

La importancia de la Luz en nuestras vidas:¹

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 0. Imagen de la Tierra captura desde la sonda Voyager-1 (primera fotografía tomada del Sistema Solar). Fuente: NASA (Dominio Público). https://es.wikipedia.org/wiki/Un_punto_azul_p%C3%A1lido#/media/File:PaleBlueDot.jpg

Desde este lejano punto de vista, la Tierra puede no parecer muy interesante. Pero para nosotros es diferente. Considera de nuevo ese punto. Eso es aquí. Eso es nuestra casa. Eso somos nosotros. Todas las personas que has amado, conocido, de las que alguna vez oíste hablar, todos los seres humanos que han existido, han vivido en él.

La suma de todas nuestras alegrías y sufrimientos, miles de ideologías, doctrinas económicas y religiones seguras de sí mismas, cada cazador y recolector, cada héroe y cobarde, cada creador y destructor de civilizaciones, cada rey y campesino, cada joven pareja enamorada, cada madre y padre, cada niño esperanzado, cada inventor y explorador, cada profesor de moral, cada político corrupto, cada "superestrella", cada "líder supremo", cada santo y pecador en la historia de nuestra especie ha vivido ahí: en una mota de polvo suspendida en un rayo de sol.

Carl Sagan: astrónomo, astrofísico, cosmólogo, escritor y divulgador científico estadounidense.

La importancia de la Luz en nuestras Vidas

Mirapeix Serrano, Jesús

© 2023 Jesús Mirapeix Serrano.

Esta obra está disponible bajo licencia Creative Commons.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Universidad de Cantabria

39005 Santander

PREFACIO

Cada profesor, cada investigador, cada persona que trabaja en un área relacionada con la ciencia, siente probablemente que su campo de trabajo es clave y de una importancia superior, si no a todos los restantes, sí a buena parte de ellos.

Como no puede ser de otra manera, a mí me ocurre algo parecido y, aunque he confesar que llegué de manera accidental a la Fotónica, siento que mi campo de estudio y trabajo es, cuando menos, de una notable importancia para la sociedad.

Esta es precisamente una de las principales motivaciones de la creación e impartición de este curso, el hacer llegar al alumno no sólo qué es la luz y cómo se comporta, sino también las diferentes aplicaciones y tecnologías que, usando la luz como elemento fundamental, hoy en día nos rodean tanto en nuestras casas como en los hospitales que visitamos, los aviones en los que viajamos o en las empresas que fabrican los objetos que utilizamos habitualmente.

La historia de la evolución de la Óptica y la Fotónica es apasionante y comienza varios siglos antes de nuestra era y avanza con leyendas que se mezclan con la historia (Arquímedes y su defensa de Siracusa) con personajes relevantes que han pasado casi al olvido (Al-Hazen) y llega hasta (casi) nuestros días con nombres tan conocidos como el de Albert Einstein (que, por ejemplo, recibe el Premio Nobel de Física por su explicación del efecto fotoeléctrico).

Comenzaremos precisamente este curso con un repaso por la historia de la Óptica y la Fotónica que nos permita contextualizar la situación actual de este campo de conocimiento. Pasaremos seguidamente a tratar de responder a la difícil pregunta: ¿qué es la luz? Seguidamente nos adentraremos en los misterios de las estrellas, en particular del Sol, para entender cómo es capaz de generar unas cantidades tan grandes de energía.

En este punto avanzaremos hacia el presente y profundizaremos en el funcionamiento de la fibra óptica, elemento clave sin que las comunicaciones actuales (por ejemplo Internet) no podrían comprenderse. Relacionaremos la fibra óptica con diferentes aplicaciones que nos permiten interactuar con nuestro entorno por medio de los fotones, particularmente en el desarrollo de sensores con campos de aplicación desde la biomedicina a las grandes infraestructuras civiles.

No nos olvidaremos del fenómeno de la visión, tanto humano como animal, para dar explicación a cómo somos capaces de percibir el mundo que nos rodea por medio de este fantástico sentido. Por último, se presentarán algunos avances clave en el ámbito de la fotónica y se dejarán entrever las posibles perspectivas de futuro que marcarán nuestras vidas en los próximos años.

Estoy seguro de que este curso te va a resultar apasionante: embárcate e, imitando a Einstein, imagínate cabalgando sobre un haz de luz para comenzar esta aventura.

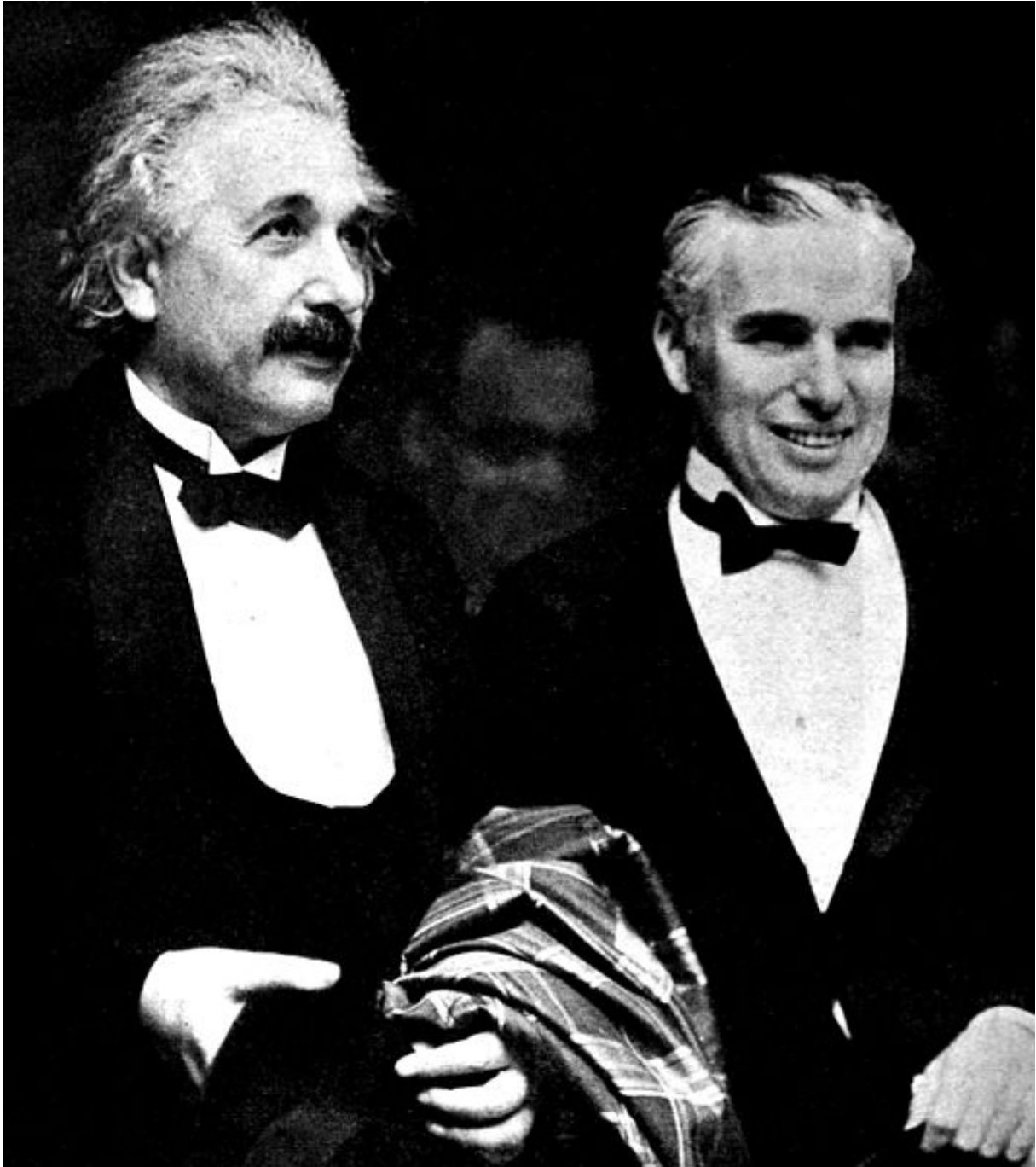


Figura 1. Fotografía de Einstein y Charles Chaplin en Los Ángeles en 1931 con motivo del estreno de la película "City Lights". Fuente: Photoplay magazine (Dominio Público). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albert_Einstein_and_Charlie_Chaplin_-_1931.jpg

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 de las estrellas 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.

Acrónimos y símbolos

A	Amplitud de una onda	LASER	Luz amplificada por emisión estimulada de radiación
c	Velocidad de la luz en el vacío	LIBS	Laser Induced Breakdown Spectroscopy (espectroscopía de ruptura inducida por láser)
CD	<i>Compact Disc</i> (disco compacto)	m	Masa (asociada a un objeto)
CSP	<i>Concentrating Solar Power</i> (energía solar de concentración o termoeléctrica)	Mbps	Megabits (10^6 bits) por segundo (asociado a la velocidad de transferencia de información)
dB	Decibelio	n	Índice de refracción (densidad óptica de un medio)
d_m	Distancia mínima (hablando del proceso de visión y de acomodación del cristalino)	s	espacio (distancia)
E	Energía	t	tiempo (p. ej. transcurrido entre dos eventos)
f	Frecuencia de una onda	T	periodo de una onda
FBG	Fiber Bragg grating (red de difracción de fibra)	UV	Ultravioleta
FTTH	<i>Fiber to the Home</i> (fibra hasta el hogar)	v	Velocidad de la luz en un medio
h	constante de Planck ($6.63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$)		
IR	Infrarrojo		

Glosario

Absorción de luz proceso en el que un fotón de luz es absorbido por un átomo en el que, aprovechando la energía del fotón, un electrón sube desde un nivel inferior de energía a uno superior.

Amplitud (de una onda) indica intensidad o energía asociada a la misma.

Bastones fotorreceptores encargados de la percepción de imágenes (detalles, formas, contornos) en condiciones de poca luminosidad.

Conos fotorreceptores encargados de la percepción de los colores.

Córnea estructura en forma de hemisferio y transparente que se sitúa en la parte externa del ojo y cuya misión es permitir el paso de la luz y proteger al iris.

Corpúsculo en el contexto de este curso se ha empleado como sinónimo de “partícula”.

Cristalino estructura del ojo que funciona como una lente, en particular como una lente bi-convexa, con el objetivo de permitir enfocar objetos que se sitúan a diferentes distancias.

Dispersión fenómeno que se produce cuando la luz es descompuesta en sus diferentes “colores” o longitudes de onda (no confundir con la dispersión de los pulsos de luz en comunicaciones ópticas).

Dualidad onda-partícula referido al comportamiento dual de la luz (como onda o como partícula) en función del experimento que se use para su observación.

Efecto fotoeléctrico propiedad mediante la cual algunos materiales son capaces de generar corriente eléctrica al recibir radiación electromagnética (luz).

Emisión espontánea de luz luz emitida por un átomo cuando uno de sus electrones pierde energía al pasar de un nivel superior a uno inferior. Es el proceso de emisión de luz que se produce en el Sol o en una bombilla incandescente.

Emisión estimulada de luz proceso de emisión de luz asociado a las fuentes de tipo láser.

Energía capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, etc.

Energía solar fotovoltaica energía renovable basada en la conversión de la luz del Sol en energía eléctrica por medio del efecto fotoeléctrico.

Energía solar termo-eléctrica energía renovable basada en la conversión de la energía procedente del Sol en forma de calor en energía eléctrica mediante el calentamiento de un fluido y el uso de una turbina convencional.

Espectro en óptica, un espectro es la representación de la luz descompuesta en sus “colores” o longitudes de onda. en sus colores o longitudes de onda.

Espectroscopía ciencia que estudia la interacción entre luz y materia.

Física (o Mecánica) cuántica rama de la Física que se dedica al estudio de la naturaleza a escalas muy pequeñas (átomos, etc.).

Frecuencia (de una onda) indica lo rápido lento que varía la misma.

Fotónica ciencia que estudia la generación, control y detección de la luz (fotones) y que vincula a la óptica y la electrónica. Nace con la invención del láser a finales de la década de los 50.

Fotosíntesis proceso en el que las plantas, aprovechando la energía del Sol, generan su propia comida en forma de azúcares. Para ello, al margen de la luz solar, las plantas necesitan también agua, minerales y CO₂.

Fotorreceptores células de la retina que permiten la conversión de las imágenes generadas en el ojo a impulsos eléctricos que serán interpretados por el cerebro.

Fóvea área de la retina donde se enfocan los rayos de luz, estando especialmente dedicada a la visión en color.

Fusión nuclear Proceso por el que se genera energía en las estrellas y que parte de átomos “ligeros” para llegar a formar una más pesado.

Generador de fusión tecnología de generación de energía que trata de imitar el proces de fusión nuclear en las estrellas.

Grating red de difracción o de Bragg que, normalmente grabada en una fibra óptica, permite medir temperatura y strain mediante las variaciones en la longitud de onda de la luz reflejada.

Índice de refracción indica la “densidad óptica” de un material y, por lo tanto, la velocidad con la que la luz viajará por él. A mayor índice de refracción, mayor densidad y menor será la velocidad de la luz en ese medio.

Iris estructura que controla la cantidad de luz que recibe el ojo

Láser dispositivo capaz de generar luz con unas características “especiales”, ya que todos los fotones generados en el proceso comparten las mismas caraterísticas (fase, frecuencia, etc.). Con la invención del láser nace el campo de conocimiento conocido como “fotónica”.

Lente dispositivo capaz de desviar los rayos de luz, transparente (normalmente de vidrio) y limitado por dos superficies.

LIDAR “radar” óptico que permite la medición de distancia mediante la estimación del tiempo de ida y vuelta de un pulso de luz.

Luminiscencia propiedad que tienen algunos cuerpos de emitir luz “fría”, cuyo origen es otro tipo de radiación electromagnética.

Microscopio instrumento que sirve para ver objetos muy pequeños mediante lentes que aumentan la imagen.

Miopía

Onda movimiento periódico que se propaga en un medio físico o en el vacío transportando energía.

Óptica es la rama de la física que estudia las propiedades de la luz, incluyendo su interacción con la materia y la construcción de elementos que hagan uso de ella o permitan su detección

Partícula elemento constituyente de la materia.

Periodo (de una onda) indica lo rápido o lento que varía una onda, en concreto el tiempo que tarda la onda en volver a pasar por el mismo estado.

Polarización dirección de vibración de la luz.

Presbicia dificultad para ver con nitidez objetos cercanos provocada por la pérdida de la capacidad de adaptación del cristalino.

Red de difracción componente que divide la luz en varios haces de luz que viajan en diferentes direcciones.

Refracción cambio de dirección y velocidad que experimenta la luz al pasar de un medio a otro con distinta “densidad óptica” o “índice de refracción”.

Reflexión cambio de dirección o sentido de la luz cuando se le interpone un obstáculo como, por ejemplo, un espejo.

Reflexión interna total fenómeno que explica la propagación de la luz en la fibra óptica y que se presenta, en función del ángulo de entrada de la luz, cuando existen dos medios con índices de refracción diferentes.

Retina auténtico sensor o transductor del ojo humano, permitiendo la conversión de luz en impulsos eléctricos que son posteriormente interpretados por el cerebro.

Scattering (dispersión) los procesos de *scattering* se generan cuando la luz se encuentra con obstáculos puntuales, siendo redirigida en otras direcciones.

Sensor dispositivo que convierte una magnitud física o química en otra magnitud, normalmente eléctrica, que trata de hacer una medida cuantitativa del fenómeno.

Sensor distribuido sensor que permite la realización de medidas de una determinada magnitud física a lo largo de una distancia determinada, por ejemplo mediante el uso de una fibra óptica.

Sensor puntual sensor que permite la realización de medidas en un punto específico.

Strain tensión o elongación, aplicado a los sensores de fibra óptica.

Tapetum lucidum membrana reflectante situada detrás de la retina en muchos animales, como en gatos y perros, y que permite reflejar la luz mejorando así la sensibilidad de la visión.

Telescopio dispositivo que permite observar objetos lejanos ampliando su imagen mediante el uso de espejos y lentes.

Termografía infrarroja tecnología que permite capturar, normalmente mediante cámaras, la radiación infrarroja emitida por los cuerpos, a partir de la cual puede estimarse su temperatura.