



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Integrabilidad, caos y entrelazamiento en sistemas cuánticos
<b>Title:</b>	Integrability, chaos and entanglement in quantum systems
<b>Tutor/es:</b>	Federico Finkel Morgenstern, Artemio González López
<b>E-mail tutor/es:</b>	ffinkel@ucm.es, artemio@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	3
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

En este trabajo se abordan distintas cuestiones relacionadas con las nociones de integrabilidad, caos y entrelazamiento en sistemas cuánticos. Se procurará adaptar el trabajo propuesto a la formación y los intereses del alumno. Más concretamente, se pretende que el alumno alcance alguno de los siguientes objetivos:

- Estudiar las propiedades fundamentales de los modelos cuánticos de muchos cuerpos de tipo Calogero–Sutherland, y su relación con cadenas de espines con interacciones de largo alcance.
- Aprender los conceptos básicos de la teoría de matrices aleatorias y su aplicación en la determinación del comportamiento integrable/caótico de los sistemas cuánticos.
- Entender la definición de la entropía de entrelazamiento en un sistema cuántico, y evaluarla para alguna cadena de espines sencilla (por ejemplo, el modelo de Heisenberg de tipo XX).

**Metodología:**

Lectura de capítulos de libros y/o artículos científicos introductorios relacionados con los objetivos propuestos (ver Bibliografía). En algunos casos, se pedirá que el alumno realice algún cálculo, comprobación o simulación utilizando el programa de cálculo simbólico *Mathematica*.

**Bibliografía:**

- J.C. Barba, F. Finkel, A. González-López, M.A. Rodríguez, The Berry-Tabor conjecture for spin chains of Haldane-Shastry type, *Europhys. Lett.* 83, 27005 (2008).
- J.A. Carrasco, F. Finkel, A. González-López, M.A. Rodríguez, Supersymmetric spin chains with nonmonotonic dispersion relation: Criticality and entanglement entropy, *Phys. Rev. E* 93, 155154 (2016).
- F. Finkel, A. González-López, Global properties of the spectrum of the Haldane-Shastry spin chain, *Phys. Rev. B* 72, 174411 (2005).
- P.J. Forrester, *Log-gases and Random Matrices*, Princeton University Press, 2010.
- J.I. Latorre, A. Riera, A short review on entanglement in quantum spin systems, *J. Phys. A: Math. Theor.* 42, 504002 (2009).
- M.L. Mehta, *Random Matrices*, Elsevier, 2010.
- M.A. Nielsen, I.L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, 10th anniversary ed., Cambridge University Press, 2010.
- A.P. Polychronakos, The physics and mathematics of Calogero particles, *J. Phys. A* 39, 12793 (2006).
- H.J. Stöckmann, *Quantum Chaos. An Introduction*, Cambridge University Press, 1999.
- B. Sutherland, *Beautiful Models. 70 Years of Exactly Solved Quantum Many-Body Problems*, World Scientific, 2004.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Aplicaciones del flujo de Ricci en Relatividad General
<b>Title:</b>	Applications of Ricci flow in General Relativity
<b>Tutor/es:</b>	Gabriel Álvarez Galindo
<b>E-mail tutor/es:</b>	galvarez@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

- Estudiar el flujo por curvatura de una curva y el flujo por curvatura media de una superficie.
- Visualizar estos flujos.
- Estudiar el flujo de Ricci de una métrica riemanniana.
- Estudiar soluciones elementales del flujo de Ricci.
- Visualizar, en casos en los que es posible, el flujo de Ricci.
- Estudiar el flujo de Ricci en espacios maximalmente simétricos, tanto de curvatura positiva (de Sitter) como negativa (anti de Sitter).

### Metodología:

Reuniones periódicas con el supervisor, que irá asignando las tareas correspondientes a cada uno de los objetivos. La realización de estas tareas requiere tanto realizar cálculos numéricos como el uso de un programa de cálculo simbólico, sobre cuyo funcionamiento también se instruirá al estudiante.

### Bibliografía:

1. B. Andrews, B. Chow, C. Guenther and M. Langford, *Extrinsic Geometric Flows*, AMS, Providence, R. I. (2020).
2. B. Chow, P. Lu and L. Ni, *Hamilton's Ricci Flow*, AMS, Providence, R. I. (2006).
3. J. H. Rubinstein and R. Sinclair, *Visualizing Ricci Flow of Manifolds of Revolution*, *Experimental Mathematics* 14, 285 (2000).
4. R. Cartas-Fuentevilla, A. Herrera-Aguilar and J. A. Olvera-Santamaría, *Evolution and metric signature change on maximally symmetric spaces under the Ricci flow*, *Eur. Phys. J. Plus* 133, 235 (2018).
5. R. Cartas-Fuentevilla, A. Herrera-Aguilar and J. A. Herrera-Mendoza, *Constructing Lifshitz spaces using*



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Teoría de la Información Cuántica y Computación Cuántica
<b>Title:</b>	Quantum Information and Quantum Computation
<b>Tutor/es:</b>	Miguel Angel Martin-Delgado
<b>E-mail tutor/es:</b>	mardel@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Hacer una introducción a la teoría de la información cuántica mostrando cuáles son los principios y relación con la mecánica cuántica y con la teoría de la información clásica. Estudiar protocolos y algoritmos relevantes como: teleportación cuántica, codificación densa, algoritmos de Grover y Shor. Perspectivas actuales para su desarrollo.

### Metodología:

Reuniones periódicas con el alumno y estudio guiado de la bibliografía básica y fuentes en la red. Asistencia a seminarios organizados por el Grupo de Información y Computación Cuántica de la Facultad de CC. Físicas.

<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/giccucm/index.php/GICC.html>

### Bibliografía:

- 1) Physics World. Ejemplar de la revista de Marzo, 1998
- 2) "Information and Computation: Classical and Quantum aspects" Galindo, A., Martin-Delgado, M.A., Rev.Mod.Phys.74, 347 (2002)
- 3) "Quantum Computation and Quantum Information" Nielsen, M.A., I.L. Chuang, Cambridge Univ. Press 2000.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Introducción a la Información Cuántica y Computación Cuántica
<b>Title:</b>	Introduction to Quantum Information and Quantum Computation
<b>Tutor/es:</b>	Miguel Angel Martin-Delgado
<b>E-mail tutor/es:</b>	mardel@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Realizar una introducción teórica a la información y computación cuánticas, explicando sus principios fundamentales y su relación con la computación clásica.  
Poner en contexto el resultado de supremacía cuántica (de forma teórica) y realizar una simulación similar a menor escala.

### Metodología:

Reuniones periódicas con el alumno y estudio guiado de la bibliografía básica y fuentes en la red. Asistencia a seminarios organizados por el Grupo de Información y Computación Cuántica de la Facultad de CC. Físicas.  
<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/giccucm/index.php/GICC.html>

### Bibliografía:

- 1) "Information and Computation: Classical and Quantum aspects" Galindo, A., Martin-Delgado, M.A., Rev. Mod. Phys. 74, 347 (2002)
- 2) "Quantum Computation and Quantum Information" Nielsen, M.A., I.L. Chuang, Cambridge Univ. Press 2000
- 3) "Elementary gates for quantum computation" Barenco, A., Bennet, C.H., Cleve, R. et al., Phys. Rev. A 52, 3457-3467
- 4) "Characterizing quantum supremacy in near-term devices" Boixo, S., Isakov, S.V., Smelyanskiy, V.N. et al., Nature Phys. 14, 595-600, 2018
- 5) "Quantum supremacy using a programmable superconducting processor" Arute, F., Arya, K. Babbush, R. et al., Nature 574, 505-510, 2019.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Impulso Activo y Dinámicas Conformacionales de Filamentos de Biopolímeros
<b>Title:</b>	Active Drive and Conformational Dynamics of Biopolymer Filaments
<b>Tutor/es:</b>	Daniel Matoz Fernandez, Francisco Javier Cao García
<b>E-mail tutor/es:</b>	dmatoz@ucm.es, francao@fis.ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

(1) Desarrollar un modelo computacional integral que simule las interacciones entre un filamento semiflexible y proteínas motoras, centrándose en cómo estas interacciones influyen en la dinámica del filamento en dos dimensiones. (2) Examinar las condiciones bajo las cuales el filamento experimenta una transición de fase de una cadena abierta a una conformación espiral. Identificar los factores críticos que influyen en esta transición y las propiedades de cada fase. (3) Caracterizar las tasas de extensión y desprendimiento dependientes de la carga - Cuantificar cómo las fuerzas mecánicas ejercidas por las proteínas motoras afectan las tasas de extensión y desprendimiento del filamento, y cómo estas tasas influyen en el comportamiento general del sistema.

### Metodología:

El estudiante se introducirá en la problemática mediante la revisión de artículos científicos preliminares que estén relacionados con los objetivos planteados. Además, el proyecto contará con una revisión bibliográfica sobre materia activa y su interacción con sistemas biológicos. Asimismo, el trabajo incluirá la realización de ejercicios mediante simulaciones computacionales que el estudiante deberá ejecutar. Es recomendable contar con conocimientos de Python o de otro lenguaje de programación como C/C++.

### Bibliografía:

- M. C. Marchetti, et al. Rev. Mod. Phys. 85, 1143 - 2013
- R. G. Winkler et al J. Chem. Phys. 153, 040901 (2020).
- K. R. Prathyusha et al PRE 97, 022606 (2018).
- R. E. Isele-Holder et al Soft Matter 11, 7181 (2015).
- Amir Shee et al Soft Matter 17, 2120 (2020)
- Hamidreza Khalilian et al arXiv:2401.01719v2 (2024).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Introducción a la física de agujeros negros
<b>Title:</b>	Introduction to black hole physics
<b>Tutor/es:</b>	Diego Rubiera García
<b>E-mail tutor/es:</b>	drubiera@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	3
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Digerir un conjunto de conocimientos básicos sobre las propiedades geométricas, físicas y observacionales más relevantes de los agujeros negros.

Desarrollar en profundidad una temática especializada de agujeros negros.

### Metodología:

En una primera fase se proporcionará material propio recorriendo los aspectos más fundamentales de la física de agujeros negros: soluciones clásicas, horizontes, movimiento geodésico, esferas de fotones, soluciones dinámicas, colapso gravitacional, termodinámica/radiación Hawking, ondas gravitacionales, búsquedas observacionales, singularidades espacio-temporales, objetos exóticos...

En una segunda fase el alumno escogerá a voluntad un tema de su interés, para profundizar en él, proporcionándosele al efecto material complementario. Dicha temática especializada constituirá la base del TFG final.

### Bibliografía:

M. Hobson, "General Relativity".

T. Ortín, "Gravity and Strings" (temas 7 y 8).

R. M. Wald, "General Relativity".

T. Padmanabhan, "Gravitation. Foundations and Frontiers".



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Perturbaciones de objetos compactos en teorías alternativas de gravedad: agujeros negros, estrellas de neutrones y agujeros de gusano
<b>Title:</b>	Perturbations of compact objects in alternative theories of gravity: black holes, neutron stars and wormholes
<b>Tutor/es:</b>	José Luis Blázquez Salcedo
<b>E-mail tutor/es:</b>	jlblaz01@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Con la detección de ondas gravitatorias por la colaboración LIGO/VIRGO se ha iniciado una nueva edad dorada en el estudio de objetos compactos y gravitación. Eventos como la colisión de agujeros negros o estrellas de neutrones, ya son observables. Estos fenómenos emiten ondas gravitacionales que presentan distintas fases.

Con este trabajo se persigue introducir al alumno en el estudio teórico de las ondas gravitacionales emitidas por objetos compactos, en particular en la fase final de la onda conocida como "ringdown". Esta fase se caracteriza por un espectro de frecuencias y tiempos de decaimiento que se puede estudiar, desde el punto de vista teórico, utilizando teoría de perturbaciones y analizando los modos cuasinormales. En teorías alternativas de la gravedad, este espectro puede ser diferente al predicho por la teoría de la Relatividad General, y la comparación de las predicciones teóricas con las futuras detecciones puede ser de gran valor a la hora de constreñir o testear una teoría alternativa.

El objetivo del trabajo es aprender a utilizar las herramientas perturbativas necesarias para analizar los modos cuasinormales, y aplicarlo en el contexto de teorías alternativas de la gravedad.



## Metodología:

Cada estudiante se concentrará en una clase de objetos diferente: agujeros negros, estrellas de neutrones, agujeros de gusano, etc. Se empezará con un estudio de las perturbaciones no-radiales de configuraciones con simetría esférica y estáticas en Relatividad General. Posteriormente se generalizará a configuraciones en teorías alternativas, donde principalmente nos enfocaremos a teorías que introducen campos escalares adicionales. Se estudiarán perturbaciones gravitatorias, electromagnéticas y escalares. Una vez obtenidas las perturbaciones, se procederá a su estudio con técnicas semianalíticas y numéricas. Se analizarán las diferentes componentes del espectro de modos cuasinormales, la frecuencia de oscilación y tiempo de decaimiento de las perturbaciones, su desviación con respecto a los valores predichos por Relatividad General, estabilidad, etc.

Se recomienda haber cursado la asignatura de Relatividad General.

## Bibliografía:

- ) "Gravitation". C.W. Misner, K.S. Thorne, J.A. Wheeler; Princeton University Press (1974). ISBN 978-0-7167-0344-0.
- ) "Quasi-Normal Modes of Stars and Black Holes". K.D. Kokkotas, B.G. Schmidt, Living Rev. Relativ. 2, 2 (1999). <https://doi.org/10.12942/lrr-1999-2>
- ) "Quasinormal modes of black holes and black branes". E. Berti, V. Cardoso, A. O. Starinets, Class.Quant.Grav. 26, 163001 (2009). arXiv:0905.2975 [gr-qc]
- ) "Quasinormal modes of black holes: from astrophysics to string theory". R. Konoplya, A. Zidenko, Rev.Mod.Phys.83:793-836 (2011). arXiv:1102.4014 [gr-qc]
- ) "Quasinormal modes of compact objects in alternative theories of gravity" J.L. Blázquez-Salcedo, Z.A. Motahar, D.D. Doneva, F.S. Khoo, J. Kunz, S. Mojica, K.V. Staykov, S.S. Yazadjiev, Eur. Phys. J. Plus 134: 46 (2019). arXiv:1810.09432 [gr-qc]



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Ondas en el agua
<b>Title:</b>	Water Waves
<b>Tutor/es:</b>	Manuel Mañas Baena
<b>E-mail tutor/es:</b>	manuel.manas@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Entender los principios físicos y técnicas matemáticas para la descripción y análisis de las ondas en el agua.

## **Metodología:**

Para las ecuaciones de Euler para un fluido ideal irrotacional se considera un problema de frontera libre para la ola en el agua. Aplicando técnicas de escalas múltiples se deriva la ecuación de Korteweg-de Vries para ondas longitudinales en aguas someras, y la ecuación de Kadomtsev-Petviashvili para el caso en que se permita una transversalidad débil. Estudio del caso de aguas profundas y la ecuación de Schrödinger no lineal.

La metodología es el estudio de temas seleccionada de la bibliografía y búsqueda bibliográfica adicional.

Los estudiantes podrán elegir desarrollar uno de los siguientes temas:

1. Olas en aguas someras
2. Olas en aguas profundas
3. Solitones en comunicaciones ópticas
4. La transformada espectral inversa

## **Bibliografía:**

- Mark J. Ablowitz, Nonlinear Dispersive Waves. Cambridge University Press (2011).
- R. S. Johnson, A Modern Introduction to the Mathematical Theory of Water Waves, Cambridge University Press (1997).
- G. K. Batchelor, An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press (2007).
- Sir Horace Lamb, Hydrodynamics, Dover (1945).