silicio comerciales tienen una eficiencia del 15-18 % que no está mal pero que no es excepcional."

"En este caso - nos apunta Pablo Benítez- la eficiencia se mide atendiendo a cuanta energía eléctrica obtengo con un vatio de luz, justo al revés que en los LEDs; los principios son muy parecidos".

"Te decía - continua Juan Carlos Miñano- que el silicio es el más conocido, pero hay otros semiconductores con mucha mayor eficiencia, de hecho el record actual de eficiencia de conversión de energía solar en eléctrica está en el 41,6%; realmente es un valor muy alto; date cuenta que, por ejemplo, en un coche la eficiencia de conversión de la energía química en energía de transporte es de un 30% y esto cuando se dan las mejores condiciones.

Bien, pues el semiconductor que tiene el record de eficiencia es una célula que llamada de *triple unión*. Son como tres células apiladas independientes (aunque no es que se construya por apilamiento mecánico, sino que en realidad se depositan sucesivamente tres materiales semiconductores distintos) especializadas cada una en un rango de colores de los fotones del sol, de modo que así sacan más partido de ellos. El problema es que estas células son muy caras y por ello hasta hace poco sólo se han estado utilizando para aplicaciones en el espacio. ¿En qué condiciones se pueden usar esas células en la tierra? La respuesta es sencilla: cuando su coste no afecte tanto al coste de la electricidad que producen.

Para conseguirlo se utiliza un sistema óptico capaz de concentrar la luz, así al poner células más pequeñas su coste se reduce y si este sistema óptico es barato pues, al final, el conjunto puede resultar rentable. Esto es lo que se conoce por Concentración Fotovoltaica. Dentro de este campo hemos desarrollado varias soluciones junto a la empresa LPI. La última de ellas realizada para la empresa aeroespacial Boeing.

Aunque ya hay varias empresas que comercializan esta tecnología aún no ha *explotado*. Pero estamos convencidos de su potencial. Si vemos sus gráficas de la evolución de la eficiencia y las comparamos las del Silicio, vemos que la de éste es plana, que ha llegado a su tope, mientras que la de la concentración fotovoltaica es una pendiente ascendente lo que significa que va mejorando notablemente año tras año."

#### Líneas de investigación de futuro

Para finalizar Juan Carlos Miñano me explica que sus expectativas de futuro se centran en una doble vía, el estudio de *metamateriales* y de tecnologías de *super-resolución*.

"Los *metamateriales* son materiales cuyas propiedades somos capaces de diseñar. En el caso de óptica, los materiales que se utilizan se caracterizan por diferentes parámetros, entre ellos es importante el índice de refracción (capacidad de un material de doblar los rayos de luz).

Los procedimientos actuales de fabricación y diseño de sistemas ópticos se basan en la utilización de materiales disponibles en la naturaleza, con índices de refracción entre 1 y digamos 3,5, y en jugar con ellos. De entre los materiales existentes, elegimos el que mejor se adecue a lo que necesitamos.

Pero ahora tenemos la capacidad de sintetizar un material para que tenga valores específicos de índice de refracción fuera de ese rango natural (Incluso valores negativos), o hacer que tenga diferentes valores dependiendo de la dirección en que venga la luz; esto es algo que cambia todas las técnicas de diseño, porque una cosa que dábamos por hecho que no se podía tocar, ahora es modificable". Actualmente no tenemos todavía total libertad para elegir las propiedades de un material, pero vamos en esa dirección.

Sin embargo, es en las tecnologías de *super-resolución* donde este investigador y su grupo están trabajando con mayor intensidad. Nos explica en qué consisten.

"Las radiaciones electromagnéticas son ondas con una longitud de onda determinada. Recordemos que las ondas se propagan por el aire o por diferentes materiales y que la longitud de onda es el espacio en que se repiten sus condiciones, el espacio en el que se vuelve a replicar.

Cuando se diseña, por ejemplo, un microscopio, hay un límite que se creía que no se podía superar y que tiene que ver con esa longitud de onda: si la longitud de onda es muy grande, se decía, yo no puedo resolver, distinguir dos cosas que estén separadas a una distancia muy inferior a la longitud de onda".

"Un buen ejemplo es el del microscopio- aclara Pablo Benítez-. Con él puedes ver cosas pequeñas, para lograrlo primero tienes que iluminar la muestra. Pues según este principio físico se creía que, si dos cosas, por ejemplo dos moléculas, están separadas a una distancia más pequeña que la longitud de onda de la luz con la que las iluminas, era imposible ver las dos moléculas separadas. La longitud de onda es la distancia entre los dos picos o valles de la onda. Esta es una limitación que siempre se ha creído fundamental, y de hecho, en todos los dispositivos ópticos actuales este principio se cumple".

Ahora es Juan Carlos Miñano quien continúa.

"Pues bien, nosotros estamos trabajando en unas líneas en las que se sobrepasa ese principio fundamental, es decir, en las que sí se pueden distinguir dos elementos que estén separadas a una distancia inferior a la longitud de onda de la luz con la que las iluminas. Esta capacidad ya existe con las técnicas de microscopía de fluorescencia. Nosotros estamos proponiendo técnicas alternativas en las que se puede conseguir sin necesidad de la fluorescencia."

Nos lo explica con otro ejemplo, "en microelectrónica es común tener que hacer pequeños dispositivos y una parte del proceso requiere de una fotolitografía; se trata de hacer una copia óptica de un circuito sobre una superficie. Pues bien, esa copia no se puede hacer perfecta porque la longitud de onda no es capaz de resolverlo, es decir, que se presenta el mismo problema que te comentábamos con el microscopio. Para solucionarlo lo que se hace es utilizar longitudes de onda cada vez más pequeñas, ultravioletas, etc..."

**Para abaratar el coste del semiconductor fotovoltaico más eficiente, la célula de triple unión, desarrollaron un sistema óptico capaz de concentrar las radiaciones de sol en estas células pero de un tamaño mínimo.**

**Los metamateriales son materiales cuyas propiedades somos capaces de diseñar para adaptarlos a nuestras necesidades.**

**"Creemos que es posible distinguir dos elementos separados a una distancia inferior a la longitud de onda de la luz con la que las iluminas".**

Por tanto, nuestras técnicas podrían permitir realizar esa copia óptica sin necesidad de que la longitud de onda sea muy pequeña. De momento son estudios incipientes, queda mucho por delante".

# Universidad Politécnica de Madrid

## CENTRO

### Líneas de Investigación

Sistemas ópticos aplicados a dispositivos optoelectrónicos, como los sistemas de concentración fotovoltaica, los de iluminación con LED´s (dispositivos semiconductores que pueden convertir la energía eléctrica directamente en luz), iluminación posterior de LCDs y comunicaciones ópticas inalámbricas.

### Personal

Investigador: Juan Carlos Miñano

---

### Datos de Contacto:

**Dirección:** CedInt-UPM, Campus de Montegancedo  
Pozuelo de Alarcón - Madrid

**Teléfono:** 91 336 45 00

**Web:** [www.cedint.org](http://www.cedint.org)