FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Pulsos ultracortos estructurados en el espaciotiempo
Title:	Spatiotemporally structured ultrashort pulses
Tutor/es:	Oscar Martínez Matos
E-mail tutor/es:	omartine@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo principal de este trabajo es el estudio en profundidad de dos técnicas representativas para la estructuración espaciotemporal de pulsos de luz ultracortos abordando sus fundamentos físicos y limitaciones.

Para contextualizar estas dos técnicas dentro del marco general de la estructuración de pulsos de luz ultracortos se realizará una revisión bibliográfica del estado del arte en este campo para identificar sus principales ventajas y ámbitos de aplicación.

Finalmente, se analizarán las aplicaciones actuales y/o potenciales de estas dos técnicas en distintos escenarios de interés en áreas emergentes de la fotónica.

Los objetivos y metodología de este trabajo coinciden con los del TFG OPT12. El estudiante estudiará dos técnicas distintas a las del otro trabajo.

Metodología:

La metodología del trabajo se estructura en las siguientes fases:

1. Búsqueda y selección bibliográfica: Se realizará una revisión sistemática de la literatura científica en bases de datos especializadas con el objetivo de identificar las publicaciones más relevantes sobre técnicas de estructuración espaciotemporal de pulsos de luz ultracortos. La selección se basará en criterios de impacto, actualidad y relevancia temática.

2. Análisis crítico de la literatura: Se llevará a cabo una lectura de los trabajos seleccionados, con especial atención a los principios físicos subyacentes, las metodologías experimentales empleadas y las limitaciones inherentes a cada enfoque.

3. Selección y estudio de dos técnicas representativas: A partir del análisis previo, se seleccionarán dos técnicas representativas del campo. Para cada una de ellas, se realizará un estudio en profundidad de sus fundamentos físicos y de sus capacidades para el control espaciotemporal de los pulsos de luz.

4. Evaluación de aplicaciones: Se identificarán y analizarán las aplicaciones actuales y/o potenciales de las técnicas seleccionadas.

5. Síntesis y presentación de resultados: Finalmente, se organizará y sintetizará la información obtenida, presentándola de forma estructurada y coherente, con el objetivo de ofrecer una visión clara del estado del arte en este campo de investigación y de las capacidades particulares de las dos técnicas seleccionadas.

Bibliografía:

1.- Yijie Shen et al, Roadmap on spatiotemporal light fields. Journal of Optics 25, 093001 (2023)

2.- Qiwen Zhan, Spatiotemporal sculpturing of light: a tutorial. Advances in Optics and Photonics 16, 163-228 (2024)

3.- Yiqi Fang, Ultrafast physics with structured light. Nature Review Physics 7, 713-727 (2025)

4.- Marco Piccardo et al, Trends in relativistic laser matter interaction: the promises of structured light. Optica 12, 732-752 (2025)

5. J. R. Pierce et al, Arbitrarily structured laser pulses. Physical Review Research 5, 013085 (2023)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	¿Y si no puedo medir el espectro Raman con un espectrómetro?
Title:	What if I cannot measure a Raman spectrum with an spectrometer?
Tutor/es:	Rosa Weigand Talavera y Laura Martínez Maestro
E-mail tutor/es:	weigand@fis.ucm.es, lauram40@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El estudiante comprenderá que hay situaciones en las que por falta de instrumentación no se puede medir directamente un espectro Raman y para ello hay que utilizar métodos indirectos.

El estudiante comprenderá, mediante el teorema de Wiener-Khintchine, la relación que hay entre un interferograma obtenido en interferómetros por división de amplitud y el espectro de la fuente que lo produce.

Los objetivos y metodología de este trabajo son muy similares a los del TFG OPT13.

Metodología:

- El estudiante realizará simulaciones en Python utilizando la transformada de Fourier discreta.
- Simulará un espectro Raman en la zona de 1,064 micras, longitud de emisión de un láser de Nd:YAG.
- Predecirá el interferograma que se generará teniendo cuidado de elegir la resolución del interferómetro y la longitud de onda máxima que puede detectarse con el mismo.
- Desarrollará un programa en Python para que, una vez registrado el interferograma, se pueda reconstruir el espectro Raman que origina ese interferograma.

Bibliografía:

https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/fourier-transform-raman-spectroscopy

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

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

Objetivos:

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es comprender los fundamentos físicos de la interacción luz-materia en sistemas nanoestructurados, con especial énfasis en fenómenos plasmónicos.
En particular, se pretende:
· Analizar los mecanismos físicos que gobiernan la excitación de plasmones superficiales y localizados.
· Estudiar cómo estos fenómenos permiten controlar y amplificar la respuesta óptica de materiales a nanoescala.
· Revisar aplicaciones relevantes de la plasmónica, tales como la manipulación óptica de nanopartículas, el confinamiento sublongitud de onda y el micromecanizado asistido por láser.

Metodología:

Revisión bibliográfica de los fundamentos de la interacción luz-materia en Óptica Física, con énfasis en la respuesta electromagnética de sistemas nanoestructurados. Estudio de fenómenos plasmónicos, incluyendo plasmones de superficie y localizados, y su influencia en fuerzas ópticas, confinamiento de campo y transferencia de energía. Análisis de aplicaciones tecnológicas en plasmónica a nanoescala. Redacción de la memoria con discusión crítica de resultados reportados.

Bibliografía:

Maier, S. A. Plasmonics: Fundamentals and Applications. Springer (2007).
Hohenester, U. & Trügler, A. MNPBEM – A Matlab toolbox for the simulation of plasmonic nanoparticles. Comput. Phys. Commun. 183, 370–381 (2012).
Mcoyi, M. P. et al. Developments in Localized Surface Plasmon Resonance. Plasmonics 20, 5481–5520 (2025).
Chou Chau, Y.-F. Nanophotonic Materials and Devices. Micromachines 16, 933 (2025).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

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 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Enfoque de haces vectoriales
Title:	Focusing of vector beams
Tutor/es:	Tatiana Alieva
E-mail tutor/es:	talieva@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

La distribución tridimensional de los campos electromagnéticos enfocados mediante objetivos de alta apertura numérica es un aspecto fundamental en diversas aplicaciones, como la microscopía, la manipulación óptica de micro y nanoobjetos (pinzas ópticas) y el almacenamiento de datos ópticos.

El propósito de este trabajo es comprender la física del enfoque de haces vectoriales, en los cuales la polarización desempeña un papel primordial. Para ello, se aplicará el formalismo matemático conocido a ciertos tipos de haces específicos y se compararán los resultados obtenidos con la solución correspondiente para haces paraxiales escalares. Además, se explorarán los métodos de generación de haces vectoriales y sus posibles aplicaciones.

Metodología:

Revisión bibliográfica sobre los conceptos fundamentales de los haces vectoriales, su enfoque, los métodos de generación y sus aplicaciones.

Análisis analítico o/y simulación numérica del enfoque de un haz vectorial, con una comparación respecto al caso de un haz escalar.

Bibliografía:

B. Richards and E. Wolf , "Electromagnetic diffraction in optical systems, II. Structure of the image field in an aplanatic system," Proc. R. Soc. Lond. A253358–379 (1959)
K. S. Youngworth and T. G Brown, "Focusing of high numerical aperture cylindrical-vector beams," Opt. Express 7, 77-87 (2000)
M. Gu, Advanced Optical Imaging Theory, Capture 6, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2000).
B. Chen and J. Pu, "Tight focusing of elliptically polarized vortex beams," Appl. Opt. 48, 1288-94 (2009) doi: 10.1364/ao.48.001288

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Coherencia en óptica clásica y cuántica
Title:	Coherence in classical and quantum optics
Tutor/es:	Alfredo Luis Aina
E-mail tutor/es:	alluis@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Se pretende analizar el concepto de coherencia tanto en óptica clásica como en óptica y mecánica cuánticas. Se examinarán diversas variantes de la idea tal y como se manifiesta en diversos fenómenos, como interferencia, difracción, y polarización por ejemplo. Se estudiarán sus posibles expresiones cuantitativas y las relaciones entre ellas.

Metodología:

Entre las tareas a realizar se propone la lectura de la bibliografía relevante, y la discusión y análisis de los conceptos involucrados entre tutor y alumno/a en sesiones de tutorías. Los objetivos y tareas más específicas se irán concretando de acuerdo con el/la alumno/a según progrese la realización del trabajo.

Bibliografía:

L. Mandel and E. Wolf, Optical Coherence and Quantum Optics (Cambridge University Press, Cambridge, 1995).
A. Luis, Quantum-classical correspondence for visibility, coherence, and relative phase for multidimensional systems, Phys. Rev. A 78, 025802 (2008).
L. Ares, Unification of nonclassical signatures under the concept of quantum coherence, Tesis Doctoral (2023). https://hdl.handle.net/20.500.14352/102704.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Discriminación optima de estados cuánticos
Title:	Optimal quantum state discrimination
Tutor/es:	Luis Lorenzo Sánchez Soto
E-mail tutor/es:	lsanchez@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

La información cuántica busca formas más rápidas y eficientes de procesar y manipular la información. En su núcleo reside una característica fundamental de la mecánica cuántica: la información se codifica en estados cuánticos, y los estados no ortogonales no pueden distinguirse perfectamente. Esta indistinguibilidad es esencial: si fuera posible una discriminación perfecta, se contradecirían principios fundamentales al permitir el clonado perfecto o la comunicación instantánea mediante entrelazamiento. Por lo tanto, la discriminación de estados cuánticos no es solo una tarea central, sino también un pilar que sustenta la coherencia de la propia teoría cuántica.

Se propone aqui estudiar estrategias óptimas para distinguir estados no ortogonales y derivar la tasa de error mínima alcanzable: el límite de Helstrom. A pesar de la vasta literatura sobre el tema, todavía cabe plantear una pregunta clave: ¿Es posible aproximarse al límite de Helstrom utilizando un enfoque práctico, sistemático y de un solo disparo (single-shot)?

Metodología:

La metodología de este trabajo se fundamenta en el tratamiento de la discriminación de estados cuánticos como un problema riguroso de contraste de hipótesis, utilizando para ello el marco estadístico del relative belief (RB). En este marco, se evalúan las hipótesis cuantificando cómo sus probabilidades a posteriori se desvían de sus priors, otorgando apoyo de evidencia solo a aquellas cuya probabilidad aumenta tras la incorporación de los datos.

Bibliografía:

- J. Bae and L.C. Kwek, J. Phys. A: Math. Theo. 48, 083001 (2015).
- C. W. Helstrom, Quantum detection and estimation theory (Academic Press, New York, 1985).
- A.S. Holevo, Statistical decision theory for quantum systems, J. Multivar. Anal. 3, 337 (1973).
- M. Evans, Measuring Statistical Evidence Using Relative Belief (CRC Press, Boca Raton, 2015).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Elementos ópticos difractivos dinámicos
Title:	Dynamic diffractive Optical elements
Tutor/es:	Luis Miguel Sánchez Brea
E-mail tutor/es:	optbrea@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

* Simulación de elementos ópticos difractivos sencillos mediante computación numérica
* Implementación de dichos elementos ópticos difractivos en un sistema experimental basado en moduladores espaciales de luz.

Metodología:

1. Revisión bibliográfica: Estudio de la literatura fundamental sobre elementos ópticos difractivos

2. Análisis teórico: Comprensión del fenómeno de la difracción y de los elementos ópticos difractivos.

3. Simulación numérica: Modelado de elementos ópticos difractivos mediante paquete Diffractio de Python.

4. Validación experimental: Uso de un sistema difractométrico basado en moduladores espaciales de luz para la generación dinámica de elementos ópticos difractivos.

5. Comparación entre resultados experimentales, teoría y simulaciones.

Bibliografía:

Diffractio: https://diffractio.readthedocs.io

O'Shea, D. C. (2004). Diffractive optics: design, fabrication, and test (Vol. 62). SPIE press.

Kress, B. C., & Meyrueis, P. (2009). Applied digital optics: from micro-optics to nanophotonics. John Wiley & Sons.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Ecuaciones de Schrödinger no lineales en Fotónica y Óptica Cuántica
Title:	Nonlinear Schrödinger Equations in Photonics and Quantum Optics
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:

Las ecuaciones de Schrödinger no lineales (NLSEs) poseen una forma funcional análoga a la de la ecuación de Schrödinger estándar, aunque incluyen también términos adicionales que dependen no linealmente de la función de onda, impidiendo así la superposición de soluciones parciales. Cuando hablamos de luz, estas no linealidades tienen que ver con efectos de segundo orden o superiores en la interacción luz-materia; cuando se trata de objetos masivos, las no linealidades dan cuenta de las interacciones de estos con su entorno circundante. Encontramos NLSEs en multitud de problemas en Física, desde el guiado de luz (tanto clásica, como cuántica) a través de fibras ópticas hasta modelos de colapso gravitacional autoinducido, pasando por la dinámica de condensados o el movimiento cuántico browniano.

El objetivo principal de este trabajo es analizar comprender el efecto que tienen la presencia de términos no lineales en la propagación de luz o de ondas de material (bajo condiciones de paraxialidad, ambas se describen por la misma NLSE) en función del estado input. A nivel didáctico, se pretende que, partiendo de conocimientos adquiridos por el/la estudiante durante sus estudios de Grado, éste/a profundice en un tema de actualidad e interés en una gran variedad de problemas de la Física actual.

Metodología:

- Revisión bibliográfica.
- Estudio y desarrollo de teoría.
- Simulación numérica de soluciones de NLSEs con un término no lineal específico.
- Estudio y análisis crítico de resultados.
- Seguimiento mediante reuniones semanales (tutorías) para discutir resultados y evolución del trabajo.

Bibliografía:

G. Fibich, *The Nonlinear Schrödinger Equation* (Springer, 2015).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Criptografía cuántica
Title:	Quantum Cryptography
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:

A día de hoy, la criptografía cuántica es quizás la tecnología cuántica que cuenta con una mayor difusión a un nivel práctico de implementación y, más concretamente, los protocolos de distribución cuántica de claves (QKD). Este trabajo tiene por objeto de llevar al estudiantado el apasionante mundo de la ciencia y las tecnologías cuánticas a través de un acercamiento básico a la criptografía cuántica. Más concretamente, el objetivo del trabajo es el análisis y comprensión a un nivel introductorio de los fundamentos de esta tecnología, abordando para ello aspectos tales como: (1) su importancia e interés en el mundo actual; (2) la revisión de los principales protocolos criptográficos desarrollados hasta la fecha, discutiendo su eficiencia y sus principales ventajas y desventajas; (3) estudiar a un nivel formal la base teórica de la teleportación cuántica, esencial para la QKD, así como de alguno de esos protocolos y su operatividad; o (4) analizar la implementación práctica de estos, tanto a nivel de laboratorio, como a nivel de explotación y uso comercial.

Metodología:

- Revisión bibliográfica.
- Desarrollo formal y discusión de pasos esenciales en criptografía cuántica (teorema de no clonación, teleportación cuántica).
- Análisis formal y simulación de algunos de los protocolos más empleados.
- Seguimiento mediante reuniones semanales para discutir los avances del trabajo y los resultados teóricos y numéricos que se vayan obteniendo.

Bibliografía:

- A. Zeilinger, "Light for the quantum," *Phys. Scr.* **92**, 072501 (2017).
- C. Hughes, J. Isaacson, A. Perry, R. F. Sun, J. Turner, *Quantum Computing for the Quantum Curious* (Springer, 2021).
- M. A. Nielsen, I. L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information* (Cambridge University Press, 2004).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

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 articulos 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