



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Metrología cuántica con orden temporal no causal
Title:	Quantum metrology with indefinite causal order
Tutor/es:	Luis Lorenzo Sánchez Soto
E-mail tutor/es:	lsanchez@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Recientemente se ha desarrollado un marco teórico que asume que las operaciones están descritas por la mecánica cuántica, pero donde no se hace referencia alguna a relación causal entre estas operaciones. La noción central del formalismo es la de proceso, que es una generalización muy natural de la noción de estado físico (grados de libertad en una hipersuperficie de género espacio) y de un canal (grados de libertad en una hipersuperficie de género tiempo).

Sorprendentemente, este formalismo permite procesos que no están ordenados casualmente ni una mezcla probabilística de procesos ordenados casualmente; es decir, no pueden entenderse como canales o estados cuánticos.

Este trabajo propone explorar las consecuencias de estas estructuras acausales y, muy especialmente, su aplicación en metrología cuántica de procesos unitarios.

Metodología:

En este TFG se propone estudiar el uso de un interruptor cuántico (quantum switch), un sistema que puede controlar coherentemente el orden en el que se aplican las operaciones y, por tanto, realizar superposiciones de circuitos causales. Tales superposiciones causales ofrecen ventajas sustanciales para diversas tareas cuánticas. En este caso nos centraremos en metrología cuántica con fotones, intentando demostrar que el famoso límite de resolución de Heisenberg (con un comportamiento $1/N$, siendo N el número de fotones) puede violarse, dando lugar a superresolución, con importantes ventajas sobre esquemas convencionales.

Especial atención se prestará al caso de canales que representan diversos tipos de ruido (depolarización, defase, etc) y cómo la acción del orden acausal permitiría estimar parámetros que resultarían imposibles con orden causal.

Bibliografía:

- O. Oreshkov, F. Costa, Ā. Brukner: Quantum correlations with no causal order, Nat. Commun. 3, 1092 (2012).
- C. Branciard, M. Araújo, F. Costa, A. Feix, and Ā. Brukner: The simplest causal inequalities and their violation, New J. Phys. 18, 013008 (2016).
- X. Zhao, Y. Yang, G. Chiribell: Quantum metrology with indefinite causal order, Phys. Rev. Lett. 124, 190503 (2020).
- A. Z. Goldberg, L. L. Sánchez-Soto, K. Heshami: Evading noise in multiparameter quantum metrology with indefinite causal order, Phys. Rev. Research 5, 033198 (2023).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Estudio de los fundamentos de las tecnologías cuánticas bajo un enfoque bohmiano
Title:	Study of the fundamentals of quantum technologies under a Bohmian perspective
Tutor/es:	Ángel S. Sanz Ortiz
E-mail tutor/es:	a.s.sanz@fis.ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El año 2025 ha sido designado por la UNESCO Año Internacional de la Ciencia y Tecnologías Cuánticas. Ello se debe al creciente interés e impacto tecnológico que está teniendo y se prevee que tenga a medio y largo plazo la física cuántica sobrevenida tras lo que se ha denominado la Segunda Revolución Cuántica. Todas estas tecnologías, desde la teleportación o la distribución de claves cuánticas hasta la computación o la metrología cuánticas, se sustentan sobre dos elementos clave o recursos, como son la coherencia cuántica y el entrelazamiento cuántico. Y estos dos elementos, a su vez, contienen en sí el fenómeno o propiedad más intrigante de la física moderna, que escapa a nuestra comprensión del mundo tal y como los vemos a nuestro alrededor: la no localidad de la mecánica cuántica.

El objetivo principal de este trabajo es incorporar al conocimiento adquirido por el estudiante durante el Grado una visión moderna de la óptica cuántica como herramienta para el estudio de problemas importantes dentro del ámbito de los fundamentos cuánticos, que aún siguen siendo objeto de debate y discusión. En concreto, lo que se plantea es una revisión y análisis de dichos elementos clave, así como resultados fundamentales, como son las desigualdades de tipo Bell, desde un punto de vista evento a evento (fotón a fotón) basado en la representación bohmiana de la mecánica cuántica.

Metodología:

- Revisión bibliográfica.
- Estudio y desarrollo de teoría y, en la medida de lo posible (es decir, tanto como la teoría permita), de soluciones analíticas.
- Determinación por medio de simulaciones numéricas de la propagación de trayectorias promedio de fotones y de los campos de fase y su gradiente (momento transversal) empleando, con tal fin, programas desarrollados dentro del grupo.
- Estudio y análisis crítico de datos mediante el empleo de software especializado.
- Seguimiento de la evolución del trabajo mediante tutorías periódicas, con discusión crítica de los resultados en seminarios de grupo.

Bibliografía:

- Quantum Computing for the Quantum Curious, C. Hughes, J. Isaacson, A. Perry, R. F. Sun, and J. Turner (Springer, Heidelberg, 2021).
- "Light for the quantum. Entangled photons and their applications: a very personal perspective," A. Zeilinger, Physica Scripta 92, 072501 (2017).
- Quantum Computation and Quantum Information Theory, Eds. C. Macchiavello, G. M. Palma, and A. Zeilinger (World Scientific, 2000).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Espectroscopia Raman: Principios Físicos y Análisis Espectral
Title:	Raman Spectroscopy: Physical Principles and Spectral Analysis
Tutor/es:	Laura Martínez Maestro y Rosa Weigand
E-mail tutor/es:	lmmaestro@ucm.es, weigand@fis.ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Este proyecto se centra en la espectroscopia Raman, una técnica espectroscópica vibracional basada en la dispersión inelástica de la luz. Desde la aparición del primer espectrómetro Raman comercial allá por 1953, y gracias a ciertas mejoras en láseres y detectores, además del descubrimiento de algunos fenómenos, esta técnica se ha utilizado en varios campos de investigación.

El objetivo principal de este proyecto es intentar entender los fundamentos de la espectroscopia Raman, tanto desde un punto de vista teórico como a través de una revisión de la bibliografía existente sobre trabajos relevantes en diversos materiales. Existe la posibilidad de que se tomen espectros de distintos materiales para su posterior procesado.

Metodología:

- Revisión Bibliográfica: Se realizará una revisión bibliográfica de la espectroscopía Raman, las técnicas de procesamiento de datos utilizadas en la espectroscopía Raman.
- Análisis Específico de Materiales: Se seleccionarán 2 ó 3 materiales específicos y analizará artículos que detallen cómo se ha utilizado la técnica para estudiar sus propiedades.
- Procesamiento de Datos: De un conjunto de datos espectrales Raman existentes se desarrollará código para su análisis.
- Propuesta de Optimización de Métodos: Basado en la revisión bibliográfica y el ejercicio de procesamiento de datos, se propondrá y justificará posibles optimizaciones a los métodos de espectroscopía Raman existentes para una aplicación específica.

Bibliografía:

1. Lewis, I. R., & Edwards, H. (2001). *Handbook of Raman spectroscopy: from the research laboratory to the process line*. CRC press.
2. Dietzek, B., Cialla, D., Schmitt, M., & Popp, J. (2010). Introduction to the fundamentals of Raman spectroscopy. In *Confocal Raman Microscopy* (pp. 21-42). Springer, Berlin, Heidelberg.
3. Xu, Z., He, Z., Song, Y., Fu, X., Rommel, M., Luo, X., ... & Fang, F. (2018). Topic review: application of Raman spectroscopy characterization in micro/nano-machining. *Micromachines*, 9(7), 361.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Imagen de campo oscuro
Title:	Dark field imaging
Tutor/es:	Tatiana Alieva
E-mail tutor/es:	talieva@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

La microscopía de campo oscuro es una técnica que aprovecha la iluminación oblicua (que excluye el haz no disperso) para mejorar el contraste en muestras, revelar contornos, bordes, gradientes de índice de refracción y visualizar los objetos de tamaños menores que la resolución en condiciones de iluminación normales (campo claro). Las técnicas de imagen de campo oscuro se usan en microscopía óptica como electrónica, así como en imagen de rayos X.

El objetivo de este trabajo es entender la formación de imagen de campo oscuro, analizar diferentes modalidades y aplicaciones de esta técnica, analizar unas imágenes experimentales.

Metodología:

Revisión bibliográfica sobre los conceptos fundamentales de la imagen de campo oscuro.

Análisis y aplicaciones de diversas modalidades de imagen de campo oscuro.

Implementación experimental de una de estas modalidades para su evaluación práctica.

Redacción de la memoria del Trabajo de Fin de Grado (TFG).

Bibliografía:

<https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/techniques/darkfieldjava/>
P. F. Gao, G. Lei, and C. Z. Huang, Dark-Field Microscopy: Recent advances in accurate analysis and emerging applications, *Anal. Chem.* 2021, 93, 4707 (2021).

R. Fakhrullin, L. Nigamatyanova, and G. Fakhrullina, Dark-field/hyperspectral microscopy for detecting nanoscale particles in environmental nanotoxicology research, *Science of the Total Environment* 772, 145478 (2021)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Interacción luz-materia: fundamentos y aplicaciones
Title:	Light-matter interaction: fundamentals and applications
Tutor/es:	José A. Rodrigo
E-mail tutor/es:	jarmar@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Estudio y comprensión de los fundamentos de la interacción luz-materia y sus aplicaciones.

Los objetivos y metodología de este trabajo coinciden con el TFG OPT13.

Metodología:

1. Revisión bibliográfica de conceptos fundamentales sobre la interacción luz-materia y sus aplicaciones en el contexto de la Óptica Física.
2. Estudio de diferentes técnicas de interés tecnológico que exploten la interacción luz-materia, por ejemplo: trampas láser para manipulación de átomos y nano/micro-partículas, plasmónica, micro-mecanizado de materiales con láser, etc.
3. Cada estudiante elegirá un tema diferente, a partir de esta lista (punto 2) y tras realizar un estudio inicial de la bibliografía indicada en este documento. Búsqueda y estudio de bibliografía actual (artículos de investigación) especializada relacionada con el tema elegido.
4. Redacción de la memoria y discusión de resultados.

Bibliografía:

1. Ashkin, A. Optical Trapping and Manipulation of Neutral Particles Using Lasers: A Reprint Volume With Commentaries (World Scientific Publishing Company, 2006).
2. Iida, T. & Ishihara, H. Theory of resonant radiation force exerted on nanostructures by optical excitation of their quantum states: From microscopic to macroscopic descriptions. Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys. 77, 116 (2008).
3. Chu, S., Hollberg, L., Bjorkholm, J. E., Cable, A. & Ashkin, A. Three-dimensional viscous confinement and cooling of atoms by resonance radiation pressure. Phys. Rev. Lett. 55, 4851 (1985).
4. Gattass, R. R. & Mazur, E. Femtosecond laser micromachining in transparent materials. Nat. Photon. 2, 219225 (2008).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Metasuperficies para el control de la luz
Title:	Metasurfaces for light control
Tutor/es:	Luis Miguel Sánchez Brea, Ángela Soria García
E-mail tutor/es:	optbrea@ucm.es, angsoria@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Análisis bibliográfico de metasuperficies para aplicaciones ópticas: interacción luz-materia en estructuras sublongitud de onda.

Simular el comportamiento de las metasuperficies utilizando herramientas computacionales, tales como Comsol, RSoft o diffractio.

Diseño computacional de un dispositivo óptico formado por metasuperficies.

Metodología:

1. Revisión bibliográfica:

- Estudio de publicaciones científicas sobre metasuperficies dieléctricas.
- Estudio de materiales ópticos para el desarrollo de metasuperficies.
- Análisis bibliográfico sobre metasuperficies que modulen la fase o polarización.

2. Simulaciones numéricas:

- Uso de los softwares Comsol o RSoft para simular la respuesta óptica de las metasuperficies.
- Optimización de los parámetros geométricos de las metasuperficies (altura, dimensiones, periodicidad) para lograr la modulación óptica deseada.

3. Diseño de un dispositivo formado por metasuperficies:

- Diseño computacional, mediante los paquetes diffractio y pypol, de un elemento óptico formado por metasuperficies, como una metalente o un retardador óptico.
- Eventualmente, se realizará el análisis experimental de la muestra con metasuperficies.

Bibliografía:

- [1] N. Yu and F. Capasso. "Flat optics with designed metasurfaces". *Nature Materials* 13, 139-150 (2014).
- [2] Yu, N., Genevet, P., Kats, M. A., Aieta, F., Tetienne, J. P., Capasso, F., & Gaburro, Z. Light propagation with phase discontinuities: generalized laws of reflection and refraction. *Science*, 334(6054), 333-337, (2011).
- [3] Noah A. Rubin, et al. "Jones matrix holography with metasurfaces". *Science Advance* 7, 7488, (2021).
- [4] Genevet, P., Capasso, F., Aieta, F., Khorasaninejad, M., & Devlin, R. (2017). Recent advances in planar optics: from plasmonic to dielectric metasurfaces. *Optica*, 4(1), 139-152.
- [5] J. del Hoyo, et al. "Open source library for polarimetric calculations 'py_pol'". "Open source library for polarimetric calculations 'py_pol'", *Proc. SPIE 11875, Computational Optics 2021*, 1187506 (2021).
- [6] L.M. Sanchez-Brea et al. "Diffractio: an open-source library for diffraction and interference calculations" *Proc. of SPIE "Optics and Photonics for Advanced Dimensional Metrology III"* 12997 (2024)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Aplicaciones de los láseres de femtosegundo al procesado de materiales
Title:	Applications of femtosecond lasers in materials processing
Tutor/es:	Oscar Martínez Matos
E-mail tutor/es:	omartine@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Revisión bibliográfica de las técnicas actuales de procesado de materiales mediante pulsos de femtosegundo.

Se estudiarán los efectos físicos y la interacción de pulsos de femtosegundo con materiales.

Se analizarán los distintos métodos de procesado de materiales y sus aplicaciones principales.

Metodología:

- 1.- Revisión bibliográfica de las publicaciones científicas más relevantes en procesado de materiales mediante pulsos de femtosegundo.
- 2.- Lectura y comprensión de las publicaciones.
- 3.- Identificar los fundamentos físicos en los que se basa cada técnica de procesado y sus aplicaciones actuales más relevantes.
- 4.- Sintetizar y presentar de forma ordenada y lógica la información obtenida de la revisión bibliográfica.

Bibliografía:

- 1.- S. Hasegawa et al., Holographic femtosecond laser manipulation for advances material processing, *Adv. Opt. Technol.* 5, 39-54 (2016)
- 2.- B. Guo et al., Femtosecond Laser Micro/Nano manufacturing: Theories, Measurements, Methods, and Applications, *Nanomanufacturing and Metrology* 3, 26-67 (2020)
- 3.- L. Jiang et al., Electrons dynamic control by shaping femtosecond laser pulses in micro/nanofabrication: modeling, method, measurement and application, *Light: Science & Applications* 7, 17134 (2018)
- 4.- C. Wang, Femtosecond Mathieu beams for rapid controllable fabrication of complex microcages and application in trapping microobjects, *ACS Nano* 13, 4667-4676 (2019)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Polarización de la luz
Title:	Polarized light
Tutor/es:	Gemma Piquero Sanz
E-mail tutor/es:	piquero@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Revisión de los conceptos fundamentales sobre luz totalmente polarizada y por otro lado estudio de algunos conceptos más avanzados sobre luz parcialmente polarizada y/o no uniformemente polarizada, así como de diversas aplicaciones, interferencias con luz polarizada, polarimetría, actividad óptica natural, propagación en medios anisótropos, despolarización, efecto Faraday, etc.

Obtención de imágenes / experimentos relacionados con la polarización de la luz.

Metodología:

- 1.- Revisión bibliográfica, por una parte de los conceptos fundamentales sobre luz totalmente polarizada así como sobre luz parcialmente polarizada y/o no uniformemente polarizada.
- 2.- Aplicaciones de la polarización.
- 3.- Diseño de experimentos sencillos o experiencias de cátedra.
- 4.- Memoria y exposición de los resultados obtenidos.
- 5.- Otras actividades adicionales como asistencia a conferencias, seminarios y cursos. Cursos dirigidos a TFGs.

Bibliografía:

- [1] E. Hecht, Óptica, Addison-Wesley Iberoamerica, Madrid (2000).
- [2] J. M. Cabrera, F. J. Lopez y F. Agulló López, Óptica electromagnética, Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, EE.UU. (1993).
- [3] A. Jenkins y H. E. White, Fundamental of Optics, McGraw-Hill, New York, EE.UU. (1976).
- [4] G. R. Fowles, Introduction to Modern Optics, Dover, New York (1989).
- [5] R. Chipman, et. al. , Polarized Light and Optical Systems, CRC Press, Boca Ratón (2018).
- [6] G. Piquero, R. Martínez-Herrero, J. C. G. de Sande, and M. Santarsiero, "Synthesis and characterization of non-uniformly totally polarized light beams: tutorial," J. Opt. Soc. Am. A 37, 591-605 (2020).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Difracción
Title:	Diffraction
Tutor/es:	Julio Serna Galán
E-mail tutor/es:	azul@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Objetivo 1. Recopilación de información sobre el fenómeno de la difracción.

Objetivo 2. Realización de un programa informático que realice cálculos relacionados con la difracción.

Objetivo 3. Obtención de imágenes / experimentos relacionados con la difracción (rango microondas, visible, rayos X).

Importante: las proporciones concretas entre los Objetivos 2 y 3 y los temas específicos dentro de cada uno de los objetivos se ajustarán teniendo en cuenta los intereses del estudiante.

Metodología:

Se hará una recopilación de las bases de la teoría de la difracción en libros de texto.

Se hará una búsqueda bibliográfica para fijar los aspectos concretos que se estudiarán.

En su caso se desarrollará un programa informático y/o se realizarán experimentos de difracción.

Bibliografía:

Bibliografía básica inicial:

E. Hecht y A. Zajac, Óptica.

J. Goodman, Introduction to Fourier Optics.

American Journal of Physics, Physics Education, The Physics Teacher.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Nanopartículas calentadas por pulsos láser ultracortos
Title:	Fs-laser-heated nanoparticles
Tutor/es:	Javier Hernández Rueda
E-mail tutor/es:	fj.hernandez.rueda@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación por expediente

Objetivos:

El alumno deberá explicar la influencia de un aumento de la temperatura en las propiedades ópticas de nanopartículas calentadas con pulsos láser de femtosegundos con un amplio ancho de banda espectral.

Metodología:

El alumno utilizará el modelo de Drude-Lorentz para estimar la influencia del aumento de la temperatura de nanopartículas metálicas en su constante dieléctrica, que resulta de la interacción láser-nanopartícula. A partir de la misma se calculará el índice de refracción y utilizando la teoría de Mie se investigarán las propiedades de extinción y resonancia plasmónica de las nanopartículas calentadas por láser. Se simularán diferentes escenarios de interacción luz-nanopartícula para parámetros relevantes del sistema (material, radio de la nanopartícula, temperatura, ancho de banda del láser etc.). Se prestará especial atención a la influencia de la longitud de onda en el proceso de interacción láser-nanopartícula. Se utilizará la bibliografía recomendada para estudiar y utilizar los modelos mencionados con el fin de alcanzar el objetivo propuesto.

Bibliografía:

- 1) L. Martinez Maestro, M. A. Antón, E. Cabrera-Granado, R. Weigand, **J. Hernandez-Rueda**, Intrinsic optical response of levitating upconverting single particles, ACS Photonics 12, 4, 1783–1792, 2025.
- 2) **J. Hernandez-Rueda**, A. de Beurs, D. van Oosten, Ultrafast laser ablation of trapped gold nanoparticles, Optics Letters 44 (13) 3294, 2019.
- 3) Bohren Craig , Donald R. Huffman. Absorption and scattering of light by small particles. John Wiley & Sons, 2008.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	¿Cómo se construye un láser?
Title:	How do you build a laser?
Tutor/es:	Rosa Weigand Talavera
E-mail tutor/es:	weigand@fis.ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El alumno se familiarizará con los conceptos básicos sobre la construcción de láseres: Identificará las propiedades que debe tener un material para poder ser un material láser, entenderá el concepto de resonador óptico y aprenderá la caracterización básica de un láser.

Metodología:

El alumno seguirá un libro básico sobre láseres para abordar los objetivos descritos arriba. Asimismo podrá realizar una búsqueda bibliográfica sobre artículos didácticos sobre el tema. Realizará la construcción experimental de un láser de 4 niveles de Nd:YLF y lo caracterizará en bombeo umbral, curva de ganancia, características espectrales y polarización.

Bibliografía:

1. O. Svelto, "Principles of Lasers", 5ª edición, Springer 2010
2. D. Meschede, "Optics, Light and Lasers", Wiley-VCH 2004



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Concepto de fotón. Efecto fotoeléctrico
Title:	Photon concept. Photoelectric effect
Tutor/es:	Alfredo Luis Aina
E-mail tutor/es:	alluis@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Se pretende presentar la idea de fotón como ejemplo paradigmático de la teoría cuántica. Se pretende analizarlo tanto en lo que respecta a su papel en la comprensión conceptual de la teoría cuántica y sus implicaciones, como en lo que se refiere a su participación en experimentos cruciales mostrando efectos cuánticos fundamentales. Se pretende una revisión crítica del concepto y de cómo se suele presentar y entender en relación con fenómenos claves de la teoría cuántica como el efecto fotoeléctrico por ejemplo.

Metodología:

El trabajo es de carácter teórico. Tareas a realizar: Comprensión de la cuantificación del campo electromagnético. Definición y propiedades de los estados números de fotones, siempre en relación con otros estados de luz cuánticos y con la óptica clásica. Revisión crítica del concepto de fotón y de su uso en la explicación y análisis de diversos experimentos básicos de la teoría cuántica.

Los objetivos y tareas más específicas se concretarán de acuerdo con el alumno.

Bibliografía:

M. O. Scully y M. Sargent, The concept of the photon, *Physics Today* 25, 38 (1972).

Ch. Roychoudhuri y R. Roy, (editores), *The nature of light: what is a photon?* Optics and Photonics News Octubre 2003.

H. Paul, *Introduction to Quantum Optics*, Cambridge 2004.

J. Perina, Z. Hradil, y B. Jurco, *Quantum Optics and Fundamentals of Physics*, Kluwer 1994.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Procesamiento de imagen mediante Deep Learning
Title:	Image processing with Deep Learning
Tutor/es:	Javier Vargas
E-mail tutor/es:	jvargas@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Comprender el funcionamiento de las redes neuronales convolucionales y sus aplicaciones en procesamiento de imagen. Se realizará una aplicación sencilla de estas técnicas. Distintas variantes del trabajo pueden ser diseñar una red convolucional para clasificación o regresión de datos o para generar imágenes nuevas sintéticas a partir de la red.

Los objetivos y metodología de este trabajo coinciden con el TFG OPT09.

Metodología:

El trabajo consistirá en los siguientes puntos:

1. Análisis del material proporcionado por el profesor. El profesor proporcionará a cada estudiante un material diferente.
2. Utilización de métodos de deep learning en aplicaciones sencillas de procesamiento de imagen. Se realizará en Matlab.
3. Análisis de los resultados.
4. Memoria y exposición de los resultados obtenidos.

Conocimientos previos recomendados: Conocimientos de Matlab

Bibliografía:

[1] <https://matlabacademy.mathworks.com/es/details/deep-learning-onramp/deeplearning>

[2] <https://matlabacademy.mathworks.com/es/details/deep-learning-with-matlab/ml>

[3] <https://es.mathworks.com/campaigns/offers/deep-learning-examples-with-matlab.html>

[4] LeCun, Bengio, Hinton, Deep Learning, Nature 521 436-444 (2015)