



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Obtención de imágenes basadas en <i>speckle</i>	
<b>Title:</b>	Speckle based imaging	
<b>Supervisor/es:</b>	Tatiana Alieva	
<b>E-mail supervisor/es</b>	talieva@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

El efecto *speckle* es el resultado de la interferencia de muchas ondas de la misma frecuencia, que tienen diferentes fases y amplitudes, que se suman para formar un patrón resultante cuya intensidad varía aleatoriamente. Una técnica de imagen basada en *speckle* analiza el cambio espacial o temporal del patrón de *speckle* producido por reflexión o transmisión del haz coherente a través de una muestra.

El objetivo de este trabajo es entender la formación de *speckle* y principios de obtención de imágenes basadas en *speckle*, analizar diferentes modalidades y aplicaciones de esta técnica, demostrar experimentalmente la utilidad de la técnica.

### Metodología:

- Revisión bibliográfica de conceptos básicos de obtención de imagen basadas en *speckle*.
- Análisis de diferentes modalidades.
- Implementación experimental de una de modalidades de la obtención de imagen basada en *speckle*.

### Bibliografía:

E. Fujiwara et al, Didactic laser speckle experiments with a lensless camera, Eur. J. Phys. 42, 065303 (2021); doi.org/10.1088/1361-6404/ac2b04.

W. Heeman, W. Steenbergen, G. M. van Dam, E. C. Boerma, Clinical applications of laser speckle contrast imaging: a review," J. Biomed. Opt. 24(8), 080901 (2019); doi: 10.1117/1.JBO.24.8.080901.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	La tomografía de coherencia óptica	
<b>Title:</b>	Optical coherence tomography	
<b>Supervisor/es:</b>	Tatiana Alieva	
<b>E-mail supervisor/es</b>	talieva@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

La tomografía de coherencia óptica (OCT) es una técnica para la obtención de imágenes no invasivas de interfaces (cambios del índice de refracción) en los tejidos biológicos u otras muestras. Se construye un dispositivo de OCT a partir de un microscopio combinado con un Michelson interferómetro, donde el espejo en un brazo es reemplazado por la muestra.

El objetivo de este trabajo es entender los fundamentos de la OCT, estudiar las ventajas y limitaciones de diferentes modalidades y analizar uno de los dispositivos experimentales para su implementación.

### Metodología:

- Revisión bibliográfica de conceptos básicos de la OCT.
- Análisis comparativo de diferentes modalidades.
- Análisis de un dispositivo experimental para la implementación de la OCT.

### Bibliografía:

K. C. Zhou, R. Qian, Al-H. Dhalla, S. Farsiu, and J. A. Izatt, Unified k-space theory of optical coherence tomography, *Advances in Optics and Photonics*, Vol. 13 (2), 462-514, 2021; doi.org/10.1364/AOP.417102.

K. Pieper, G. Latour, J. Küchenmeister, et al., Full-field optical coherence tomography—An educational setup for an undergraduate lab, *American Journal of Physics* 88, 1132 (2020); doi: 10.1119/10.0001755.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	ÓPTICA	
<b>Título:</b>	Respuesta óptica de nanopartículas calentadas por pulsos láser ultracortos	
<b>Title:</b>	Optical response of fs-laser-heated nanoparticles	
<b>Supervisor/es:</b>	Javier Hernández Rueda	
<b>E-mail supervisor/es</b>	fj.hernandez.rueda@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

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

### Metodología:

El alumno utilizará el modelo de Drude-Lorentz para estimar la influencia del aumento de temperatura de nanopartículas metálicas en su constante dieléctrica, que resulta de la interacción láser-nanopartícula. A partir de la misma, y utilizando la teoría de Mie, se calculará el índice de refracción y las propiedades de extinción y resonancia plasmónica de las nanopartículas calentadas por láser.

- Se utilizará la bibliografía recomendada para estudiar y utilizar los modelos mencionados con el fin de alcanzar el objetivo propuesto.
- Se simularan diferentes escenarios de interacción luz-nanopartícula para parámetros relevantes del sistema (material, radio de la nanopartícula, temperatura etc.).

### Bibliografía:

- Bohren Craig , Donald R. Huffman. Absorption and scattering of light by small particles. John Wiley & Sons, 2008.
- J. Hernandez-Rueda, A. de Beurs, D. van Oosten, Ultrafast laser ablation of trapped gold nanoparticles, Optics Letters 44 (13) 3294, 2019.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Coherencia, Óptica Clásica y Óptica Cuántica	
<b>Title:</b>	Coherence, Classical and Quantum Optics	
<b>Supervisor/es:</b>	Alfredo Luis Aina	
<b>E-mail supervisor/es</b>	alluis@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

**Objetivos:** La coherencia es un concepto fundamental que no es un fenómeno por sí mismo, pero que es necesario para que existan los fenómenos más interesantes en óptica y cuántica, hasta el punto de que sin coherencia no hay física cuántica, ni interferencia, ni polarización, ni difracción. El encuentro de coherencia, óptica y cuántica produce maravillas como aleatoriedad sin probabilidades, gatos zombis que no están ni vivos ni muertos, o la luz del vacío. La coherencia óptica es también un punto de encuentro entre la teoría clásica y la cuántica, estando detrás de multitud de fenómenos que atraviesan las fronteras de las teorías en ambos sentidos.



**Metodología:** El trabajo es de carácter teórico. Tareas a realizar: Definiciones, propiedades y aplicaciones de coherencia en óptica clásica y cuántica. Los objetivos y tareas se concretarán de acuerdo con los alumnos.

### Bibliografía:

A. Luis, *Coherencia clásica y cuántica: Estados Zombis*

<https://www.ucm.es/data/cont/docs/1461-2017-10-20-quantum%20zombis.pdf>

R. Galazo, I. Bartolomé, L. Ares, A. Luis, *Classical and quantum complementarity*,

<https://arxiv.org/abs/1811.12636>



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Holografía analógica y aplicaciones	
<b>Title:</b>	Analogic holography and applications	
<b>Supervisor/es:</b>	Óscar Martínez Matos	
<b>E-mail supervisor/es</b>	omartine@fis.ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Estudio, comprensión y aplicaciones del proceso holográfico

### Metodología:

- 1.- Revisión bibliográfica: el método holográfico: registro y lectura de hologramas. Propiedades de la imagen reconstruida. Tipos de hologramas.
- 2.- Realización experimental de hologramas de transmisión o/y reflexión y aplicaciones.

### Bibliografía:

- [1] J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, Ed. Roberts&Company, Colorado, USA (2005).
- [2] P. Hariharan, Basics of holography, Cambridge University Press, New York, USA (2002).



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	ÓPTICA		
<b>TÍTULO:</b>	Polarización de la luz		
<b>TITLE:</b>	Polarized light		
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Gemma Piquero		
<b>e-mail Supervisor/es</b>	piquero@ucm.es		
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	2		
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa	<input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

#### 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, 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.
- 4.- Diseño de experimentos sencillos o experiencias de cátedra.
- 5.- Memoria y exposición de los resultados obtenidos.
- 6.- Otras actividades adicionales como asistencia a conferencias, seminarios y cursos. Cursos de la biblioteca 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). American Journal of Physics, Physics Education, The Physics Teacher.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Fotografía Computacional, modelo proyectivo de formación de imágenes	
<b>Title:</b>	Computational photography, projective model for image formation	
<b>Supervisor/es:</b>	Juan Antonio Quiroga	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:aq@fis.ucm.es">aq@fis.ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

El trabajo pretende introducir al alumno en el mundo de la fotografía computacional. En particular en el modelo proyectivo (pinole) de formación de imágenes. Este modelo es de utilidad en robótica y metrología óptica. Este modelo difiere del modelo refractivo tratado en óptica. El alumno estudiara la ligadura entre el modelo de formación de imágenes refractivo paraxial y el modelo proyectivo. Así mismo también se estudiará el proceso de calibración de una cámara de acuerdo con el modelo proyectivo. Para esto se podrá usar MATLAB u otra herramienta apropiada.

### Metodología:

El alumno trabajará de forma autónoma con las referencias y tras familiarizarse con el tema se procederá a realizar un documento sobre estado del arte mediante una búsqueda de bibliografía relevante. El trabajo también incluirá la calibración una cámara de acuerdo al modelo proyectivo.

### Bibliografía:

- Camera calibration toolbox for MATLAB  
[http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/)
- Visión por computador: imágenes digitales y aplicaciones, Gonzalo Pajares Martinsanz, Jesús Manuel de la Cruz García, ed. Ra-Ma, 2008



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Aplicaciones de los cristales líquidos en elementos ópticos de focal variable	
<b>Title:</b>	Applications of liquid crystals in variable focal optical elements	
<b>Supervisor/es:</b>	Juan Antonio Quiroga	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:aq@fis.ucm.es">aq@fis.ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

El uso de cristales líquidos permite la fabricación de materiales con un índice de refracción que se puede cambiar en función de un estímulo externo como un campo eléctrico. En particular muchos sistemas ópticos variables están basados en este principio, como por ejemplo los objetivos autofocus de los teléfonos móviles. En este trabajo el alumno estudiará las propiedades ópticas de los cristales líquidos y como se pueden usar para construir elementos ópticos de focal variable en función de un agente externo, como puede ser un campo eléctrico variable.

### Metodología:

El alumno trabajará de forma autónoma con las referencias y tras familiarizarse con el tema se procederá a realizar un documento sobre estado del arte mediante una búsqueda de bibliografía relevante.

### Bibliografía:

- Susumu Sato, Applications of Liquid Crystals to Variable-Focusing Lenses, Optical Review, Nov./Dec., 1999, Volume 6, Issue 6, pp 471-485
- Hongwen Ren and Shin-Tson Wu, Introduction to Adaptive Lenses (Wiley Series in Pure and Applied Optics, Wiley, 2012



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Fotografía computacional, Imágenes de alto rango dinámico (HDR)	
<b>Title:</b>	Computational photography, high dynamic range (HDR) images	
<b>Supervisor/es:</b>	Juan Antonio Quiroga	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:aq@fis.ucm.es">aq@fis.ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

En muchas aplicaciones como la astro-fotografía o la caracterización de haces láser, las cámaras convencionales no tienen suficiente rango dinámico como para poder capturar en una sola imagen, con un único tiempo de exposición, todos los detalles relevantes de la escena. El objetivo de este proyecto es la familiarización e implementación de un método para la síntesis de imágenes de alto rango dinámico o HDR (High Dynamic Range). El HDR consiste en tomar diferentes imágenes de una misma escena a diferentes tiempos de integración y sintetizar una imagen digital final usando la información contenida en cada una de las capturas. Para esto se usará alguna herramienta (como MATLAB) que use las imágenes de prueba de la referencia [1] para implementar el método HDR para luego, mediante este programa, sintetizar una imagen HDR con imágenes digitales propias. Como resultado secundario se espera la obtención de las curvas de respuesta del sistema de captura de imágenes

### Metodología:

El alumno trabajará de forma autónoma con las referencias y tras familiarizarse con el tema se procederá a realizar un documento sobre estado del arte mediante una búsqueda de bibliografía relevante.

### Bibliografía:

- [1] <http://cybertron.cg.tu-berlin.de/eitz/hdr/#downloads>
- [2] <http://www.stuckincustoms.com/hdr-tutorial/>



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Interacción luz-materia: fundamentos y aplicaciones	
<b>Title:</b>	Light-matter interaction: fundamentals and applications	
<b>Supervisor/es:</b>	José A. Rodrigo	
<b>E-mail supervisor/es</b>	jarmar@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

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

### 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. Búsqueda de bibliografía actual (artículos de investigación) relacionada con las aplicaciones.
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**, 1–16 (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**, 48–51 (1985).
4. Gattass, R. R. & Mazur, E. Femtosecond laser micromachining in transparent materials. *Nat. Photon.* **2**, 219–225 (2008).



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	ÓPTICA	
<b>TÍTULO:</b>	Computación óptica con Python	
<b>TITLE:</b>	Optical computation with Python	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Luis Miguel Sánchez Brea	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	<a href="mailto:optbrea@ucm.es">optbrea@ucm.es</a>	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

#### OBJETIVOS:

El objetivo de este TFG es utilizar técnicas computacionales con Python para el estudio de fenómenos ópticos: polarización, interferencias, difracción, filtrado óptico, etc.

El profesor proporcionará módulos específicos, a partir de los cuales se desarrollarán ejemplos computacionales de fenómenos ópticos. Estos ejemplos se podrán desarrollar en en .py o en jupyter notebook.

Se espera que el alumno tenga cierta formación en computación (Python). Dependiendo del grado de conocimiento se utilizarán distintos módulos y técnicas: opencv, cython, multiprocessing, profiling, GUIs, etc...

#### METODOLOGÍA:

- Estudio de módulos científicos estándar (numpy, scipy, matplotlib, etc.)
- Estudio de módulos específicos para óptica.
- Desarrollo y análisis de ejemplos propios.

#### BIBLIOGRAFÍA:

- Hans Petter Langtangen "Python Scripting for Computational Science" (2008) ISBN 978-3-540-73915-9
- Tarek Ziadé "Expert Python Programming" Packt Publishing (2008) ISBN 978-1-847194-94-7
- Sandro Tosi "Matplotlib for Python Developers" Packt Publishing (2009) ISBN 978-1-847197-90-0
- Ayuda de los módulos: Librería estándar, numpy, scipy, matplotlib, sympy, mayavi, pyQT
- <https://diffractio.readthedocs.io>



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	ÓPTICA	
<b>TÍTULO:</b>	Computación óptica con Python: desarrollo de simulaciones	
<b>TITLE:</b>	Optical computation with Python: development of simulations	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Luis Miguel Sánchez Brea	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	<a href="mailto:optbrea@ucm.es">optbrea@ucm.es</a>	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

#### OBJETIVOS:

El objetivo de este TFG es utilizar técnicas computacionales con Python para el desarrollo de ejemplos específicos para la asignatura Óptica de 2 de grado en Física: Propagación de la luz en el vacío, polarización, propagación de la luz en la materia, interferencias, difracción, filtrado óptico, etc.

El profesor proporcionará módulos específicos (diffractio y py\_pol) a partir de los cuales se desarrollarán ejemplos computacionales de fenómenos ópticos. Estos ejemplos se desarrollarán en Jupyter notebook.

Se espera que el alumno tenga cierta formación en computación (Python).

#### METODOLOGÍA:

- Estudio de módulos científicos estándar (numpy, scipy, matplotlib, etc.)
- Estudio de módulos específicos para óptica.
- Desarrollo y análisis de ejemplos propios.

#### BIBLIOGRAFÍA:

- Hans Petter Langtangen “Python Scripting for Computational Science” (2008) ISBN 978-3-540-73915-9
- Tarek Ziadé “Expert Python Programming” Packt Publishing (2008) ISBN 978-1-847194-94-7
- Sandro Tosi “Matplotlib for Python Developers” Packt Publishing (2009) ISBN 978-1-847197-90-0
- Ayuda de los módulos: Librería estándar, numpy, scipy, matplotlib, sympy, plotly, pyQT
- <https://diffractio.readthedocs.io>
- [https://py\\_pol.readthedocs.io](https://py_pol.readthedocs.io)



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Optica	
<b>Título:</b>	Metrología cuántica con estructuras acausales	
<b>Title:</b>	Quantum metrology with indefinite causal order	
<b>Supervisor/es:</b>	Luis Lorenzo Sánchez Soto	
<b>E-mail supervisor/es</b>	lsanchez@fis.ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Uno de los conceptos más fundamentales de la física es el de causalidad: la idea de que los eventos en el presente son causados por eventos en el pasado y, a su vez, actúan como causas de eventos en el futuro. Sin embargo, la teoría cuántica considera situaciones más generales en las que el orden causal entre eventos se vuelve indefinido. Por ejemplo, podría existir una estructura causal indefinida que corresponda a una superposición cuántica de "A que causa B" y "B que causa A".

Recientemente se ha desarrollado un marco teórico que asume que las operaciones en los laboratorios locales están descritas por la mecánica cuántica, pero donde no se hace referencia a ninguna relación causal global entre estas operaciones. La noción central del formalismo es la de un proceso, que es una generalización de la noción de un estado físico. Sorprendentemente, este formalismo permite procesos que no están ordenados causalmente ni en una mezcla probabilística de procesos ordenados causalmente, es decir, no pueden entenderse como canales o estados cuánticos. Un proceso se denomina causalmente separable si puede descomponerse como una combinación convexa de procesos ordenados causalmente; de lo contrario, no es causalmente separable.

Los procesos causalmente no separables pueden dar lugar a correlaciones que pueden violar las desigualdades causales que se satisfacen si los eventos se ordenan de acuerdo con un orden causal fijo. Ésta es una analogía directa con la famosa violación de las desigualdades de Bell por correlaciones cuánticas, que se satisfacen si las correlaciones cumplen la condición de causalidad local.

**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.

**Bibliografía:**

- O. Oreshkov, F. Costa, C. Brukner: Quantum correlations with no causal order, Nat. Commun. **3**, 1092 (2012).
- C. Branciard, M. Araújo, F. Costa, A. Feix, C. 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).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Optica	
<b>Título:</b>	Información de Fisher y límites en metrología cuántica	
<b>Title:</b>	Fisher information and ultimate limits in quantum metrology	
<b>Supervisor/es:</b>	Luis Lorenzo Sánchez Soto	
<b>E-mail supervisor/es</b>	lsanchez@fis.ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Introducción a los aspectos básicos de geometría de la información, con especial énfasis en la información de Fisher, y aplicación de dichas técnicas a caracterizar los límites cuánticos de diversos sistemas.

### Metodología:

La información de Fisher mide de forma eficiente la información que una variable aleatoria  $X$  puede proporcionar sobre un parámetro  $\theta$  que se desea estimar. Precisamente, la famosa cota de Cramér-Rao da la varianza mínima que puede alcanzar un estimador insesgado de  $\theta$ .

Estos conceptos se pueden trasladar de forma directa al formalismo de la mecánica cuántica. En este caso, podemos entender el proceso de medida como el de estimación del valor más probable de la magnitud. Por tanto, podemos entender la cota de Cramér-Rao como una especie de principio de indeterminación generalizado. Puesto que muchos problemas en óptica cuántica se pueden plantear como un proceso de estimación óptima de una variable, las técnicas anteriores pueden ser utilizadas para establecer los límites últimos en la precisión del sistema. Este es el caso de la resolución de un sistema óptico, la resolución temporal en un sistema GPS, etc. Dichos límites cuánticos serán el objeto de este TFG.

### Bibliografía:

- C. R. Rao, Linear Statistical Inference and its Applications (Wiley, New York, 2005).
- D. Petz, C. Ghinea, Introduction to quantum Fisher information (Springer, Berlin, 2011)
- M. A. Paris, J. Rehacek, Quantum state estimation (Springer, Berlin, 2004).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Teleportación cuántica	
<b>Title:</b>	Quantum teleportation	
<b>Supervisor/es:</b>	Ángel S. Sanz Ortiz	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:a.s.sanz@fis.ucm.es">a.s.sanz@fis.ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Se propone un estudio y análisis, a nivel introductorio, de la teleportación cuántica, no desde un enfoque tradicional operacional, sino partiendo de la base de que se trata de un proceso que tiene lugar en el espacio real y transcurre en un lapso de tiempo determinado.

### Metodología:

- Revisión bibliográfica y estado actual del tema.
- Análisis del proceso básico de transmisión de información cuántica mediante teleportación.
- Estudio de métodos de producción/detección de pares entrelazados.
- Recreación de un proceso de transmisión de información mediante teleportación empleando modelos fenomenológicos sencillos.

### Bibliografía:

- C. H. Bennet, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres, W. K. Wootters, *Phys. Rev. Lett.* 70, 1895-1899 (1993).
- A. Zeilinger, *Phys. Scr.* **92**, 072501 (2017).
- J.-G. Ren, P. Xu, H.-L. Yong, et al., *Nature* 549, 70-73 (2017).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Criptografía cuántica	
<b>Title:</b>	Quantum Cryptography	
<b>Supervisor/es:</b>	Ángel S. Sanz Ortiz	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:a.s.sanz@fis.ucm.es">a.s.sanz@fis.ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Se propone un estudio y análisis, a nivel introductorio, de la criptografía cuántica, en el que se pretende que el/la alumno/a aborde aspectos tales como la importancia e interés de esta tecnología cuántica, una revisión de los principales protocolos criptográficos desarrollados hasta la fecha, la eficiencia y principales diferencias entre tales protocolos, la investigación a un nivel más formal de la base teórica de alguno de ellos y su operatividad, o su implementación práctica a nivel de laboratorio y/o comercial.

### Metodología:

- Revisión bibliográfica para evaluar el estado actual del tema, así como detectar avances y perspectivas.
- Análisis formal de los protocolos criptográficos más conocidos (al menos, alguno de ellos) y empleados en la actualidad, así como de su implementación práctica.
- Estudio de los métodos experimentales de producción y distribución de claves cuánticas (*Quantum Key Distribution*).

### Bibliografía:

- C. H. Bennet, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres, W. K. Wootters, *Phys. Rev. Lett.* 70, 1895-1899 (1993).
- A. Zeilinger, *Phys. Scr.* **92**, 072501 (2017).
- *Quantum Computation and Quantum Information*, M. A. Nielsen, I. L. Chuang (Cambridge University Press, 2004).
- C. Hughes, J. Isaacson, A. Perry, R. F. Sun, J. Turner, *Quantum Computing for the Quantum Curious* (Springer, 2021).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Difracción	
<b>Title:</b>	Diffraction	
<b>Supervisor/es:</b>	Julio Serna Galán	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:azul@ucm.es">azul@ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### 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: el objetivo concreto (proporciones entre Objetivos 2 y 3 y temas dentro de cada uno de los objetivos) se ajustará 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 unos experimentos de difracción.

### Bibliografía:

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 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	ÓPTICA	
<b>Título:</b>	¿Se puede medir el índice de refracción de un material muy fino?: Fundamentos de elipsometría	
<b>Title:</b>	Can you measure the refractive index of a very thin material? Fundamentals of ellipsometry	
<b>Supervisor/es:</b>	Rosa Weigand	
<b>E-mail supervisor/es</b>	weigand@fis.ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Entender la técnica elipsométrica para determinar las propiedades ópticas de materiales masivos o en lámina delgada.

### Metodología:

El alumno seguirá un texto básico de elipsometría.

Deberá entender y explicar los conceptos básicos de la elipsometría, así como los montajes más usuales.

Asimismo podrá consultar artículos básicos sobre el tema para ilustrar resultados en casos de interés.

### Bibliografía:

- 1. Spectroscopic Ellipsometry and Reflectometry.
- Harland G. Tompkins. William A. McGahan.
- 2. J. M. Cabrera, F. J. López, F. Agulló López, Óptica Electromagnética, Fundamentos. Addison-Wesley Iberoamericana 1993.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Departamento de Óptica	
<b>Título:</b>	Procesamiento de imagen mediante Deep Learning	
<b>Title:</b>	Image processing through Deep Learning	
<b>Supervisor/es:</b>	Javier Vargas	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:jvargas@ucm.es">jvargas@ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Comprender el funcionamiento de las redes neuronales convolucionales y sus aplicaciones en procesamiento de imagen. Se realizará una aplicación sencilla de estas técnicas.

### Metodología:

El trabajo consistirá en los siguientes puntos:

1. Análisis del material proporcionado por el profesor.
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/mldl>
- [3] <https://es.mathworks.com/campaigns/offers/deep-learning-examples-with-matlab.html>
- [4] LeCun, Bengio, Hinton, Deep Learning, Nature 521 436-444 (2015)



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Óptica	
<b>Título:</b>	Haces Airy y su aplicación a los plasmones de superficie	
<b>Title:</b>	Airy beams and its application to surface plasmons	
<b>Supervisor/es:</b>	Rosario Martínez Herrero	
<b>E-mail supervisor/es</b>	rosarmar@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input type="checkbox"/>	Selección por expediente X <input checked="" type="checkbox"/>

### Objetivos:

Aplicar los haces Airy en su versión monodimensional al análisis de los plasmones superficiales generados en una interfaz dieléctrico/metal.

El trabajo es teórico. Se requieren conocimientos básico de cálculo numérico (mathlab, mathematica, etc.) y de representación gráfica.

### Metodología:

- 1.-Revisión de las propiedades de los haces Airy.
- 2.- Revisión de los plasmones de superficie generados en una interfaz dieléctrico/metal en aproximación paraxial
- 3.- Aplicación de los haces Airy a los plasmones de superficie en las condiciones del apartado anterior
- 4.- Memoria y exposición de los resultados obtenido

### Bibliografía:

1. Efremidis, Nikolaos K., et al. "Airy beams and accelerating waves: an overview of recent advances." *Optica* 6.5 (2019): 686-701.
2. Martínez-Herrero, Rosario, Alejandro Manjavacas. "Basis for paraxial surface-plasmon-polariton packets." *Physical Review A* 94.6 (2016): 063829.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Departamento de Óptica	
<b>Título:</b>	Principios y aplicaciones de espectroscopia Raman	
<b>Title:</b>	Fundamentals and applications of Raman Spectroscopy	
<b>Supervisor/es:</b>	Laura Martínez Maestro	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:Lauram40@ucm.es">Lauram40@ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input type="checkbox"/>	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

### Objetivos:

La espectroscopía Raman es una técnica dentro de la espectroscopía vibracional, que se basa en la dispersión inelástica de la luz. Desde el desarrollo del primer espectrómetro Raman comercial en 1953, los avances en láseres y detectores y el descubrimiento de nuevos fenómenos han expandido el uso de esta técnica en varios campos de investigación.

En el presente proyecto se busca profundizar en los fundamentos de la espectroscopía Raman de manera teórica como con una revisión bibliográfica de trabajos punteros en diferentes materiales. Adicionalmente, se podrían tomar espectros de diferentes materiales.

### Metodología:

Para el presente proyecto se realizará una búsqueda bibliográfica para profundizar en la comprensión de la espectroscopía vibracional Raman. También se realizará una síntesis de los trabajos más novedosos en aplicaciones Raman. Si se estima necesario, se realizará la toma de espectros de diferentes materiales para obtener una comprensión más en profundidad de la espectroscopía Raman.

### 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.