

La importancia de la Luz en nuestras vidas¹

Un repaso por la apasionante historia y relevancia
actual de la Óptica y la Fotónica

Apuntes de la Asignatura

Jesús Mirapeix Serrano

Grupo de Ingeniería Fotónica
Universidad de Cantabria



¹Asignatura enmarcada en el Programa Sénior de la Universidad de Cantabria.



Figura 1. El premio Nobel Shuji Nakamura, inventor del LED azul, durante su ponencia en la escuela de verano de la UIMP ISLiST, en Santander (Junio del 2017). Fuente: Grupo de Ingeniería Fotónica de la Universidad de Cantabria.

Queda prohibida, salvo excepción prevista por en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transforamción de esta obra sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sgts. Código Penal).

La importancia de la Luz en nuestras vidas

Mirapeix Serrano, Jesús

© 2020 Jesús Mirapeix Serrano

Universidad de Cantabria

39005 Santander

LA IMPORTANCIA DE LA LUZ EN NUESTRAS VIDAS

Estructura del Curso

Este curso se ha dividido en un total de **8 capítulos** en los que se pretende introducir al alumno los conceptos principales de la óptica y la fotónica: desde el uso de las primeras lentes de aumento hasta el uso del láser en infinidad de dispositivos y aplicaciones hoy en día.

▶ **Capítulo 1: Evolución histórica de la Óptica y la Fotónica**

Por medio de personajes clave como Arquímedes, Newton o Einstein, recorreremos la apasionante historia de la evolución de la Óptica hasta llegar a la Fotónica, con la invención de los omnipresentes láser y fibra óptica.

▶ **Capítulo 2: ¿Qué es la luz? Ondas y Partículas**

De una manera sencilla y amigable trataremos de acercarnos a uno de los “misterios” que más han preocupado y ocupado a cientos de científicos de los últimos siglos: ¿Qué es la Luz? ¿Es la luz una onda o una partícula?

▶ **Capítulo 3: Sol, Luz y Vida: comprendiendo el funcionamiento del Sol y la fotosíntesis**

La vida en nuestro planeta no existiría de no ser por el Sol y la energía que nos brinda cada segundo. De igual manera, la fotosíntesis, o lo que es lo mismo, la conversión que realizan las plantas de materia inorgánica a compuestos orgánicos gracias a la energía de la luz.

▶ **Capítulo 4: Láser, fibra óptica y su importancia en la sociedad actual: internet**

Nuestra sociedad no sería la misma si, allá por 1958, no se hubiese inventado el láser y, posteriormente, la fibra óptica. Internet, el gran fenómeno de las comunicaciones que ha revolucionado nuestra vida, no es más que luz (láser) que viaja a través del mundo por fibra óptica. Revisaremos brevemente la invención del láser, de la fibra óptica y sus fundamentos básicos.

▶ **Capítulo 5: Midiendo el mundo a través de los fotones: de la biomedicina a la ingeniería civil**

La luz no sirve sólo para comunicarnos a gran velocidad por medio de internet. También puede valernos para aplicaciones de lo más variado: desde delimitar de manera precisa células cancerígenas hasta evaluar en tiempo real el estado de un puente o una presa. En este capítulo mostraremos brevemente algunos ejemplos significativos que nos ayuden a comprender mejor esta faceta “oculta” de la luz.

▶ **Capítulo 6: El fenómeno de la visión: funcionamiento del ojo humano y animal**

Este acercamiento al mundo de la luz no sería completo si no somos capaces de comprender como funciona uno de los elementos más increíbles del cuerpo humano: el ojo y el sentido de la visión. Además, veremos las diferencias existentes con el sentido de la visión de otros miembros del reino animal.

▶ **Capítulo 7: Últimos avances de la fotónica y perspectivas de futuro**

En este capítulo final revisaremos algunos de los avances más recientes en el mundo de la óptica y la fotónica. Del mismo modo, veremos cuáles son las perspectivas de futuro de un campo de conocimiento fundamental en la actualidad y, sin duda, en las próximas décadas.

► **Capítulo 8: Experimentos en casa**

Por último, se propondrán a los alumnos una serie de sencillos experimentos que permitirán interiorizar los conceptos explicados a lo largo del curso.

Índice general

Índice general	1
7. Fotónica: situación actual y perspectivas de futuro	2
7.1. Relevancia de la fotónica a día de hoy	2
7.1.1. La Óptica y la Fotónica: esenciales en USA	2
7.1.2. Tecnologías facilitadoras clave en la Unión Europea	3
7.1.3. Óptica y Fotónica en los Premios Nobel de Física	4
7.2. Retos para las ciencias de la luz en los próximos años	4
7.2.1. La luz en las comunicaciones: el colapso de INTERNET	4
7.2.2. La luz en la energía: la era de las renovables	6
7.2.3. La luz en la medicina	8
7.2.4. La computación cuántica: los ordenadores del futuro	9
7.3. Conclusiones	10
Índice de figuras	11

CAPÍTULO 7

Fotónica: situación actual y perspectivas de futuro

En los capítulos anteriores se han introducido muchos conceptos asociados a la óptica y la fotónica. Se ha realizado un repaso histórico por los hitos más relevantes que han marcado el avance de estas disciplinas y se han presentado los conceptos básicos para comprender qué es la luz, cómo genera luz y energía el Sol, como funciona el láser y la fibra óptica.

En este capítulo que cierra la parte teórico-expositiva del curso¹ se presentarán algunas líneas de investigación en ciencias y técnicas de la luz que probablemente cristalizarán en avances clave para las próximas décadas

7.1. Relevancia de la fotónica a día de hoy

Sin embargo, antes de avanzar hasta esas perspectivas de futuro, puede ser un buen momento para resaltar brevemente la gran importancia que la fotónica ha alcanzado en nuestros días. Para ello, se mencionarán dos ejemplos significativos: Estados Unidos y Europa.

7.1.1. La Óptica y la Fotónica: esenciales en USA

En **Estados Unidos** la óptica y la fotónica han sido consideradas **tecnologías clave** para el desarrollo tecnológico del país, en un documento llevado a cabo por el Consejo Nacional de Investigación (*National Research Council*)² (ver Figura 7.1).

Aunque a lo largo del presente curso ya se han comentado los diferentes campos de aplicación derivados del uso de la luz, puede resultar interesante repasar los diferentes campos en los que el

¹En el último capítulo se expondrán algunos sencillos experimentos que el alumno puede realizar en casa.

²Si estás interesado en consultar el documento original (en inglés), puedes hacerlo en: <http://bit.ly/2Fksgji>

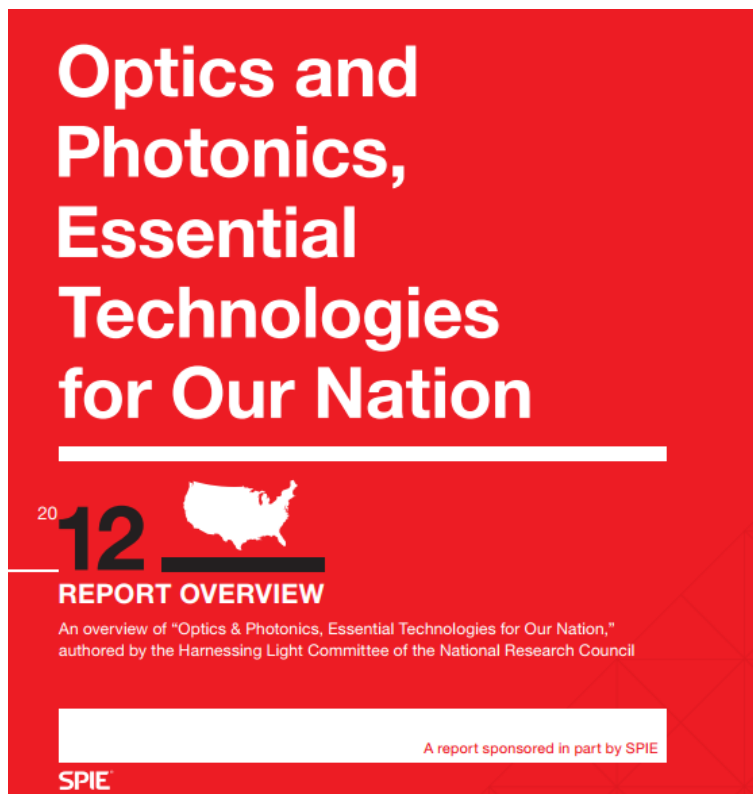


Figura 7.1. Portada del informe: “Optics and Photonics: Essential Technologies for our Nation”. Fuente: SPIE.

citado documento considera clave la contribución de la óptica y la fotónica:

1. Comunicaciones, procesamiento de información y almacenamiento de datos
2. Defensa y seguridad
3. Energía
4. Salud y medicina
5. Sensores
6. Procesos de fabricación avanzada
7. Materiales
8. Pantallas

7.1.2. Tecnologías facilitadoras clave en la Unión Europea

La Unión Europea ha seleccionado 6 tecnologías clave (*key enabling technologies*) para el desarrollo tecnológico de los países de la unión. Estas tecnologías son: nanotecnología, micro y nano-electrónica, materiales avanzados, tecnologías avanzadas de fabricación, biotecnología y, por supuesto, **fotónica**.

Importante 1.1: Tecnologías clave en la UE

Si tienes curiosidad, puedes buscar más información sobre las KET (Key Enabling Technologies) en el portal de la Comisión Europea: <http://bit.ly/2zDCRtZ>

7.1.3. Óptica y Fotónica en los Premios Nobel de Física

Otro indicador significativo desde el punto de vista de la relevancia de los campos de conocimiento relacionados con la luz es el número de Premios Nobel recibidos por investigadores trabajando en las diferentes líneas de investigación que tienen que ver con esta temática. Aunque no se va a realizar un análisis detallado, si se citarán algunos ejemplos a modo ilustrativo:

1901: Wilhelm Conrad Röntgen : por el descubrimiento de los remarcables rayos-X.

1918: Max Plank : por las aportaciones que realizó en favor al avance de la física, debido a sus descubrimientos sobre los cuantos de energía.

1921: Albert Einstein por sus aportaciones a la física teórica y, especialmente, por el descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico.

1922: Niels Bohr por sus servicios en la investigación de la estructura de los átomos y de la radiación que de ellos emana.

1964: Nikolái Gennádiyevich B́asov, Aleksandr Mijáilovich Prójorov y Charles Hard Townes por sus trabajos fundamentales sobre la electrónica cuántica, lo que ha permitido la construcción de osciladores y amplificadores basados en el principio máser-láser.

1997: Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji y William Daniel Phillips por el desarrollo de métodos para enfriar y atrapar átomos con luz láser.

2009: Charles Kao por sus logros pioneros sobre la transmisión de la luz a través de fibras para comunicación óptica.

2014: Shūji Nakamura, Hiroshi Amano e Isamu Akasaki por la creación del LED azul.

7.2. Retos para las ciencias de la luz en los próximos años

Como ya sabemos, la óptica y la fotónica o, genéricamente, las ciencias y tecnologías de la luz, engloban una gran cantidad de áreas diferentes, desde la medicina a los sectores industriales, pasando por las comunicaciones o la energía. En este sentido, los retos que se plantean en los próximos años son múltiples y apasionantes.

7.2.1. La luz en las comunicaciones: el colapso de INTERNET

Aunque hablamos de una invención reciente (internet comienza a ser común en los hogares españoles a principios/mediados de los años 90), **internet** se ha convertido hoy en día en una herramienta fundamental sin la que muchos no son capaces ya de imaginar el desarrollo de su



Figura 7.2. El premio Nobel Shuji Nakamura, inventor del LED azul, durante su ponencia en la escuela de verano de la UIMP ISLiST, en Santander (Junio del 2017). Fuente: Grupo de Ingeniería Fotónica de la Universidad de Cantabria.

actividad personal y/o profesional. Desde sus comienzos, y especialmente en los últimos años con la llegada de la fibra óptica a los hogares, la capacidad¹ de internet ha aumentado de manera vertiginosa, con varios operadores que a día de hoy ya ofertan velocidades por encima de los 100Mbps (megabits por segundo).

Sin embargo, la capacidad de transmisión de información de las fibras ópticas, si bien es muy elevada, no deja de ser limitada. Esto ha llevado a varios expertos a alertar sobre un posible “*capacity crunch*” o colapso en la capacidad de internet para 2023. Pese a que la investigación en el campo de las comunicaciones ópticas es continua, los medios de transmisión, ya sea un cable coaxial o una fibra óptica, tienen un límite físico de capacidad. Es evidente, además, que cada vez demandamos más datos de internet: películas, video-conferencias y fotografías con cada vez mayor calidad, archivos cada vez más grandes, etc. Con la tasa de crecimiento actual de la demanda, parece que ese límite podría alcanzarse en 2023, y los investigadores alertan sobre el cambio radical que esta situación podría conllevar, como un internet que no estuviese siempre “encendido” o un coste mucho más elevado de la conexión.

Esta situación se genera por la capacidad limitada de la fibra óptica convencional, pero se están estudiando alternativas basadas en **fibras ópticas especiales**. Un ejemplo de estas fibras especiales es la denominada **fibra de cristal fotónico**, que presenta un diseño distinto al de la fibra de comunicaciones convencional. En esta fibra no hay un núcleo típico que haga que el guiado de la fibra se base en la diferencia del índice de refracción núcleo/cubierta. Por el contrario, a lo largo de la sección longitudinal de la fibra existe un patrón microestructurado con varios pequeños “núcleos” típicamente de aire (también pueden ser sólidos). Esta estructura es la responsable de

¹En este contexto, por capacidad de un medio físico se entiende el volumen de información que es capaz de transmitir en un tiempo determinado.

que la luz sea confinada y guiada por la fibra, tal y como se muestra en la Figura 7.3.

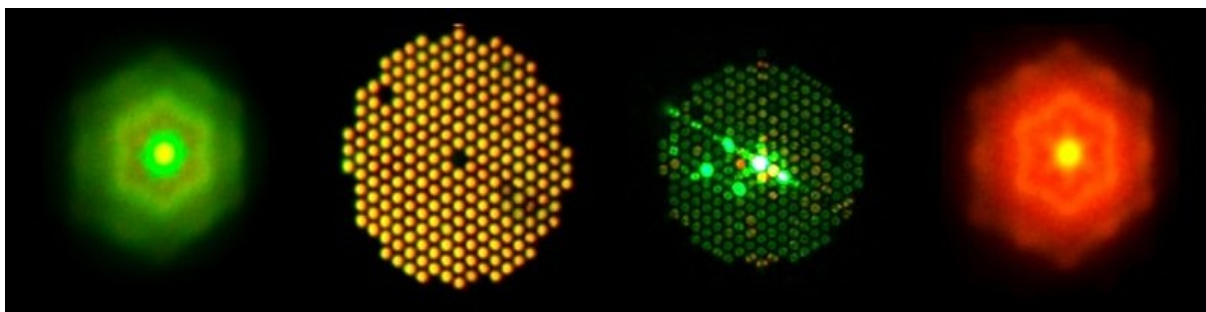


Figura 7.3. Luz confinada en una fibra óptica de cristal fotónico. Fuente: Wikimedia. Licencia: CC-BY-SA 3.0. <http://bit.ly/2ASpJVX>



Figura 7.4. Philip Russel, inventor de la fibra de cristal fotónico, durante la ceremonia asociada a la concesión del Doctor Honoris Causa por la UIMP en el marco de la escuela de verano ISLiST-2016. Fuente: UIMP.

7.2.2. La luz en la energía: la era de las renovables

Sin lugar a dudas, la generación y abastecimiento de energía a la creciente población mundial es uno de los retos fundamentales a los que se enfrenta nuestra sociedad. Además, la generación de energía sostenible, en el marco del conocido como cambio climático, se ha convertido en una prioridad en un gran número de países que han apostado fuertemente por el desarrollo de energías renovables no contaminantes, como la energía solar fotovoltaica o la eólica, por mencionar sólo un par de ejemplos.

En el campo de la **energía solar fotovoltaica**, que está experimentando un muy notable desarrollo a nivel mundial, **uno de los principales retos se centra en conseguir un aumento en la**

eficiencia de los paneles solares comerciales, que actualmente se sitúa en el entorno del 14-16% como máximo. Si bien los precios de esta tecnología han bajado de manera dramática en los últimos años de la mano del aumento en el número de instalaciones, esta mejora en el rendimiento es necesaria para que esta tecnología de un salto cualitativo. La consecución de eficiencias por encima del 20% llegará seguramente de la mano de nuevas tecnologías fotovoltaicas¹ como por ejemplo las **células solares orgánicas** (ver Figura 7.5).

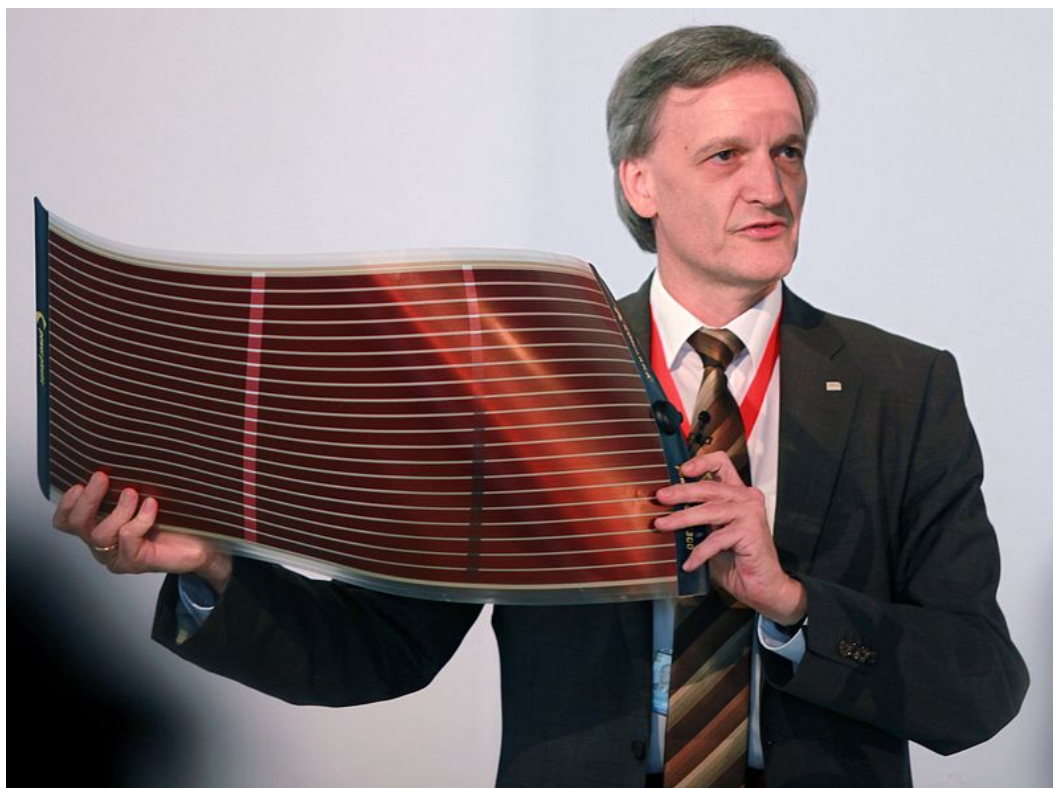


Figura 7.5. Célula solar orgánica presentada por el Dr. Thomas Geelhaar (presidente de Merck KGaA). Fuente: Wikimedia (Armin Kübelbeck). Licencia: CC-BY-SA 3.0. <http://bit.ly/2ASKYX0>

También la **energía solar de concentración**² o **solar termo-eléctrica** está llamada a ser uno de los principales actores en el marco de las energías renovables de los próximos años. Esta tecnología está basada en el uso de un campo de espejos que concentra la energía del Sol en un punto de una torre donde se calienta un líquido que, posteriormente, es usado para generar electricidad mediante una turbina. La mejora en el rendimiento de estas instalaciones y su desarrollo en diferentes países será importante para una mayor contribución de las energías renovables en los próximos años. Cabe destacar que España es, a día de hoy, el primer país a nivel mundial en instalaciones solares de concentración.

Por último, la energía basada en los **generadores de fusión**, esto es, aquellos que tratan de imitar la generación de energía en las estrellas, pueden suponer una auténtica revolución si finalmente llegan a convertirse en una realidad. Como ya se explicara en capítulos anteriores, existen proyectos como ITER que, desde hace muchos años, tratan de desarrollar la tecnología necesaria.

¹,

²Del inglés CSP: *Concentration Solar Power*



Figura 7.6. Instalación solar de concentración en Ivanpah (USA). Fuente: Wikimedia. Licencia: CC-BY-SA 4.0. <http://bit.ly/2jdz14r>

7.2.3. La luz en la medicina

Como ya se ha discutido en el presente curso, las aplicaciones de las ciencias de **la luz en el campo de la biomedicina** son múltiples y no se limitan al mero uso del láser como herramienta quirúrgica o terapéutica. Técnicas basadas en la espectroscopía de absorción, el scattering o la luminiscencia pueden ser de gran utilidad a la hora de avanzar en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades tan relevantes como el cáncer. En este sentido, la mejora en el diagnóstico y delimitación de tumores sería un avance fundamental en este contexto. Además, el uso de terapias foto-dinámicas abre la ventana, no sólo al diagnóstico, sino también al tratamiento de las variantes de esta enfermedad mediante un uso inteligente de la luz, probablemente mediante el uso de ciertas partículas que, una vez introducidas en nuestro cuerpo, serán capaces de encontrar y fijarse a los tumores y, posteriormente, de reaccionar de la manera deseada frente a la luz con que se les irradie.

Importante 2.1: Nanopartículas de oro para atacar al cáncer

Un ejemplo de lo anteriormente comentado lo encontramos en los trabajos de la científica **Naomi Halas**, inventora de las **nano-partículas de oro**, que actualmente investiga su potencial para ser usadas en la posible dosificación de tratamientos en tumores mediante su activación remota por láser. Para más información (artículo en inglés): <http://bit.ly/2zzvN13>

7.2.4. La computación cuántica: los ordenadores del futuro

Desde hace ya muchos años diferentes grupos de investigadores de todo el mundo centran sus esfuerzos en el diseño y desarrollo de los ordenadores o **computación cuántica**. Se trata de un nuevo paradigma de ordenador en el que ya no se trabajará con bits que pueden tomar los valores digitales de 1 y 0, sino que estos ordenadores trabajarán con **qbits que podrán tomar simultáneamente ambos valores de 1 y 0 (lo que se conoce como superposición de estados)**. Este hecho, que puede parecer cuando menos contradictorio, se basa en las leyes de la física cuántica que trata de explicar los fenómenos que ocurren en el dominio de lo “muy pequeño”, que aplica a átomos, fotones, etc. De hecho, tiene relación con lo ya comentado en el curso sobre la dualidad onda-partícula.

Analicemos la Figura 7.7, donde vemos como el mismo objeto proyecta dos sombras distintas sobre dos paredes: dependiendo de cual observemos, la impresión que tendremos sobre el objeto será distinta. Esta analogía es extrapolable al caso de los qbots y su superposición de estados, que es el concepto en el que se basan los computadores cuánticos para poder realizar operaciones en paralelo y, por tanto, mucho más rápido que en un ordenador convencional.

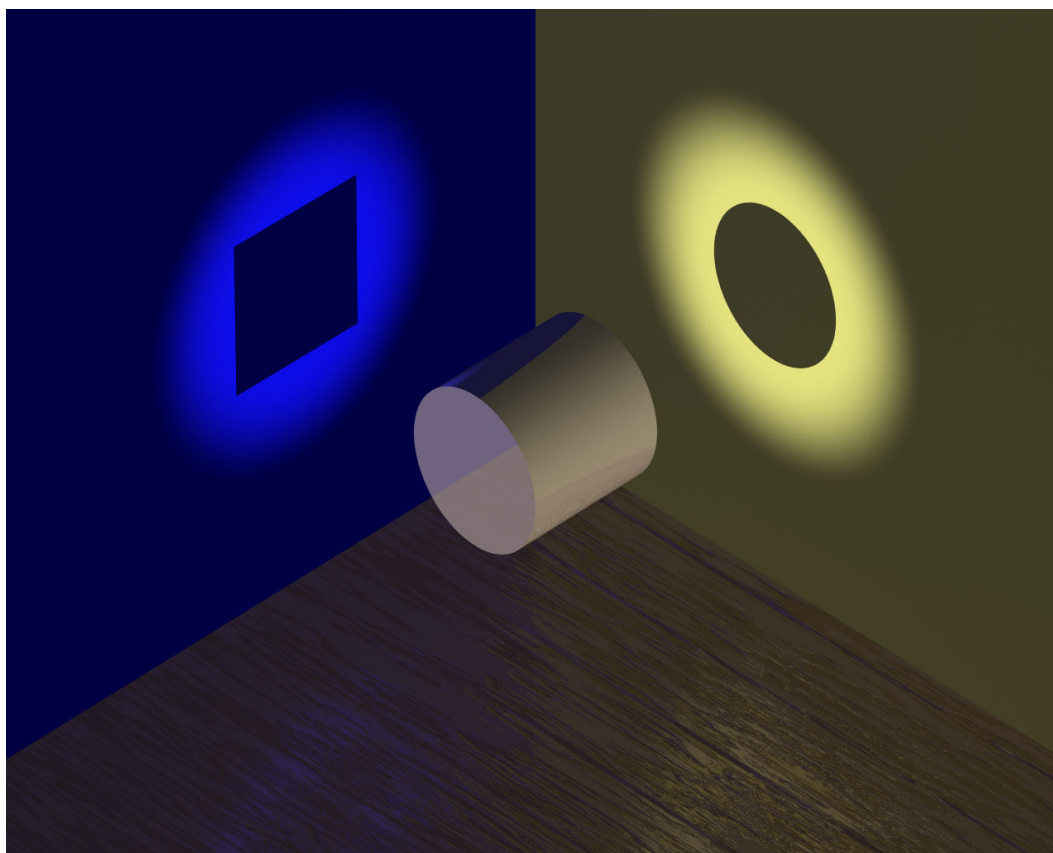


Figura 7.7. Imagen ilustrativa de la dualidad onda-partícula: un mismo fenómeno puede tener dos percepciones distintas. Fuente: Wikimedia. Licencia: CC-BY-SA 2.5. <http://bit.ly/2iJWkpM>

Dentro de los avances encaminados hacia la computación cuántica, merece la pena destacar el hallazgo de físicos de la Universidad Nacional de Australia que han sido capaces de detener la luz

en el aire mediante una “trampa” para fotones¹.

Importante 2.2: Física Cuántica

Las leyes de la física/mecánica cuántica son tan extrañas y desconcertantes en ocasiones que han dado lugar a célebres citas por parte de eminentes científicos. Veamos un par de ejemplos:

“Si la mecánica cuántica no te ha producido un gran shock es que aún no la has comprendido” (Niels Bohr)

“Creo que puedo afirmar sin temor a equivocarme que nadie entiende la mecánica cuántica” (Richard Feynman)

7.3. Conclusiones

En el presente capítulo, con el que se cierra la parte teórica del presente curso, se han presentado algunas de las líneas de investigación clave en ciencias y tecnologías de la luz aplicadas a diferentes ámbitos. Como ya hemos visto a lo largo del curso, la óptica y la fotónica tienen presencia en multitud de campos de aplicación. Así, el mundo de las comunicaciones necesitará del desarrollo de nuevas fibras ópticas para poder satisfacer la siempre creciente demanda de internet. En el ámbito de la energía se espera que las investigaciones en curso permitan el desarrollo de nuevas células solares fotovoltaicas más eficientes, sostenibles y viables desde el punto de vista económico. Además, la demostración del generador de fusión sería, sin lugar a dudas, uno de los hitos que marcaría el devenir del presente siglo.

Las ciencias biomédicas también se beneficiarán de los avances en estos campos de conocimiento y, seguramente, muchos de estos estarán centrados en el tratamiento del cáncer. Por último, la computación cuántica promete cambiar radicalmente el tipo de ordenador que utilizaremos en las próximas décadas: ordenadores mucho más rápidos y, por lo tanto, capaces de realizar operaciones mucho más complejas en mejor tiempo.

¹Para más información: <http://bit.ly/2BJYoCP>.

Índice de figuras

1.	El premio Nobel Shuji Nakamura, inventor del LED azul, durante su ponencia en la escuela de verano de la UIMP ISLiST, en Santander (Junio del 2017). Fuente: Grupo de Ingeniería Fotónica de la Universidad de Cantabria.	II
7.1.	Portada del informe: “Optics and Photonics: Essential Technologies for our Nation”. Fuente: SPIE.	3
7.2.	El premio Nobel Shuji Nakamura, inventor del LED azul, durante su ponencia en la escuela de verano de la UIMP ISLiST, en Santander (Junio del 2017). Fuente: Grupo de Ingeniería Fotónica de la Universidad de Cantabria.	5
7.3.	Luz confinada en una fibra óptica de cristal fotónico. Fuente: Wikimedia. Licencia: CC-BY-SA 3.0. http://bit.ly/2ASpJVX	6
7.4.	Philip Russel, inventor de la fibra de cristal fotónico, durante la ceremonia asociada a la concesión del Doctor Honoris Causa por la UIMP en el marco de la escuela de verano ISLiST-2016. Fuente: UIMP.	6
7.5.	Célula solar orgánica presentada por el Dr. Thomas Geelhaar (presidente de Merck KGaA). Fuente: Wikimedia (Armin Kübelbeck). Licencia: CC-BY-SA 3.0. http://bit.ly/2ASKYX0	7
7.6.	Instalación solar de concentración en Ivanpah (USA). Fuente: Wikimedia. Licencia: CC-BY-SA 4.0. http://bit.ly/2jdz14r	8
7.7.	Imagen ilustrativa de la dualidad onda-partícula: un mismo fenómeno puede tener dos percepciones distintas. Fuente: Wikimedia. Licencia: CC-BY-SA 2.5. http://bit.ly/2iJWkpM	9