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 (distintas de las seleccionadas en el otro trabajo ofertado con este mismo título) 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 OPT01. 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 y 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 OPT02.

Metodología:

- El estudiante realizará simulaciones en Python utilizando la transformada de Fourier discreta.
- Simulará un espectro Raman en la zona de 1,053 micras, longitud de emisión de un láser de Nd:YLF.
- 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: métodos computacionales para simulación del comportamiento dinámico de nanopartículas iluminadas
Title:	Light–matter interaction: computational methods for simulating the dynamical behavior of illuminated nanoparticles
Tutor/es:	José A. Rodrigo
E-mail tutor/es:	jarmar@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es estudiar la interacción luz-materia en nanopartículas mediante métodos computacionales, con énfasis en la descripción y simulación de su comportamiento dinámico bajo iluminación óptica.
En particular, se pretende:
· Comprender los modelos físicos que describen la respuesta óptica de nanopartículas iluminadas.
· Analizar las fuerzas ópticas y efectos dinámicos inducidos por la luz.
Evaluar el papel de las simulaciones numéricas como herramienta para predecir y analizar sistemas complejos luz-materia.

Metodología:

Revisión bibliográfica de los fundamentos de la interacción luz-materia, incluyendo presión de radiación, fuerzas ópticas y resonancias en nanopartículas. Estudio de métodos computacionales para la simulación electromagnética y dinámica de nanopartículas, analizando formulación teórica, hipótesis y limitaciones. Selección de un caso de estudio aplicado con análisis crítico de literatura reciente. Redacción de la memoria y discusión de modelos, resultados y posibles extensiones.

Bibliografía:

Hohenester, U. & Trügler, A. MNPBEM – A Matlab toolbox for the simulation of plasmonic nanoparticles. Comput. Phys. Commun. 183, 370–381 (2012).

Novotny, L. & Hecht, B. Principles of Nano-Optics (2nd ed.). Cambridge Univ. Press (2012).

Iida, T. & Ishihara, H. Theory of resonant radiation force exerted on nanostructures. Phys. Rev. B 77, 085116 (2008).

Gao, G. et al. Harnessing optical forces with advanced nanophotonic structures. Discover Nano 20, 76 (2025).

González-Tudela, A. et al. Light–matter interactions in nanophotonic devices. Nat. Rev. Phys. 6, (2024)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Luz estructurada
Title:	Structured light
Tutor/es:	Gemma Piquero Sanz
E-mail tutor/es:	piquero@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

A lo largo de su desarrollo histórico, la Óptica ha contado con un conjunto bien establecido de modelos teóricos que han demostrado ser eficaces para describir la luz. En la mayoría de los libros de Óptica, predominan las soluciones fundamentales, tales como ondas planas linealmente y uniformemente polarizadas en la sección transversal del haz o las ondas esféricas y cilíndricas. Estos modelos constituyen la base teórica de la Óptica clásica y son fundamentales para el diseño y el funcionamiento de los sistemas ópticos.

Sin embargo, en las últimas dos o tres décadas, la Óptica ha experimentado una expansión conceptual significativa, motivada tanto por nuevas capacidades tecnológicas como por desafíos emergentes en áreas como la manipulación óptica de partículas, el procesamiento y transferencia de información, en microscopia, polarimetría o en información cuántica. En este contexto, ha cobrado relevancia una nueva clase de campos conocida como "luz estructurada" o también referida como luz a medida, o campos de luz personalizados, adaptados a las necesidades específicas. Estas formas de luz se diseñan modificando parámetros como la amplitud, la fase, la polarización y el momento angular de la luz, entre otros.

En este trabajo se estudiarán distintas formas de producir "luz estructurada". Para algún caso concreto, además de analizar teóricamente el campo de luz generado se podrá realizar algún experimento.

Metodología:

1.- Revisión bibliográfica sobre luz estructurada. Modificación de la polarización, fase y coherencia.

2.- Aplicaciones de la luz estructurada.

3.- Posibilidad de diseño de algún experimento.

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] David L. Andrews, Structured light and its applications, Academic Press (2008).

[4] H. Rubinsztein-Dunlop1, *et. al.*, Roadmap on structured light J. Opt. 19 (2017) 013001 (51pp).

[5] G. Piquero, *et. al.*, Synthesis and characterization of non-uniformly totally polarized light beams: tutorial, J. Opt. Soc. Am. A 37, 591-605 (2020).

[6] O. V. Angelsky *et. al*., Structured Light: Ideas and Concepts, Front. Phys., 8, 114 (2020).

[7] A. Forbes *et al,* Structured Light, Nature Photonics 15 253 -262 (2021).|

[8] O. V. Angelsky *et. al.*, Review on the structured light properties: rotational features and singularities, Opto-Electronics Review 30, e140860 (2022).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

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 imagenes 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. Nigamatzyanova, and G. Fakhrullina, Dark-field/hyperspectral microscopy for detecting nanoscale particles in environmental nanotoxicology research, Science of the Total Environment 772, 145478 (2021) https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145478

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Complementariedad en óptica clásica y cuántica
Title:	Complementarity 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 complementariedad 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 expresiones cuantitativas, las relaciones entre ellas y su conexión con relaciones de incertidumbre. Se analizarán las similitudes y diferencias entre la expresión de la complementariedad en el ámbito cuántico y clásico.

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:

B.-G. Englert, Fringe visibility and which way information: an inequality, Physical Review Letters 77, 2154 (1996).
J. Sánchez, Infomación, incertidumbre y complementariedad, Revista española de física 15, 28 (2001).
R. Galazo, I. Bartolomé, L. Ares, A. Luis, Classical and quantum complementarity,
Physics Letters A 384, 126849 (2020).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Fases geometrica en representacion estelar de Majorana
Title:	Quantum geometric phases in Majorana stellar representation
Tutor/es:	Luis Lorenzo Sánchez Soto
E-mail tutor/es:	lsanchez@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la fase geométrica de Berry-Aharonov-Anandan adquirida durante la evolución cíclica de sistemas cuánticos de dimensión finita, empleando para ello la representación estelar de Majorana. Se busca demostrar que un estado cuántico puro en un espacio de Hilbert de dimensión (2J+1) puede mapearse analíticamente sobre la función de partición de un gas de cuerdas de Dirac independientes en una esfera, interactuando mediante repulsión culombiana con las estrellas de Majorana del sistema. A través de esta analogía, se pretende reinterpretar la fase geométrica como una fase de Aharonov-Bohm, derivando a partir de las posiciones de las estrellas de Majorana las expresiones correspondientes a la conexión y curvatura geométrica, el tensor métrico y los momentos multipolares.

Metodología:

La metodología propuesta para este trabajo es de carácter puramente teórico-analítico y se fundamenta en la integración de formalismos de la geometría diferencial, la mecánica estadística y la mecánica cuántica de sistemas de espín. El proceso comienza con una revisión profunda de la fase de Berry y su extensión de Aharonov-Anandan, estableciendo el marco teórico necesario para tratar la evolución cíclica en espacios de Hilbert de dimensión finita.

Bibliografía:

- Geometric Phases in Physics, Ed. A. Shapere and F. Wilczek (World Scientific, Singapore, 1989).
- The Geometric Phase in Quantum Systems, Ed. A. Bohm (Springer, Berlin, 2003).
- E. Majorana, Nuovo Cimento 9, 43 (1932).
- P. Bruno, Phys. Rev. Lett. 108, 240402 (2012).
- H. D. Liu and L. B. Fu, Phys. Rev. Lett. 113, 240403 (2014).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Redes de difracción en ciencia y tecnología
Title:	Diffraction gratings in science and technology
Tutor/es:	Luis Miguel Sánchez Brea
E-mail tutor/es:	optbrea@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Objetivo principal: Analizar de forma teórica y comparativa de la difracción en redes utilizando tanto el formalismo escalar como el formalismo vectorial, así como redes sub-wavelength, analizando sus condiciones de validez, limitaciones y aplicaciones en óptica moderna.

Objetivos parciales:

- Describir la difracción en redes en el marco escalar, obteniendo la ecuación de la red y la distribución de intensidades.

- Formular el problema en el marco vectorial electromagnético, considerando las ecuaciones de Maxwell y la polarización.

- Comparar ambos formalismos, identificando en qué condiciones el modelo escalar es válido y cuándo es necesario el vectorial.

- Analizar la eficiencia de difracción y el papel de parámetros físicos (periodo, número de rendijas, ángulo, longitud de onda, polarización).

- Relacionar los resultados con aplicaciones reales en espectroscopía y dispositivos fotónicos.

Metodología:

1. Revisión bibliográfica
- Estudio de la literatura fundamental sobre redes de difracción y propagación de la luz en estructuras periódicas.
- Revisión de los principales formalismos de descripción (escalar y vectorial).
- Análisis de aplicaciones en espectroscopía y metrología.

2. Análisis teórico
- Desarrollo del formalismo escalar de la difracción en redes (aproximaciones de Fresnel/Fraunhofer).
- Formulación vectorial electromagnética a partir de las ecuaciones de Maxwell.
- Estudio del régimen sub–longitud de onda (subwavelength) y de los efectos de polarización.

3. Simulación numérica
- Cálculo de patrones de difracción, eficiencias y dependencias con parámetros físicos.
Modelado de redes de difracción en campo cercano y lejano.
- Uso de herramientas especializadas como:
Diffractio (propagación escalar)
S4 (Stanford Stratified Structure Solver)
COMSOL Multiphysics

4. Validación experimental
- Medidas de patrones de difracción en campo lejano y campo cercano.
- Implementación de configuraciones experimentales con redes físicas y moduladores espaciales de luz (SLM).
- Comparación entre resultados experimentales, teoría y simulaciones.

Bibliografía:

- 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)
- https://diffractio.readthedocs.io/en/latest/
- https://www.comsol.com/
- https://web.stanford.edu/group/fan/S4/

- Loewen, E. G., & Popov, E. (2018). Diffraction gratings and applications. CRC Press.
- Palmer, C., & Loewen, E. G. (2005). Diffraction grating handbook.
- Maystre, D. (1984). I Rigorous Vector Theories of Diffraction Gratings. In Progress in optics (Vol. 21, pp. 1-67). Elsevier.
- Gaylord, T. K., & Moharam, M. G. (2005). Analysis and applications of optical diffraction by gratings. Proceedings of the IEEE, 73(5), 894-937.
- Stroke, G. W. (1967). Diffraction gratings. Handbuch der Physik, 29, 426-754.
- Botten, L. C., Cadilhac, M., Derrick, G. H., Maystre, D., McPhedran, R. C., Nevière, M., & Vincent, P. (2013). Electromagnetic theory of gratings. Springer Science & Business Media.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Ecuaciones de Schrödinger estocásticas y recuento de fotones
Title:	Stochastic Schrödinger Equations and Photon Counting
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:

La disponibilidad de fuentes y detectores single photon ha permitido describir y comprender los procesos de emisión y absorción de fotones mediante modelos estocásticos que apelan directamente al estado vector, en los que la descripción estándar en términos de matrices densidad aparece cuando se realiza el correspondiente análisis estadístico sobre un gran número de realizaciones estocásticas.

El objetivo del presente trabajo es abordar el análisis y comprensión del modelado de diferentes procesos de interés en Óptica Cuántica, que pueden describirse eficientemente mediante el formalismo de la difusión de estados cuánticos (QSD). Este formalismo o técnica permite evitar cálculos basados en la matriz densidad y, por tanto, suministra una visión más intuitiva del fenómeno en términos de lo que se conoce como "trayectorias cuánticas" (realizaciones estocásticas individuales del sistema). Mediante este estudio, el/la estudiante no sólo tendrá ocasión de poner en valor los conocimientos adquiridos durante el Grado, sino que también adquirirá nuevos conocimientos en modelización dinámica estocástica y teoría de sistemas cuánticos abiertos, que, por su versatilidad, son fácilmente extrapolables a otras áreas de la Física fuera del ámbito de la Óptica Cuántica y la Física Cuántica.

Metodología:

- Revisión bibliográfica.
- Estudio formal y análisis del formalismo QSD, así como de sus consecuencias en modelos cuánticos simples.
- Implementación numérica de varios de los modelos estudiados a nivel teórico bajo supervisión del tutor.
- Estudio y análisis crítico de resultados.
- Seguimiento mediante reuniones semanales (tutorías) para discutir resultados y evolución del trabajo.

Bibliografía:

- I. C. Percival, *Quantum State Diffusion* (Cambridge University Press, 1998).

- H.-P. Breuer, F. Petruccione, *The Theory of Open Quantum Systems* (Oxford University Press, 2002).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

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 fijarán las proporciones entre los objetivos 2 y 3, orientando la realización del TFG hacia el desarrollo de un programa informático y/o a la realización de experimentos de difracción.

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

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

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 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Óptica
Título:	Espectroscopia Raman: Principios y Aplicaciones
Title:	Raman Spectroscopy: Principles and Applications
Tutor/es:	Laura Martínez Maestro
E-mail tutor/es:	lmmaestro@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El proyecto explora la espectroscopia Raman como técnica analítica. Esta espectroscopía está basada en la dispersión inelástica de luz láser. Se repasará su evolución enfocándose en dominar los principios teóricos mediante revisión bibliográfica de estudios actuales , con opción a adquisición experimental de espectros para ilustrar conceptos prácticos.

Metodología:

Se iniciará con una búsqueda exhaustiva de literatura para consolidar el conocimiento en espectroscopia Raman. Se elaborará un análisis de publicaciones recientes sobre sus usos en nanotecnología y biomedicina. En caso oportuno, se registrarán espectros de muestras seleccionadas para enriquecer la comprensión experimental de la técnica.

Bibliografía:

Lewis, I. R., Edwards, H. (2001). Handbook of Raman Spectroscopy: From the Research Laboratory to the Process Line. CRC Press.

Dietzek, B., et al. (2010). Introduction to the Fundamentals of Raman Spectroscopy. En Confocal Raman Microscopy (pp. 21-42). Springer.

Xu, Z., et al. (2018). Application of Raman Spectroscopy Characterization in Micro/Nano-Machining. Micromachines, 9(7), 361.