



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Introducción a la física no lineal: sincronización de osciladores no lineales
<b>Title:</b>	Introduction to nonlinear physics: synchronization of nonlinear oscillators
<b>Tutor/es:</b>	Juan José Mazo Torres
<b>E-mail tutor/es:</b>	jmazo@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

El trabajo tiene como objetivo introducir al alumno en el fenómeno de la sincronización de osciladores, uno de los paradigmas fundamentales de la ciencia no lineal. Se trata de una propuesta con un enfoque teórico y computacional, centrada en el análisis del modelo de Kuramoto, un sistema de referencia especialmente adecuado para explorar este tipo de fenómenos. A lo largo del trabajo se abordarán conceptos clave como el de punto fijo, ciclos límites, atractores, bifurcaciones y transiciones de fase, estableciendo además conexiones con sistemas físicos de interés que permitan contextualizar y aplicar los resultados obtenidos.

**Metodología:**

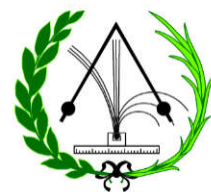
- \* Lectura y estudio de la bibliografía básica.
- \* Implementación de un programa de simulación numérica.
- \* Realización de las simulaciones y análisis de los resultados.
- \* Exposición escrita y oral del trabajo realizado.

**Bibliografía:**

- [1] Nonlinear dynamics and Chaos. S.H.S. Strogatz (3rd edition, CRC Press, 2024)
- [2] Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Sciences. Arkady Pikovsky, Michael Rosenblum, Jürgen Kurths. Cambridge Nonlinear Science Series, Series Number 12 (Cambridge University Press, 2001).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Introducción a la física no lineal: el modelo Prandtl-Tomlinson para el estudio de fenómenos de fricción
<b>Title:</b>	Introduction to nonlinear physics: the Prandtl-Tomlinson model to study friction
<b>Tutor/es:</b>	Juan José Mazo Torres
<b>E-mail tutor/es:</b>	jmazo@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

El trabajo tiene como finalidad introducir al alumno en el estudio de fenómenos no lineales mediante el análisis del modelo Prandtl-Tomlinson, un modelo no lineal sencillo ampliamente utilizado en el estudio de fenómenos de fricción en la nanoescala. En particular, se tomará como caso de referencia el fenómeno de stick-slip observado en estudios de fricción realizados con microscopios de fuerza atómica (AFM), cuya comprensión se abordará a partir del modelo mencionado. Se estudiará el modelo y se realizarán las simulaciones numéricas correspondientes. El objetivo final del trabajo es que el alumno demuestre un grado de madurez científica adecuado mediante la elaboración de una memoria y la defensa oral del trabajo realizado.

**Metodología:**

- \* Lectura y estudio de la bibliografía básica.
- \* Implementación de un programa de simulación numérica.
- \* Realización de las simulaciones y análisis de los resultados.
- \* Exposición escrita y oral del trabajo realizado.

**Bibliografía:**

- [1] A. Vanossi et al. Modeling friction: From nanoscale to mesoscale. *Rev. Mod. Phys.* 85, 529 (2013)
- [2] N. Manini et al. Current trends in the physics of nanoscale friction. *Advances in Physics: X*, 2, 569 (2017).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Modelo de Potts. Fundamentos y aplicaciones
<b>Title:</b>	Potts model. Fundamentals and applications
<b>Tutor/es:</b>	Juan Pedro García Villaluenga
<b>E-mail tutor/es:</b>	jpgarcia@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Los modelos de red se han empleado como modelos discretos para estudiar una gran variedad de fenómenos. Su motivación original proviene de la física estadística, sin embargo, el desarrollo de nuevas herramientas matemáticas ha encontrado aplicaciones en muchos otros ámbitos científicos. Aquí nos centramos en una clase de modelos reticulares, denominados sistemas de espín. Estos sistemas son conjuntos aleatorios de variables de espín asignadas a los vértices de una red. El ejemplo paradigmático de este tipo es el modelo de Ising. El modelo de Potts es una generalización del modelo de Ising a más de dos componentes.

Los objetivos concretos del trabajo son:

- Comprender los fundamentos físicos y matemáticos del modelo de Potts.
- Analizar una posible aplicación del modelo de Potts a un sistema concreto en física, biología, sociología, economía, o de otro tipo, a elección por parte del estudiante.
- Aprender y profundizar en técnicas de cálculo numérico.

## Metodología:

- Búsqueda bibliográfica de material sobre fundamentos teóricos y aplicaciones del modelo de Potts. Lectura, análisis y comprensión.
- Cálculos analíticos y/o simulaciones numéricas del comportamiento de un sistema físico, biológico, sociológico, económico, o de otro tipo, utilizando el modelo de Potts.

## Bibliografía:

Aldassarri, Simone, Anna Gallo, Vanessa Jacquier, and Alessandro Zocca. 2023. "Ising Model on Clustered Networks : A Model for Opinion Dynamics". *Physica A* 623: 128811.

Bornholdt, Stefan. 2022. "A Q-Spin Potts Model of Markets : Gain – Loss Asymmetry in Stock Indices as an Emergent Phenomenon." *Physica A* 588: 126565

Carvalho, Joao, Valeria Lopes, and Rui Travasso. 2021. "A Three Dimensional Computer Model of Urothelium and Bladder Cancer Initiation, Progress and Collective Invasion." *Informatics in Medicine Unlocked* 26: 100750.

Dorogovtsev, S N, A V Goltsev, and J. F.F. Mendes. 2004. "Potts Model on Complex Networks." *European Physical Journal B*, 177 -82.

Krasnytska, Mariana et al. 2023. "Potts Model with Invisible States : A Review." *The European Physical Journal Special Topics. Physical Journal* 232(11): 1681–91.

Szabó, András, and Roeland M.H. Merks. 2013. "Cellular Potts Modeling of Tumor Growth, Tumor Invasion, and Tumor Evolution." *Frontiers in Oncology* 3 APR(April): 1–12.

Wu, F.Y. 1982. "The Potts model," *Rev. Mod. Phys.* 54, 235–268.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Caos y física estadística en sistemas cuánticos
<b>Title:</b>	Chaos and statistical physics in quantum systems
<b>Tutor/es:</b>	Armando Relano Pérez
<b>E-mail tutor/es:</b>	armando.relano@fis.ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	3
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

El caos tiene una definición matemática precisa y una fenomenología característica en sistemas clásicos. Sin embargo, sus manifestaciones en el ámbito cuántico no son tan fáciles de identificar, debido a la linealidad de la ecuación de Schrödinger.

La fundamentación de la física estadística cuántica sufre un problema similar. Uno de los cimientos de la física estadística clásica es la hipótesis ergódica, que se cumple en sistemas altamente caóticos. Por ese motivo, dada la dificultad de definir y caracterizar el caos en física cuántica, la física estadística y la termodinámica cuánticas no están tan sólidamente fundamentadas como sus versiones clásicas.

El objetivo fundamental de este trabajo es que la/el estudiante aborde uno de estos temas (o también la relación entre ellos) y profundice en una de las líneas de trabajo que se listan a continuación:

- 1.- Manifestaciones del caos en el espectro de energías y las funciones de onda.
- 2.- Dinámica en las versiones clásica y cuántica de un mismo sistema físico.
- 3.- Caos cuántico y dispersión de la información.
- 4.- Relación entre el caos y la física estadística cuántica.
- 5.- Procesos de no equilibrio en sistemas cuánticos.
- 6.- Transiciones de fase cuánticas.
- 7.- Termalización en sistemas cuánticos con ruptura de simetría.

El trabajo en cualquiera de estas líneas parte de los conocimientos adquiridos en asignaturas como Física Cuántica I y II, y Física Estadística. Para alguna de ellas sería de ayuda que la/el estudiante estuviera cursando o hubiera cursado algunas de las optativas ofertadas en tercero y cuarto, como Mecánica Cuántica, Mecánica Teórica o Transiciones de Fase.

Todas las líneas ofertadas permiten orientar el Trabajo de Fin de Grado, bien como un trabajo bibliográfico, bien como un trabajo en el que la/el estudiante realizará sus propias simulaciones numéricas. Para esta segunda posibilidad, sería de ayuda que la/el estudiante estuviera familiarizado con algún tipo de lenguaje y/o software científico (Python, Matlab, C, Fortran, etc.).

## Metodología:

En todos los casos, se deberá elegir una de las posibles líneas listadas en el apartado anterior y revisar su bibliografía básica, con el fin de entender el problema y su estado actual. Después, en función de la orientación que se le quiera dar al trabajo, la metodología podrá consistir en:

1.- Realizar una búsqueda bibliográfica más detallada para profundizar en aspectos concretos de la línea elegida.

2.- Llevar a cabo simulaciones numéricas en un sistema físico sencillo.

Todas estas tareas serán tutorizadas. La/el estudiante discutirá sus resultados, explicaciones y conclusiones con el tutor, con el fin de que se familiarice con el método de trabajo típico de investigación.

## Bibliografía:

Se dan unas pocas referencias generales. En función del tema concreto de trabajo, el tutor proporcionará referencias más específicas. Además, si su trabajo es de naturaleza bibliográfica, el estudiante realizará por su cuenta una búsqueda más detallada.

- O. Bohigas, "Quantum chaos", Nuclear Physics A 751, 343 (2005).
- A. Relaño, "Caracterización del caos cuántico mediante series temporales", tesis doctoral, UCM (2004).
- D. Ullmo, "The Bohigas-Giannoni-Schmit conjecture", Scholarpedia 11(9):31721.
- M. Rigol, V. Dunjko, and M. Olshanii, "Thermalization and its mechanism for generic isolated quantum systems", Nature 452, 854 (2008); arXiv: 0708.1324.
- L. D'Alessio, Y. Kafri, A. Polkovnikov, and M. Rigol, "From quantum chaos and eigenstate thermalization to statistical mechanics and thermodynamics", Advances in Physics 65, 239 (2016); arXiv: 1509.06411.
- K. Hashimoto, K. Murata, and R. Yoshii, "Out-of-time-order correlators in quantum mechanics", Journal of High Energy Physics 10, 138 (2017); arXiv: 1703.09435.
- J. Gemmer, M. Michel, and G. Mahler, "Quantum thermodynamics, Emergence of thermodynamic behavior within composite quantum systems", Lect. Notes Phys. 657 (Springer, Berlin Heidelberg 2005).
- A. Polkovnikov, K. Sengupta, A. Silva, and M. Venalattore, "Colloquium: Nonequilibrium dynamics of closed interacting quantum systems", Review of Modern Physics 83, 863 (2011).
- M. Vojta, "Quantum phase transitions", Reports on Progress in Physics. 66, 2069 (2003); arXiv: cond-mat/0309604.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Motores térmicos de 2 estados
<b>Title:</b>	Two state thermal engines
<b>Tutor/es:</b>	Luis Ignacio Dinis Vizcaíno
<b>E-mail tutor/es:</b>	ldinis@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Un sistema de 2 estados o niveles de energía con pocas partículas en contacto con un baño térmico absorbe o cede energía al baño de forma estocástica.

Estos sistemas constituyen un modelo simple en el que estudiar la termodinámica estocástica. En este trabajo se proponen dos objetivos generales posibles que desarrollar.

Por un lado, es posible construir un motor de Carnot si se utilizan dos baños térmicos a distinta temperatura.

Como primer objetivo:

1. Analizaremos la operación del sistema en tiempo finito y su optimización en función de la potencia o la eficiencia a potencia máxima.

Por otro lado, la termodinámica nos muestra que es posible extraer energía de un solo baño térmico si se obtiene información del estado del sistema mediante una medida y se ejecuta una retroalimentación basada en la misma, al modo de un demonio de Maxwell. La termodinámica de la información nos permite tratar cuantitativamente este hecho y, por ejemplo, una adecuada generalización de la segunda ley permite acotar el trabajo extraído en base a la información mutua obtenida en la medida, al estilo de lo que ocurre en el motor de Szilard [1]. Para saturar la desigualdad, y maximizar la eficiencia de la conversión de información en trabajo, hay que hacer uso de los protocolos de retroalimentación reversibles [2].

En este trabajo, pretendemos abordar utilizando un motor de 2 estados los siguientes objetivos, referentes a termodinámica de la información:

2. Analizar como un tiempo de retardo entre medida y "feedback" afecta a la eficiencia.

3. Tratar de modificar el protocolo reversible para mitigar la pérdida de eficiencia, por ejemplo, a partir del conocimiento de la dinámica del sistema.

## Metodología:

Las metodologías utilizadas en el trabajo serán globalmente dos, utilizadas de forma complementaria, principalmente:

- Herramientas teóricas proporcionadas por la termodinámica estocástica, teoría de la información y de la probabilidad, para estudiar los intercambios energéticos entre el sistema y el baño térmico y el intercambio de información entre el sistema y el agente externo.
- Simulaciones por ordenador de sistemas y protocolos concretos. Es conveniente por tanto estar familiarizado con algún lenguaje de programación tipo python, Matlab o C, por ejemplo.

## Bibliografía:

Un artículo excelente sobre termodinámica de la información:

[1] Parrondo, J., Horowitz, J. & Sagawa, T. "Thermodynamics of information.", *Nature Phys* 11, 131–139 (2015). <https://doi.org/10.1038/nphys3230>

Una manera de utilizar un protocolo de feedback reversible para convertir de forma óptima información en trabajo se puede encontrar aquí:

[2] Dinis L, Parrondo JMR. "Extracting Work Optimally with Imprecise Measurements". *Entropy* 23(1):8. (2021). <https://doi.org/10.3390/e23010008>

Sobre la termodinámica estocástica de procesos de feedback con retraso:

[3] M. L. Rosinberg, T. Munakata, and G. Tarjus. "Stochastic thermodynamics of Langevin systems under time-delayed feedback control: Second-law-like inequalities", *Phys. Rev. E* 91, 042114 (2015)

[4] Sarah A. M. Loos, Sabine H. L. Klapp, "Heat flow due to time-delayed feedback", *Sci. Rep.* 9:2491(2019)

Un motor de dos estados, pero cuántico:

[5] Jianhui Wang, Jizhou He, and Xian He, "Performance analysis of a two-state quantum heat engine working with a single-mode radiation field in a cavity", *Phys. Rev. E* 84, 041127 (2011)



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Irreversibilidad en sistemas cuánticos
<b>Title:</b>	Irreversibility in quantum systems
<b>Tutor/es:</b>	Armando Relano Pérez, Juan Manuel Rodríguez Parrondo
<b>E-mail tutor/es:</b>	armando.relano@fis.ucm.es, parrondo@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

1. Estudiar la aparición de un comportamiento irreversible en un sistema cuántico de muchos grados de libertad que evoluciona de forma unitaria y reversible.
2. Caracterizar la irreversibilidad a través de la producción de entropía.
3. Estudiar la monotonía de la producción de entropía.

**Metodología:**

Los tres objetivos se estudiarán de forma analítica, utilizando los resultados de los artículos recomendados. Al mismo tiempo se realizarán simulaciones de sistemas en contacto con baños térmicos para comprobar la validez de los resultados teóricos.

**Bibliografía:**

Entropy production as correlation between system and reservoir

M Esposito, K Lindenberg, C Van den Broeck  
New Journal of Physics 12 (1), 013013 (2010)

Entropy production in open systems: The predominant role of intraenvironment correlations

K Ptaszyński, M Esposito  
Physical Review Letters 123 (20), 200603 (2019)

Thermodynamics of information

JMR Parrondo  
arXiv preprint arXiv:2306.12447



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Comportamiento colectivo de partículas activas en confinamiento
<b>Title:</b>	Collective behavior of active particles in confinement
<b>Tutor/es:</b>	Chantal Valeriani
<b>E-mail tutor/es:</b>	cvaleriani@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

La materia activa comprende sistemas fuera del equilibrio capaces de autopropulsarse mediante la conversión de energía por parte de las unidades que los componen. El comportamiento colectivo de una suspensión de partículas activas (1) ha sido un objeto de estudio en los últimos años. El presente trabajo tiene como objetivo comprender aspectos fundamentales del comportamiento colectivo de alguno de los sistemas activos más estudiados: el modelo de Vicsek (2) o el de ABP (3). Además, el trabajo se centrará en explicar la emergencia del comportamientos colectivo en sistemas activos en confinamiento (4).

Por otra parte, el trabajo pretende familiarizar al alumno con herramientas útiles en el estudio de estos sistemas: como la simulación, la programación y la teoría de los sistemas fuera del equilibrio.

**Metodología:**

Se realizará un estudio bibliográfico para familiarizarse con sistemas activos y las herramientas numéricas necesarias para estudiarlos. Se aplicarán estas herramientas a un sistema de partículas activas en confinamiento. Se profundizará en las simulaciones numéricas y el análisis de datos mediante la programación y escritura de códigos, que podrán ser proporcionados por los tutores o bien escritos por el propio alumno. Con tal de lograr estos objetivos, los tutores y el alumno se reunirán periódicamente para discutir resultados, resolver dudas o orientar dicho trabajo.

**Bibliografía:**

1. Vicsek, T., Zafeiris, A. (2012). Collective motion. *Physics reports*, 517, 71-140.
2. Vicsek, T., Czirók, A., Ben-Jacob, E., Cohen, I., & Shochet, O. (1995). Novel type of phase transition in a system of self-driven particles. *Physical review letters*, 75(6), 1226.
3. Romanczuk, P., Bär, M., Ebeling, W., Lindner, B., & Schimansky-Geier, L. (2012). Active Brownian particles: From individual to collective stochastic dynamics. *The European Physical Journal Special Topics*, 202, 1-162.
4. Fodor, É., & Marchetti, M. C. (2018). The statistical physics of active matter: From self-catalytic colloids to living cells. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 504, 106-120.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Cinética de la ligadura competitiva en biopolímeros.
<b>Title:</b>	Competitive Binding kinetics on biopolymers.
<b>Tutor/es:</b>	Francisco J. Cao García, Juan Pedro García Villaluenga
<b>E-mail tutor/es:</b>	franco@ucm.es, jpgarcia@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

- Implementar un modelo computacional de ligadura competitiva a polímeros que incluya los efectos de cooperatividad, transformación y difusión.
- Caracterizar los efectos cinéticos y de equilibrio de la cooperatividad entre ligandos, su transformación y su difusión sobre el biopolímero.

**Metodología:**

El estudiante comenzará con una revisión bibliográfica del tema.

Realizará a continuación la implementación numérica del problema y su caracterización.

Para este trabajo es recomendable contar con conocimientos de Python, y haber cursado Física Computacional.

**Bibliografía:**

Fundamental:

- R. Phillips, J. Kondev, J. Theriot, Physical Biology of the Cell, Garland Science, 2009. Capítulo 16.

Complementaria:

- K.A. Dill, S. Bromberg, Molecular Driving Forces, Garland Science, 2011.

- J. Howard, Mechanics of Motor Proteins and the Cytoskeleton, Sinauer, 2001.

- M.B. Jackson, Molecular and Cellular Biophysics, Cambridge University Press, 2006.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Cinética de la materia pasiva y activa en espacios confinados
<b>Title:</b>	Passive and active matter in confined spaces
<b>Tutor/es:</b>	Francisco J. Cao García
<b>E-mail tutor/es:</b>	franco@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

- Implementar un modelo computacional completo que simule el movimiento y las interacciones de partículas activas y pasivas.
- Caracterización de las implicaciones de las interacciones y de los efectos de borde. (Distribución de posiciones, correlaciones, tiempos de llegada)

**Metodología:**

El estudiante comenzará con una revisión bibliográfica del tema. Luego continuará con la implementación numérica y la caracterización del problema.

Para este trabajo es recomendable contar con conocimientos de Python, y haber cursado Física Computacional.

**Bibliografía:**

Fundamental:

- R. Phillips, J. Kondev, J. Theriot, Physical Biology of the Cell, Garland Science, 2009. Capítulo 16.

Complementaria:

- K.A. Dill, S. Bromberg, Molecular Driving Forces, Garland Science, 2011.

- J. Howard, Mechanics of Motor Proteins and the Cytoskeleton, Sinauer, 2001.

- M.B. Jackson, Molecular and Cellular Biophysics, Cambridge University Press, 2006.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Inteligencia artificial y metamateriales fluídicos
<b>Title:</b>	Artificial intelligence and fluidic metamaterials
<b>Tutor/es:</b>	Miguel Ruiz García
<b>E-mail tutor/es:</b>	miguel.ruiz.garcia@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Este trabajo se centra en el estudio y aplicación del aprendizaje automático a sistemas físicos, y en el desarrollo de nuevos sistemas microfluídicos (más información en <https://miguelruizgarcia.eu>).

El trabajo se adaptará a los intereses del estudiante. Se podrá centrar inicialmente en profundizar en el estudio de sistemas que combinan fluidos, válvulas blandas y elementos activos que generen corrientes. Y/o en profundizar en el estudio de sistemas de aprendizaje automático y tratarlos como sistemas físicos fuera del equilibrio. En particular el estudio se focalizará en las funciones de pérdida dinámicas y en el olvido catastrófico.

## **Metodología:**

Se iniciará con una revisión de la literatura existente para fundamentar teóricamente el proyecto y delimitar el campo de estudio. Seguidamente, se procederá al diseño de los experimentos numéricos, empleando diferentes paquetes de Python. Posteriormente, se realizará un análisis detallado de los resultados numéricos obtenidos, posiblemente comparándolos con resultados analíticos. Finalmente, se evaluarán los resultados obtenidos, contextualizándolos dentro del estado actual del arte, con el fin de destacar contribuciones significativas y posibles áreas para investigaciones futuras.

## **Bibliografía:**

- [1] Ruiz-García, M., Liu, A. J. and Katifori, E., Tuning and jamming reduced to their minima, *Phys. Rev. E* 100 , 052608 (2019)
- [2] Ruiz-García, M., Zhang, G., Schoenholz, S. S., and Liu, A. J., Tilting the playing field: Dynamical loss functions for machine learning, *International Conference on Machine Learning*, PMLR, 9157 (2021)
- [3] Ruiz-García, M., Model architecture can transform catastrophic forgetting into positive transfer, *Scientific Reports* 12, 10736 (2022)
- [4] Martínez-Calvo, A., Biviano, M. D., Christensen, A. H., Katifori, E., Jensen, K. H., & Ruiz-García, M. (2024 ). The fluidic memristor as a collective phenomenon in elasto-hydrodynamic networks. *Nature Communications*, 15(1), 3121.
- [5] Ruiz-García, M., & Katifori, E. (2021). Emergent dynamics in excitable flow systems. *Physical Review E*, 103(6), 062301.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica
<b>Título:</b>	Introducción a la física no lineal: caos en el péndulo forzado y amortiguado
<b>Title:</b>	Introduction to nonlinear physics: chaos in the forced and damped pendulum
<b>Tutor/es:</b>	Juan José Mazo Torres
<b>E-mail tutor/es:</b>	jmazo@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

El trabajo pretende introducir al alumno en el fenómeno del caos, uno de los paradigmas de la ciencia no lineal, a través del estudio teórico y computacional de la dinámica de un péndulo forzado y amortiguado. En particular se abordarán conceptos como el de punto fijo, ciclos límites, atractores extraños, bifurcaciones,... y la observación y cuantificación de la sensibilidad del sistema a las condiciones iniciales.

**Metodología:**

- \* Lectura y estudio de la bibliografía básica.
- \* Implementación de un programa de simulación numérica.
- \* Realización de las simulaciones y análisis de los resultados.
- \* Exposición escrita y oral del trabajo realizado.

**Bibliografía:**

- [1] Nonlinear dynamics and Chaos. S.H.S. Strogatz (3rd edition, CRC Press, 2024)
- [2] The pendulum. A case study in physics. G.L. Baker and J.A. Blackburn, Oxford University Press (2005)