Oferta de Trabajos Fin de Máster en Física Teórica

Curso 2026/27

Universidad Complutense de Madrid



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Teorías de campos cuánticos no conmutativos carrollianas
Supervisor/es:	Carmelo Pérez Martín
Departamento/afiliación:	Física Teórica
E-mail supervisor/es:	carmelop@fis.ucm.es

Breve Descripción:

Las teorías de campos carrollianas constituyen, actualmente, una area de intensa actividad investigadora. Dichas teorías se pueden obtener a partir de la teorías de campos relativistas usuales tomando, de modo adecuado, el límite en el que la velocidad de la luz se manda a cero. Este límite da lugar a teorías de campos ultralocales en el espacio ya que los conos de luz se cierran totalmente. Un aspecto importante de las teorías carrollianas es que presentan mezcla UV/IR, mezcla que es característica de las teorías cuánticas gravitatorias.
El gran interes que suscitan estas teorías se debe, por un lado, a que constituyen los principales candidatos a ser teorías duales, en el infinito nulo, a teorías cuánticas de la gravedad en espaciostiempo asintóticamente planos; y, por otro, a que estás teorías parecen ser relavantes en la descripción de los campos cuánticos en el horizonte de sucesos de los agujeros negros.
Las teorías de campos sobre el espaciotiempo no conmutativo canónico (o de Moyal) aparecen de modo natural en el límite de baja energía de ciertas teorías de cuerdas abiertas en presencia de D-branas. Estas teorías se conocen con el nombre de teorías no conmutativas de campos y se pueden entender como deformaciones, en el sentido de Kontsevich, de las teorías de campos relativistas usuales. Una característica principal de las teorías no conmutativas de campos es que presentan la llamada mezcla UV/IR.
El proposito de este trabajo fin de máster es construir teorías gauge no conmutativas carrollianas a partir de la teorías gauge no conmutativas usuales y estudiar algunas de sus propiedades.

Bibliografía:

-- R.J. Szabo, hep-th/0109162 [hep-th].
-- M. Islam, JHEP 05 (2023) 238.
-- A. Campoleoni and L. Mele, 2607.21124 [hep-th]

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Factorización TMD en medidas de thrust en DIS semi-inclusivo
Supervisor/es:	Ignazio Scimemi
Departamento/afiliación:	Departamento física teórica
E-mail supervisor/es:	ignazios@ucm.es

Breve Descripción:

La factorización de una sección eficaz es fundamental para la comprensión de las interacciones fuertes en los colisionadores de partículas. En particular en el caso de secciones eficaces dependientes de momento transverso se habla de factorización TMD (transverse momentum dependent). En este trabajo vamos a considerar el caso de la medida de thrust juntos con distribuciones TMD en procesos de "deep inelastic scattering" semi-inclusivo (SIDIS en inglés). La factorización del proceso ha sido tratada recientemente en arXiv:2607.02438 [hep-ph]. En el TFM se propone de hacer estimaciones fenomenológicas implementando la sección eficaz en el código Artemide desarrollado por nuestro grupo. El código está escrito en Fortran y con una interfaz en Python.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Factorización TMD con quarks pesados
Supervisor/es:	Ignazio Scimemi
Departamento/afiliación:	Departamento física teórica
E-mail supervisor/es:	ignazios@ucm.es

Breve Descripción:

La factorización de una sección eficaz es fundamental para la comprensión de las interacciones fuertes en los colisionadores de partículas. En particular en el caso de secciones eficaces dependientes de momento transverso se habla de factorización TMD (transverse momentum dependent). En este trabajo vamos a considerar el caso de los procesos con producción de quarks pesados y la consecuente dependencia de las distribuciones de TMD con la masa de los quarks pesados (JHEP 09 (2023) 205, arXiv: 2305.15461). Se propone utilizar el método de campo de fondo para establecer este teorema de factorización incluyendo efectos de espin y expandiendo la sección eficaz en potencias de momentos transversos pequeños. El método básico se encuentra en JHEP 11 (2025) 014, arXiv: 2507.03072 [hep-ph].

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Métodos dispersivos en física hadrónica
Supervisor/es:	Jacobo Ruiz de Elvira Carrascal
Departamento/afiliación:	Física Teórica
E-mail supervisor/es:	jacobore@ucm.es

Breve Descripción:

Aunque la Cromodinámica Cuántica está firmemente establecida como la teoría fundamental de las interacciones fuertes, su carácter no perturbativo a escalas de energía hadrónica dificulta la realización de cálculos precisos mediante las técnicas estándar de teoría cuántica de campos. Por ello, el estudio de la estructura y el espectro de los hadrones requiere el desarrollo de herramientas teóricas complementarias. Entre ellas, los métodos dispersivos desempeñan un papel fundamental, ya que, al imponer principios generales como causalidad, unitariedad y simetría de cruce, permiten obtener descripciones precisas e independientes del modelo de numerosos procesos hadrónicos.

La dispersión de piones constituye uno de los procesos más relevantes de la física hadrónica; al ser los hadrones más ligeros del espectro, los piones aparecen con frecuencia en el estado final de las reacciones gobernadas por la interacción fuerte, por lo que una descripción precisa de sus interacciones resulta esencial para comprender una amplia variedad de procesos hadrónicos.

Este trabajo partirá de resultados previos obtenidos por nuestro grupo de investigación mediante ecuaciones de Roy y relaciones de dispersión hacia adelante, válidos a bajas energías y para las ondas parciales más bajas, con el objetivo de extender este análisis a energías superiores y a ondas parciales de mayor momento angular. El propósito será desarrollar una descripción de la dispersión pion-pión que mantenga el mismo nivel de precisión y rigor teórico en un dominio energético más amplio.

Para ello, el estudiante profundizará en aspectos fundamentales de la teoría de la dispersión, como las propiedades de analiticidad de las amplitudes de dispersión en teoría cuántica de campos, la derivación de relaciones de dispersión aplicables a la dispersión pion-pión por encima de 1 GeV y el análisis de su cumplimiento por las ondas parciales de mayor momento angular.

BIBLIOGRAFÍA:

- A. D. Martin, T. D. Spearman, "Elementary Particle Theory", North-Holland PC, 1970.

- H. M. Nussenzveig, "Causality and dispersion relations", Academic Press, 1972.

- R. García-Martin, R. Kaminski, J. R. Peláez, J. Ruiz de Elvira, F. Yndurain, Phys. Rev. D 83 (2011) 074004.

- J. R. Peláez, P. Raban, J. Ruiz de Elvira, Phys. Rev. D 111 (2025) 7, 074003.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Restauración de Simetrías en Cromodinámica Cuántica
Supervisor/es:	Jacobo Ruiz de Elvira Carrascal y Andrea Vioque Rodríguez
Departamento/afiliación:	Física Teórica, UCM y URJC
E-mail supervisor/es:	jacobore@ucm.es y andrea.vioque@urjc.es

Breve Descripción:

En Cromodinámica Cuántica (QCD), las propiedades de la materia cambian de forma drástica cuando se alcanzan temperaturas y densidades extremas, dando lugar a transiciones de fase que tienen consecuencias fundamentales para la descripción de experimentos de colisiones de iones pesados y la comprensión del universo primitivo. Estas transiciones están estrechamente ligadas a la restauración de simetrías fundamentales de la teoría, como la simetría quiral y, posiblemente, la simetría axial UA(1), cuyo papel en el diagrama de fases de QCD constituye uno de los problemas abiertos más relevantes de la física hadrónica.

En este Trabajo Fin de Máster se estudiará el papel de las Identidades de Ward como herramienta para investigar la restauración de dichas simetrías. Partiendo de resultados desarrollados recientemente por nuestro grupo de investigación, el objetivo será extender las relaciones existentes entre correladores hadrónicos a operadores vectoriales y axiales y analizar su conexión con procesos de dispersión de mesones.

El trabajo profundizará en aspectos como la derivación de nuevas Identidades de Ward, su comprobación mediante Teoría de Perturbaciones Quiral, el estudio de amplitudes de dispersión sensibles a la restauración de la simetría UA(1) y la comparación con resultados obtenidos mediante simulaciones de QCD en el retículo y otros enfoques teóricos.

BIBLIOGRAFÍA:

- A. Gómez Nicola, Symmetry 12 (2020) no.6, 945.

- J. I. Kapusta, C.Gale, "Finite temperature field theory: principles and applications", Cambridge Monographs on Mathematical Physics 2006.

- S. Scherer, "Introduction to Chiral Perturbation Theory", Adv. Nucl. Phys. 27 (2003), 277.

- A. Gómez Nicola, J. Ruiz de Elvira, Phys. Rev. D 98 (2018) 1, 014020; JHEP 03 (2016) 186.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Estudio fenomenológico de la producción de tres Higgses / Phenomenological study of three Higgs production
Supervisor/es:	Álvaro López Solís; Juan José Sanz Cillero
Departamento/afiliación:	CIEMAT; Dept. Física Teórica UCM
E-mail supervisor/es:	alvaro.lopez.solis@cern.ch; jjsanzcillero@ucm.es

Breve Descripción:

En este Trabajo de Fin de Máster se plantea el estudio de la producción de tres Higgses en aceleradores presentes y futuros para la determinación de acoplamientos anómalos más allá del Modelo Estándar de partículas (SM).

Se buscarán posibles variables cinemáticas que sean especialmente sensibles a nueva física, y en particular al acoplamiento cuártico del potencial o de tres Higgses con otras partículas de SM (e.g., bosones gauge electrodébiles). Estos estudios considerarán no sólo modificaciones a los acoplamientos ya existentes en el SM sino la posible aparición de nuevas interacciones.

Estudiaremos la sensibilidad en LHC y futuros experimentos a estas posibles desviaciones.
Se harán simulaciones con software especializado como, por ejemplo, MadGraph5_aMC, y análisis con Root y Python. Como herramienta teórica, se enfocará el problema desde el punto de vista de las teorías efectivas de campos.

Bibliografía:

[1] Abouabid, H., Arhrib, A., Arnold, H. et al., "HHH whitepaper", Eur. Phys. J. C 84, 1183 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13376-3

[2] De Florian.D. et al. [LHC Higgs Cross Section Working Group], "Handbook of LHC Higgs Cross Sections: 4. Deciphering the Nature of the Higgs Sector", CERN Yellow Rep. Monogr. 2 (2017) [arXiv:1610.07922 [hep-ph]] - https://doi.org/10.23731/CYRM-2017-002

[3] C. Englert et al. Harnessing Higgs boson kinematics for HEFT constraints, Phys. Rev. D 112, 035039– Published 28 August, 2025 Vol. 112, Iss. 3 — 1 August 2025, DOI: https://doi.org/10.1103/5s8n-6w8s

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	The fine splitting in heavy quarkonium to N4LO
Supervisor/es:	Clara Peset
Departamento/afiliación:	Física teórica
E-mail supervisor/es:	cpeset@ucm.es

Breve Descripción:

Bound states of a heavy quark and antiquark, collectively known as heavy quarkonium, provide a particularly interesting system in which to study the properties of Quantum Chromodynamics. The large mass of the heavy quarks, well above the characteristic confinement scale of QCD, gives rise to a hierarchy of dynamical scales that makes these systems perfect for an effective field theory description, which allows us to go beyond a naive perturbative treatment and to systematically organize the different contributions to quarkonium observables.

Effective field theories are a powerful tool for describing systems characterized by well-separated energy scales and provide a systematic framework for improving the precision of theoretical predictions. In the case of heavy quarkonium, recent theoretical developments and partial computations have made available many of the ingredients required to determine the spin-dependent spectrum at unprecedented perturbative accuracy. In particular, completing the calculation of the relevant corrections arising from quantum-mechanical perturbation theory would allow the fine splitting to be determined at next-to-next-to-next-to-next-to-leading order (N4LO).

The goal of this project is to study and understand the theoretical framework underlying the description of the heavy-quarkonium spectrum, with particular emphasis on its spin-dependent structure, and to provide the missing contributions required for the computation of the P-wave fine splitting at N4LO. The project will involve the study of the relevant heavy-quark potentials and their contribution to the spectrum, as well as the calculation of higher-order corrections within quantum-mechanical perturbation theory.

The resulting theoretical predictions will be used to investigate the phenomenology of the fine splitting in both bottomonium and charmonium. In particular, the N4LO results will be compared with the most precise available experimental determinations, providing an opportunity to assess the convergence of the perturbative expansion and the precision with which the effective field theory framework can describe the spin-dependent heavy-quarkonium spectrum.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Resummation effects in hreavy quarkonium at N4LL
Supervisor/es:	Clara Peset, Antonio Pineda
Departamento/afiliación:	Departamento Física teórica (UCM), Departament de Física (UAB)
E-mail supervisor/es:	cpeset@ucm.es, pineda@ifae.es

Breve Descripción:

Heavy quarkonium systems provide a particularly rich testing ground for Quantum Chromodynamics, as they combine genuinely non-relativistic bound-state dynamics with the perturbative structure of the underlying gauge theory. For sufficiently heavy quarks, the hierarchy between the heavy-quark mass (m), the typical relative momentum (mv), and the binding-energy scale (mv^2), with v<<1 the relative velocity of the heavy quarks, allows the dynamics to be systematically organized within effective field theories.

Potential Non-Relativistic QCD (pNRQCD) exploits this hierarchy. This framework provides a systematic description of the quarkonium spectrum and other observables in terms of an expansion in both the strong coupling and the heavy-quark velocity.

The presence of several well-separated dynamical scales, however, also introduces potentially large logarithms of their ratios into perturbative calculations. At sufficiently high orders, terms involving powers of log(alpha), or equivalently logarithms of ratios between the hard, soft and ultrasoft scales, can spoil the convergence of a fixed-order expansion. Renormalization-group techniques within pNRQCD make it possible to resum these logarithmically enhanced contributions to all orders in perturbation theory. This improvement is essential in precision calculations of heavy-quarkonium observables, reducing their sensitivity to the renormalization scale and providing a better-controlled perturbative expansion.

Among the observables sensitive to these higher-order effects, the hyperfine splitting of P-wave heavy quarkonium provides a particularly interesting probe of the spin-dependent sector of pNRQCD. The P-wave hyperfine splitting is suppressed and particularly sensitive to higher-order contributions, making the control of logarithmically enhanced corrections especially relevant for precision predictions.

Previously this year, the N4LO computation was published. We aim to improve on that prediciton. The goal of this thesis is to study the resummation effects entering the P-wave heavy-quarkonium hyperfine splitting at next-to-next-to-next-to-next-to-leading logarithmic (N4LL) order within pNRQCD. In particular, the analysis focuses on identifying the contributions required at this logarithmic accuracy and on determining how the renormalization-group evolution of the relevant spin-dependent potentials and matching coefficients modifies the fixed-order prediction. The resulting N4LL resummation can then be used to assess the numerical importance of higher-order logarithms and the perturbative stability of the hyperfine splitting. This calculation contributes to extending the precision frontier of the spin-dependent heavy-quarkonium spectrum and provides a non-trivial test of the renormalization-group structure of pNRQCD at high orders.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Corrections to Toponium Bound States in pNRQCD beyond the static limit
Supervisor/es:	Clara Peset y Jorge Segovia
Departamento/afiliación:	Física teórica (UCM) / U. Pablo de Olavide
E-mail supervisor/es:	cpeset@ucm.es / jsegovia@upo.es

Breve Descripción:

Recent analyses at the Large Hadron Collider, led by the CMS collaboration, have provided evidence for an excess in top-antitop pair production near the threshold, consistent with the formation of a pseudoscalar 1S quasi-bound state known as toponium, calling for an immediate necessity for a rigorous, high-precision theoretical prediction of the bound state mass.

Because heavy-quark pair production near threshold occurs at low relative velocities (v << 1$), these dynamics are described using Effective Field Theories, specifically potential Non-Relativistic QCD (pNRQCD). The primary theoretical objective of this work is to extend the current static Hamiltonian by incorporating relativistic and spin-dependent corrections up to next-to-next-to-next-to-leading order (N3LO). Specifically, this involves implementing O(1/m) and O(1/m^2) potential terms into the radial Schrödinger differential equation. Furthermore, given the large energy scale associated with the top quark mass (m_t~163.6 GeV), electroweak radiative corrections become non-negligible. The updated code will incorporate electroweak matching coefficients and Higgs-boson exchange contributions, which induce a Yukawa-like attraction at short distances, thereby refining the short-range behavior of the top-antitop interaction potential.

A critical physical feature unique to the top quark is its rapid decay via t -> b W, leading to a large decay width (Gamma_t~1.4 GeV) that is comparable to or larger than the binding energy. To accurately model this unstable bound system, the numerical program will be modified to accommodate a complex-valued potential V(r) -> V(r) - i Gamma_t. The matching procedure for finding eigenvalues will be extended into the complex plane to extract the complex energy poles E = E_0 - i Gamma_t/2. This complex-energy Green's function formulation will allow us to simulate the continuous top-antitop threshold cross section rather than treating toponium as a purely stable state.

From a computational point of view, the existing Python-based C/C++ numerical framework will undergo systematic optimization and benchmarking. The code will be equipped to perform automated scale-variation analysis to rigorously quantify theoretical uncertainties stemming from uncalculated higher-order perturbative terms. Finally, the optimized code will be matched directly against the latest high-luminosity LHC datasets from CMS and ATLAS. Throguh this

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Estudio de problemas de optimización NP completos con métodos de física estadística
Supervisor/es:	Víctor Martín Mayor, David Yllanes Mosquera
Departamento/afiliación:	Física Teórica (U. C. M.) ; U. de Zaragoza (Dep. Fís. Teórica)
E-mail supervisor/es:	vicmarti@ucm.es david.yllanes@bifi.es

Breve Descripción:

Existe una conexión profunda entre la física estadística y los problemas de optimización. En efecto, el problema principal en la optimización combinatoria —minimizar una función de coste que depende de muchos parámetros— puede formularse físicamente simplemente con considerar esta función de coste como una energía. Hecho esto, se puede definir una probabilidad de Boltzmann para cada configuración C del sistema introduciendo una temperatura abstracta: $p \sim \exp[-E(C)/kT]$. Si el sistema se mantiene en equilibrio a medida que esta temperatura se acerca a cero, se alcanzará una configuración que minimiza la función de coste.

Dentro de este marco, un importante sistema físico desempeña un papel central se trata de los vidrios de espín, materiales magnéticos desordenados que han sido considerados durante décadas uno de los sistemas complejos paradigmáticos. Además de sus singulares propiedades físicas —que incluyen fenómenos como el rejuvenecimiento y la memoria— esta centralidad se basa en una importante característica: encontrar el estado fundamental de un vidrio de espín es un problema NP completo. Esto significa que cualquier problema de una enorme familia de complejidad computacional —la clase NP— puede formularse como un vidrio de espín. En términos prácticos, un método que resulte eficiente para trabajar con vidrios de espín probablemente también funcionará para problemas muy diferentes de optimización combinatoria.

En este trabajo se plantea aprovechar esta idea para aplicar métodos de Monte Carlo desarrollados para la simulación de vidrios de espín —como el parallel tempering, el simulated annealing o nuevos algoritmos basados en aprendizaje automático— para estudiar el problema de optimización asociado al vidrio de espín. Los dos directores tienen décadas de experiencia en el estudio computacional de los vidrios de espín [véase, por ejemplo, Rev. Mod. Phys. **97,** 045005 (2025)] y estudian activamente las excitaciones de baja energía en estos sistemas [por ejemplo PNAS **116,** 15350 (2019) y arXiv:2606.07197].

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Geometría de los sistemas integrables y álgebras de tensores
Supervisor/es:	Piergiulio Tempesta (UCM) y Daniel Reyes Nozaleda (UPM)
Departamento/afiliación:	Física Teórica, UCM, y Matemática Aplicada a las TIC, UPM
E-mail supervisor/es:	p.tempesta@fis.ucm.es, daniel.reyes@upm.es

Breve Descripción:

Los sistemas integrables desempeñan un papel fundamental en distintas ramas de la física teórica y de las matemáticas modernas. Debido a su relevancia, en las últimas décadas se ha perseguido activamente la búsqueda de estructuras matemáticas intrínsecas subyacentes al concepto de integrabilidad. En particular, la geometría de los tensores de Nijenhuis y de Haantjes es crucial en este contexto.
El objetivo del Trabajo de Fin de Máster es profundizar en una nueva formulación de la integrabilidad clásica basada en los operadores de Haantjes, a saber, campos de operadores con torsión de Haantjes nula. Este último concepto fue introducido en 1955 por J. Haantjes [1] como una generalización natural de la torsión de Nijenhuis [2]. Una generalización de estos tensores, que preserva la integrabilidad, se ha propuesto en [3,4].

Recientemente, en [5] se definió una nueva familia de variedades, denominadas variedades simplécticas de Haantjes (u ωH). Se trata de variedades simplécticas dotadas de un álgebra de Haantjes [6] de operadores compatibles con la estructura simpléctica. La integrabilidad de un sistema hamiltoniano de dimensión finita puede caracterizarse en términos de un álgebra abeliana de operadores de Haantjes, cuyas propiedades espectrales y geométricas son particularmente ricas. Más concretamente, la existencia de una variedad ωH en 2n dimensiones es una condición necesaria y suficiente para que un sistema hamiltoniano no degenerado sea integrable en el sentido de Liouville-Arnold. Al mismo tiempo, existe una conexión sorprendente entre la teoría de las variedades ωH y la existencia de variables de separación para la ecuación de Hamilton-Jacobi (HJ) asociada a un sistema integrable. En efecto, cada sistema de coordenadas que nos permite diagonalizar simultáneamente el álgebra de Haantjes de los operadores admitidos por un sistema integrable dado representa un conjunto de coordenadas de separación para la correspondiente ecuación HJ.

Por tanto, un objetivo propuesto es extender la teoría anterior al caso de sistemas integrables y superintegrables definidos en backgrounds no euclídeos o sistemas forzados por un campo magnético externo. En ambos casos, la clase de sistemas superintegrables parece ser particularmente interesante. Otro objetivo es extender la teoría al caso de sistemas de tipo hidrodinámico, que representan una clase fundamental de sistemas integrables de dimensión infinita.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Cadenas de espines inhomógeneas y sistemas de fermiones libres
Supervisor/es:	Federico Finkel Morgenstern y Artemio González López
Departamento/afiliación:	Física Teórica
E-mail supervisor/es:	ffinkel@ucm.es, artemio@ucm.es

Breve Descripción:

En este trabajo se estudian algunas propiedades fundamentales de cadenas de espines inhomogénas y sistemas de fermiones libres en el límite termodinámico. Entre los problemas que se pretenden abordar, en función del interés del estudiante, cabría mencionar los siguientes:

1) Análisis del comportamiento asintótico de la entropía de entrelazamiento de este tipo de modelos y discusión de su relación con el comportamiento crítico del sistema, las transiciones de fase cuánticas y las teorías de campos conformes en 1+1 dimensiones.

2) Aplicación de una versión discreta del método WKB para hallar aproximaciones de las funciones de onda y estudiar el comportamiento de la densidad fermiónica y el fenómeno de depleción/saturación.

Bibliografía

F. Finkel y A. González López, Entanglement entropy of inhomogeneous XX spin chains with algebraic interactions, JHEP (2021) 184.
F. Finkel y A. González López, Inhomogeneous XX spin chains and quasi-exactly solvable models, JSTAT (2020) 093105.
I. Latorre y A. Riera, A short review on entanglement in quantum spin systems, J. Phys. A 42 (2009) 504002.
S. Sachdev y B. Keimer, Quantum criticality, Physics Today 64 (2011) 29.
E. Tonni, J. Rodríguez-Laguna y G. Sierra, Entanglement Hamiltonian and entanglement contour in inhomogeneous 1D critical systems, JSTAT (2018) 043105.
M. Zapata, F. Finkel y A. González López, Local fermion density in inhomogeneous free-fermion chains: a discrete WKB approach, SciPost Phys. 20 (2026) 078.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Simulaciones Cuánticas en el IBM Quantum Experience
Supervisor/es:	Miguel A. Martin-Delgado
Departamento/afiliación:	Física Teórica
E-mail supervisor/es:	mardel@ucm.es

Breve Descripción:

El rápido avance de las tecnologías cuánticas ha abierto nuevas oportunidades para la investigación y el desarrollo de aplicaciones en diversas áreas de la ciencia y la ingeniería. Este Trabajo Fin de Máster se centra en la utilización de la plataforma IBM Quantum Experience para llevar a cabo simulaciones cuánticas y explorar sus potencialidades en el ámbito de la computación cuántica.

El IBM Quantum Experience ofrece acceso a computadoras cuánticas reales y simuladores cuánticos, proporcionando un entorno único para el diseño, ejecución y análisis de algoritmos cuánticos. En este trabajo, se abordarán algunas de las siguientes áreas clave:

1.Introducción a la Computación Cuántica.
2.Plataforma IBM Quantum Experience: Se describirá la arquitectura y funcionamiento de la plataforma, detallando su interfaz de usuario, herramientas de programación (Qiskit) y los dispositivos cuánticos disponibles.
3.Desarrollo de Algoritmos Cuánticos: Se desarrollarán y ejecutarán una serie de algoritmos cuánticos en la plataforma IBM Quantum Experience, tales como el algoritmo cuántico de Metropolis-Hastings para el muestreo y optimización de problemas en física.
4.Simulaciones y Resultados: Se presentarán los resultados de las simulaciones cuánticas realizadas en la plataforma, comparando el rendimiento de los simuladores cuánticos con los dispositivos cuánticos reales. Se analizarán aspectos como la fidelidad de los resultados y la influencia del ruido y la decoherencia en las simulaciones.
5.Aplicaciones Prácticas: Se explorarán aplicaciones prácticas de las simulaciones cuánticas en áreas como la optimización de problemas complejos. Por ejemplo, la estimación de parámetros de agujeros negros a partir de ondas gravitacionales del detector LIGO-VIRGO-KAGRA.
6.Desafíos y Futuro de la Computación Cuántica: Se discutirán los principales desafíos que enfrenta la computación cuántica hoy en día, como la corrección de errores cuánticos y la escalabilidad de los sistemas cuánticos. También se esbozarán posibles desarrollos futuros y sus implicaciones para la ciencia y la tecnología.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Quantum Machine Learning and Artificial Intelligence
Supervisor/es:	Miguel A. Martin-Delgado
Departamento/afiliación:	Física Teórica
E-mail supervisor/es:	mardel@ucm.es

Breve Descripción:

En la intersección de la computación cuántica y el aprendizaje automático surge el campo emergente del Quantum Machine Learning (QML), que promete revolucionar la inteligencia artificial mediante la utilización de las propiedades únicas de los sistemas cuánticos. Este Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo explorar el potencial del aprendizaje automático cuántico y su impacto en la inteligencia artificial.

Este trabajo se centrará en varios aspectos fundamentales:

1.Conceptos Básicos de Computación Cuántica.
2.Fundamentos de Aprendizaje Automático: Una visión general de los métodos de aprendizaje automático clásicos, incluyendo aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo, y cómo estos métodos pueden beneficiarse de la computación cuántica.
3.Modelos y Algoritmos de QML: Se detallarán los modelos y algoritmos más relevantes en el campo del QML, tales como las Redes Neuronales Cuánticas Variacionales (VQNN), los Algoritmos de Apoyo Vectorial Cuántico (QSVM), y los Bosques Aleatorios Cuánticos.
4.Simulaciones y Pruebas: Utilizando plataformas de computación cuántica disponibles, como IBM Quantum Experience y Google Quantum AI, se implementarán y probarán diversos algoritmos de QML. Se realizarán experimentos comparativos entre modelos clásicos y cuánticos para evaluar su rendimiento y eficiencia.
5.Aplicaciones de QML: Exploración de aplicaciones prácticas del QML en diferentes dominios, como la inferencia bayesiana cuántica, el análisis de grandes volúmenes de datos y la mejora de procesos de toma de decisiones.
6.Desafíos y Perspectivas Futuras: Una discusión sobre los desafíos actuales en la implementación y escalabilidad del QML, incluyendo cuestiones relacionadas con la corrección de errores cuánticos, la decoherencia y la limitación de recursos en las computadoras cuánticas actuales. Se ofrecerán perspectivas sobre futuros desarrollos y las implicaciones a largo plazo del QML en la inteligencia artificial y otras áreas afines.

Con carácter general, el alumno podrá aportar sus iniciativas propias dentro del marco de la temática de este TFM.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Computación Cuántica Topológica
Supervisor/es:	Miguel A. Martin-Delgado
Departamento/afiliación:	Física Teórica
E-mail supervisor/es:	mardel@ucm.es

Breve Descripción:

La Computación Cuántica Topológica es una prometedora área de investigación que explora el uso de propiedades topológicas de cuasipartículas para crear sistemas cuánticos más robustos y que potencialmente podrían permitir el desarrollo de computadoras cuánticas altamente precisas y resistentes a errores.

Este enfoque tiene el potencial de superar algunas de las limitaciones más importantes de las tecnologías cuánticas convencionales, tales como la decoherencia y los errores inducidos por el ruido ambiental, proporcionando así una plataforma más estable y escalable para la computación cuántica.

Se plantea el estudio de los códigos topológicos como el Código de Kitaev y los Color Codes que son esenciales en la búsqueda de computadoras cuánticas topológicas funcionales. Se estudiarán propiedades tales como:

1. Protección contra Errores Locales: Los estados cuánticos en un código topológico no se ven significativamente afectados por errores locales debido a su estructura topológica. Esto significa que los errores locales en los cúbits no cambian el estado cuántico global almacenado de manera manifiesta.

2. Operaciones de Puertas Lógicas: Estas manipulaciones son topológicamente protegidas, lo que significa que son inherentemente resistentes a ciertos tipos de errores.

3. Detección y Corrección de Errores: Los errores se detectan a través de mediciones de paridad en la red de cúbits, lo cual indica la presencia de 'defectos' o 'violaciones' en la red. Estos defectos pueden ser movidos y aniquilados en un proceso que devuelve el sistema a su estado original.

Estos códigos topológicos representan además nuevas fases cuánticos de la materia más allá del estándar de ruptura espontánea de la simetría en la teoría de Landau-Ginzburg que se aplica desde materia condensada hasta partículas elementales.

Con carácter general, el alumno podrá aportar sus iniciativas propias dentro del marco de la temática de este TFM.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Termodinámica Cuántica
Supervisor/es:	Ángel Rivas Vargas
Departamento/afiliación:	Departamento de Física Teórica
E-mail supervisor/es:	anrivas@ucm.es

Breve Descripción:

La teoría termodinámica forma un pilar fundamental para entender gran cantidad de fenómenos físicos; desde las máquinas de vapor a los ecos del Big-Bang. A diferencia de otras disciplinas, la termodinámica no se desarrolló con el fin de proporcionar una descripción fundamental del universo; más bien, se centra en cómo pueden emplearse los recursos físicos. Sin embargo, o quizá también debido a esto, la fe en la validez de sus principios es abrumadora. En palabras de Eddington, “if your theory is found to be against the second law of thermodynamics I can give you no hope; there is nothing for it but to collapse in deepest humiliation.”

Con todo, la aplicabilidad de las relaciones termodinámicas clásicas a escala microscópica no es clara, y constituye el emergente campo de la "termodinámica cuántica". Esta disciplina pretende nada menos que clarificar si la termodinámica es un fenómeno clásico, emergente, o si puede inferirse de principios cuánticos. Dada la estrecha relación entre termodinámica e información, el auge de las ciencias cuánticas de la información proporciona una perspectiva práctica a la termodinámica cuántica, ofreciendo un marco experimental para testar su potencial utilidad a la hora de describir procesos físicos microscópicos.

En el presente trabajo se quiere profundizar en la descripción termodinámica de los sistemas cuánticos. Estudiando si pueden aplicarse leyes similares a las que se cumplen en termodinámica clásica, o si se requieren modificaciones para describir los posibles efectos debidos a la presencia de coherencia y/o entrelazamiento.

Referencias:

1. R. Kosloff, "Quantum Thermodynamics: A Dynamical Viewpoint", Entropy 15, 2100 (2013).
2. P. Strasberg, "Quantum Stochastic Thermodynamics" (OUP, Oxford, 2022).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Teorías de Recursos en Información Cuántica y Física Fundamental
Supervisor/es:	Ángel Rivas Vargas
Departamento/afiliación:	Departamento de Física Teórica
E-mail supervisor/es:	anrivas@ucm.es

Breve Descripción:

La teorías cuánticas de recursos ("quantum resource theories") constituyen un marco teórico, axiomático, muy general, que permite caracterizar y cuantificar casi cualquier propiedad física. Inicialmente desarrolladas para describir el entrelazamiento, han sido aplicadas a propiedades tales como: la coherencia cuántica, la superposición, la "no-clasicidad", la asimetría, el orden (en sentido termodinámico), la no-localidad de Bell, la contextualidad, la incompatibilidad de observables, la no-Gaussianidad de estados, etc.

En el presente trabajo se pretende desarrollar una teoría de recursos para analizar alguna propiedad de relevancia en física cuántica, óptica cuántica, o información cuántica, que todavía no haya sido descrita en estos términos. Para ello, el/la estudiante tendrá que familiarizarse con el marco general de las teorías de recursos, para luego centrarse en cómo particularizar a una situación específica. Finalmente, se estudiarán qué ventajas presenta la cuantificación que ofrece este esquema con respecto a otros más sencillas, así como su relevancia e interpretación física.

Bibliografía:

1. E. Chitambar and G. Gour, "Quantum resource theories", Rev. Mod. Phys. 91, 025001 (2019).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Sistemas cuánticos abiertos y decoherencia: interacciones de neutrinos usando luz de centelleo en el experimento SBND
Supervisor/es:	Ángel Rivas Vargas, Anadón
Departamento/afiliación:	Departamento de Física Teórica
E-mail supervisor/es:	arivas@ucm.es

Breve Descripción:

El experimento SBND es un detector de neutrinos de argón líquido (LArTPC) situado a 110 m de profundidad en el laboratorio FNAL en Estados Unidos y que comenzará a tomar datos en 2024. Su objetivo principal es la búsqueda de neutrinos estériles y la física más allá del Modelo Estándar, mediante precisas reconstrucciones en 3D de las interacciones de neutrinos en el detector. Como sistema cuántico de gran tamaño, la tecnología LArTPC es sensible a efectos de decoherencia, que podrían limitar la resolución espacial de la reconstrucción. En este trabajo se explorará la posibilidad de usar la luz de centelleo, un elemento poco explotado hasta ahora, para mejorar la sensibilidad del experimento a nueva física.

Bibliografía

Bibliografía de este trabajo es ahondar en el problema de la decoherencia cuántica estudiando para el caso concreto del detector SBND. Se utilizarán técnicas de sistemas cuánticos abiertos, y en particular el enfoque de ecuaciones maestras de Lindblad [1,2]. El objetivo es caracterizar la dinámica del sistema cuántico en presencia de decoherencia y disipación. Estudiará cómo de rápido decae la coherencia bajo distintas situaciones en sistemas de qubits y/u otros de especial interés.

Referencias

1. A. Rivas y S.F. Huelga, "Open Quantum Systems. An Introduction" (Springer, Heidelberg, 2012)

2. H.-P. Breuer y F. Petruccione, "The theory of Open Quantum Systems" (OUP, New York, 2002).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Oscilaciones de estrellas de neutrones en Relatividad General y teorías alternativas y detección con el experimento SBND
Supervisor/es:	José Manuel González Romero
Departamento/afiliación:	Departamento de Física Teórica
E-mail supervisor/es:	jgromero@ucm.es

Breve Descripción:

El experimento SBND es uno de los tres detectores de neutrinos del programa de neutrinos del Fermilab (Estados Unidos). Un haz de neutrinos de muones (producido en el acelerador de partículas del Fermilab) viaja 110 metros bajo tierra hasta llegar a los tres detectores, situados a diferentes distancias del punto de producción del haz. Este haz de neutrinos atraviesa primero el detector más cercano (SBND), después el detector intermedio (ICARUS) y, finalmente, el detector más lejano (DUNE). Gracias a esta configuración, los tres detectores registran neutrinos procedentes del mismo haz, lo que permite estudiar cómo cambian las propiedades de los neutrinos a medida que se propagan.

SBND es un detector de argón líquido con tecnología LArTPC (Liquid Argon Time Projection Chamber), capaz de reconstruir interacciones con gran precisión espacial y temporal. Su objetivo principal es estudiar las interacciones de neutrinos de alta energía, caracterizar el haz de neutrinos y reducir las incertidumbres sistemáticas que limitan la sensibilidad de los experimentos de oscilación de neutrinos. Gracias a su proximidad a la fuente de neutrinos, SBND registra un gran número de interacciones, lo que lo convierte en una herramienta clave para mejorar los modelos de interacción neutrino-núcleo y para preparar el análisis de los datos de los detectores más lejanos.

Dentro de SBND, la luz de centelleo producida por las partículas cargadas que atraviesan el argón líquido es detectada por un sistema de fotodetectores formado por 120 módulos ópticos. Estos fotodetectores permiten medir el momento y el instante en el que ocurre una interacción, información esencial para reconstruir correctamente la energía de los neutrinos y para distinguir señal de fondo. Un reto importante es la identificación de fotones procedentes de desexcitaciones nucleares, que aparecen como señales retardadas y pueden confundirse con la luz de centelleo prompta asociada a la interacción del neutrino.

Para abordar este problema, se desarrollan algoritmos basados en redes neuronales convolucionales (CNN), capaces de aprovechar la información espacial y temporal de los datos. Estas redes se entrenan con simulaciones Monte Carlo y se aplican a datos reales tomados desde 2024. Su rendimiento se evalúa mediante métricas como la eficiencia, la pureza y la resolución en la energía reconstruida, comparando los resultados con los obtenidos mediante métodos tradicionales.

El objetivo de este trabajo es explorar el uso de redes neuronales convolucionales para mejorar la reconstrucción de la luz de centelleo en SBND. Se estudiará cómo varían las prestaciones del algoritmo en función de la energía de los neutrinos y se analizará su capacidad para identificar señales retardadas. Los resultados obtenidos servirán para evaluar el potencial de esta técnica en futuras versiones del análisis de datos de SBND y, de forma más general, en experimentos de neutrinos de próxima generación.

Bibliografía:

SBND Collaboration. Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Modelos TGFT para la gravedad cuántica: geometría cuántica y su dinámica fundamental
Supervisor/es:	Daniele Oriti
Departamento/afiliación:	Fisica Teorica
E-mail supervisor/es:	doriti@ucm.es

Breve Descripción:

Los modelos TGFT proporcionan una dinámica cuántica candidata para los bloques de construcción microscópicos discretos del espacio y el tiempo. El formalismo TGFT está estrechamente relacionado con otros formalismos QG como la gravedad cuántica de lazo canónico y la gravedad cuántica de celosía. Así pues, este proyecto de máster permitirá al estudiante aprender y utilizar técnicas tanto de los TGFT como de otros enfoques modernos de la gravedad cuántica.
Se han propuesto varios modelos de TGFT, pero todos ellos tienen que analizarse más a fondo, para obtener un control total sobre su descripción de la estructura del espacio y el tiempo cuánticos. Sus estados cuánticos y amplitudes, de hecho, codifican aspectos geométricos cuánticos bellos pero desafiantes.

Este proyecto de máster, cuyos detalles se decidirán en función de los intereses del estudiante, abordará una de las siguientes tareas:
- el acoplamiento de materia en modelos TGFT;
- la construcción de observables (relacionales) de gravedad cuántica (en particular, operadores de curvatura)
- el análisis de aspectos de geometría no conmutativa y la aparición de la acción de gravedad discreta en las amplitudes cuánticas
- el análisis de las amplitudes cuánticas TGFT, elaborando diferentes expresiones analíticas y regímenes de aproximación;
- la construcción de estados cuánticos colectivos interesantes ;
- el análisis del campo medio de Landau-Ginzburg de modelos TGFT geométricos cuánticos, para caracterizar el comportamiento crítico;
- el cálculo de las correcciones radiativas básicas.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Cosmología de condensados TGFT y hidrodinámica en el superespacio
Supervisor/es:	Daniele Oriti
Departamento/afiliación:	Fisica Teorica
E-mail supervisor/es:	doriti@ucm.es

Breve Descripción:

Los modelos TGFT proporcionan una dinámica cuántica candidata para los bloques de construcción microscópicos discretos del espacio y el tiempo. El formalismo TGFT está estrechamente relacionado con otros formalismos QG como la gravedad cuántica de lazo canónico y la gravedad cuántica de celosía. Así pues, este proyecto de máster permitirá al estudiante aprender y utilizar técnicas tanto de los TGFT como de otros enfoques modernos de la gravedad cuántica.
Se puede extraer una dinámica cosmológica efectiva de la hidrodinámica de campo medio de los TGFT (tratando el universo como un condensado de sus bloques fundamentales), y ésta muestra un rebote cuántico que sustituye a la singularidad clásica del big bang, entre otros caracteristica notables. La dinámica de campo medio de TGFT parece una realización de un marco más general: la hidrodinámica en el superespacio, que es una extensión no lineal de la cosmología cuántica y puede derivarse desde diferentes perspectivas.

Este proyecto de Máster, cuyos detalles se decidirán en función de los intereses del estudiante, abordará una de las siguientes tareas:
- extraer la dinámica efectiva de un rango más amplio de operadores geométricos, en particular observables de curvatura;
- estudiar el efecto cosmológico de las interacciones microscópicas QG, centrándose en la aceleración temprana y tardía
- desarrollar más las perturbaciones cosmológicas para la gravedad y la materia, analizando las correcciones a la dinámica relativista clásica;
- identificar el sistema hidrodinámico correspondiente a diversas teorías de la gravedad modificadas (en el sector cosmológico).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Reconstrucción con machine learning de interacciones de neutrinos usando luz de centelleo en el experimento SBND / Renormalización no perturbativa de la interacción radiación-materia en espaciotiempos curvos
Supervisor/es:	José I. Crespo Anadón / Luis J. Garay, José Ramón, José Polo Gómez
Departamento/afiliación:	Investigación Básica/CIEMAT / Física Teórica
E-mail supervisor/es:	jcrespo@ciemat.es / luisj.garay@ucm.es,jose.ramonr@uah.es,jose.polo.gomez@mpq.mpg.de

Breve Descripción:

El experimento SBND es un detector de cámara de proyección temporal de argón líquido (LArTPC) de 110 t situado en el haz de neutrinos BNB en Fermilab (Estados Unidos) tomando datos desde 2024. Su programa de física incluye búsquedas de neutrinos estériles y física más allá del Modelo Estándar, medidas precisas de interacciones neutrino-núcleo, y el desarrollo de la tecnología LArTPC. Con el sistema de fotodetección más avanzado de su clase, SBND puede reconstruir interacciones con precisión espacial de centímetros y determinar su tiempo con precisión de nanosegundos. En este trabajo se explorará el uso de redes neuronales [illegible] de vanguardia) para mejorar la reconstrucción de la luz de centelleo, aumentando la sensibilidad del experimento a nueva física.

Bibliografía:

SBND Collaboration. Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

Aunque es estándar estudiar cualquier teoría de interacción perturbativamente, con frecuencia la serie perturbativa puede no converger, señalando que la teoría de interacción subyacente no está bien definida. [illegible] En este TFM se analizará la interacción radiación-materia en espaciotiempos curvos. [illegible] un átomo [illegible] general, un sistema cuántico no relativista) y un campo cuántico. Primero se analizará la convergencia de la serie perturbativa de la interacción para luego estudiar si, en los regímenes en los que no se da la convergencia (en especial, el caso límite en el que la extensión espacial del átomo se considera puntual) esta puede recuperarse empleando técnicas de renormalización (en teoría cuántica de campos estándar y algebraica).

A lo largo del TFM, el estudiante se familiarizará con teoría cuántica de campos en espaciotiempos curvos, teoría cuántica de campos algebraica, y sus técnicas de renormalización. Desde el punto de vista técnico, con frecuencia será necesario utilizar teoría de distribuciones y análisis complejo.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Solitones topológicos en teorías de branas mediante Physics-Informed Neural Networks (PINNs) / Topological Solitons
Supervisor/es:	Jose Alberto Ruiz Cembranos, Alberto García Martín-Caro
Departamento/afiliación:	Universidad Complutense de Madrid, Universidade de Vigo
E-mail supervisor/es:	cembra@ucm.es, alberto.garcia.martin-caro@uvigo.gal

Breve Descripción:

Los solitones topológicos son soluciones no lineales de las ecuaciones de campo que desempeñan un papel fundamental en teorías de cuerdas, partículas, astrofísica, cosmología y física de la materia condensada [1]. En teorías de brana (como las teorías de branones o Galileones geométricos [2]), las ecuaciones de movimiento que gobiernan estas configuraciones presentan no-linealidades complejas que dificultan su resolución mediante métodos analíticos o numéricos tradicionales. En los últimos años, las redes neuronales informadas por la física (Physics-Informed Neural Networks, PINNs) [3,4] han emergido como una herramienta revolucionaria para la resolución de ecuaciones diferenciales parciales no lineales, optimizando el cálculo de soluciones solitónicas y el análisis de su estabilidad y cuantización semiclásica. En este Trabajo de Fin de Máster, el/la estudiante explorará el estudio de solitones y defectos topológicos en teorías efectivas de branas. Dependiendo del estudiante, estos estudios pueden orientarse a aplicaciones dentro de la física de partículas o de la cosmología y la astrofísica. También dependiendo de su interés se pueden utilizar técnicas más o menos avanzadas basadas en redes neuronales para su desarrollo.

Referencias:

[1] N. S. Manton and P. Sutcliffe, Topological Solitons, C.U.P. (2004).
[2] J.A.R. Cembranos, A. Dobado, A.L. Maroto, Brane Skyrmions and wrapped states, Phys. Rev. D 65 (2002) 026005.
[3] J.A.R. Cembranos, A. García Martín-Caro, S.S. Rentero, Quantization of Brane-Skyrmions via Physics-Informed Neural Networks, arXiv:2606.20066 [hep-th] (2026).
[4] M. Raissi, P. Perdikaris, G.E. Karniadakis, Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems, J. Comput. Phys. 378 (2019) 686-707.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Dinámica Extendida del Espacio-Tiempo / Extended Spacetime Dynamics
Supervisor/es:	Jose Alberto Ruiz Cembranos
Departamento/afiliación:	Universidad Complutense de Madrid
E-mail supervisor/es:	cembra@ucm.es

Breve Descripción:

Este Trabajo de Fin de Máster analiza diferentes propuestas teóricas que extienden o modifican el marco de la Relatividad General con el objetivo de explorar nuevas descripciones de la gravedad y del espacio-tiempo. Se estudiarán enfoques que incorporan efectos cuánticos, interacciones con la física de partículas y escenarios cosmológicos más allá del modelo estándar. En función de los intereses del estudiante y los resultados obtenidos, el trabajo podrá abordar fenómenos como los agujeros negros, los agujeros de gusano, las estructuras espacio-temporales no triviales, la inflación cósmica, la energía oscura y la materia oscura, evaluando sus implicaciones teóricas y observacionales.

Referencias básicas para el proyecto:

[1] Einstein, A. (1920). Relativity: The Special and the General Theory. Henry Holt and Company.
[2] Misner, C. W., Thorne, K. S., & Wheeler, J. A. (1973). Gravitation.
[3] W.H. Freeman and Company.Wald, R. M. (1984). General Relativity. University of Chicago Press.
[4] Thiemann, T. (2007). Modern Canonical Quantum General Relativity. Cambridge University Press.
[5] Clifton, T., Ferreira, P. G., Padilla, A., & Skordis, C. (2012). Modified Gravity and Cosmology. Physics Reports, 513(1), 1-189.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Condiciones iniciales no-Bunch-Davies e implicaciones en el Universo temprano
Supervisor/es:	José Alberto Ruiz Cembranos, Álvaro Parra López
Departamento/afiliación:	Universidad Complutense de Madrid, Universidad de Oslo
E-mail supervisor/es:	cembra@fis.ucm.es, alvarop@uio.no

Breve Descripción:

El Trabajo Fin de Máster titulado “Condiciones iniciales no-Bunch-Davies e implicaciones en el Universo temprano” aborda el estudio de estados cuánticos iniciales diferentes del vacío de Bunch-Davies durante la inflación. Se analizará la evolución de campos escalares con condiciones iniciales no estándar, prestando especial atención a los estados de tipo α, así como a la dependencia de los resultados con el instante en que se especifica el estado inicial. Se estudiarán las posibles modificaciones de los espectros de perturbaciones y sus implicaciones observacionales en el universo temprano.

Entre las referencias básicas para el proyecto, podemos citar:

1. N. D. Birrell & P. C. W. Davies, Quantum fields in Curved Space (1982).

2. V. Mukhanov, Physical Foundations of Cosmology (2005).

3. M. Wood-Saanaoui, R. O. Ramos y A. Berera, Choice of Quantum Vacuum for Inflation Observables (2026).

4. E. Bertuzzo, G. M. Salla y A. Tesi, Effects of non-Bunch-Davies initial conditions on gravitationally produced relics (2026).

5. Planck Collaboration, Planck 2018 results. X. Constraints on inflation (2020).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Rotating fluid cosmologies
Supervisor/es:	Antonio López Maroto/ José Beltrán Jiménez
Departamento/afiliación:	Física Teórica (UCM)/Física Fundamental (USAL)
E-mail supervisor/es:	maroto@ucm.es / jose.beltran@usal.es

Breve Descripción:

The standard cosmological model is based on the assumption that all the matter components share a common rest frame. In this work, we will explore the possibility of constructing viable cosmological models with non-comoving fluids. In particular, we will consider perfect fluids in motion which could describe rotating universes. We will analyze the phenomenological implications of these models and their impact on cosmological observations, including CMB, large scale structure and supernovae data.

References:

https://arxiv.org/abs/astro-ph/0512464
https://arxiv.org/abs/2204.04110
https://arxiv.org/abs/2511.17472

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Testeando objetos compactos con observaciones de sombras y ondas gravitacionales
Supervisor/es:	Diego Rubiera García
Departamento/afiliación:	Departamento de Física Teórica
E-mail supervisor/es:	drubiera@ucm.es

Breve Descripción:

Dos observaciones realizadas en la última década dominan las actuales discusiones en astrofísica gravitacional: por un lado las ondas gravitacionales resultantes de las colisiones entre sistemas binarios de agujeros negros, y por otro lado las observaciones de las sombras de los objetos supermasivos en el centro de las galaxias M87 y Vía Láctea(Sgr A*). Esto ha dado lugar a un nuevo campo de estudio, llamado astrofísica multimensajero de objetos compactos. En este contexto, recientemente ha surgido la posibilidad de estudiar ondas gravitacionales y sombras en el mismo agujero negro. Esto es posible gracias a la existencia de una correspondencia entre ambos fenómenos en el límite de la óptica geométrica, en la cual los potenciales efectivos que describen ambos fenómenos suceden en la misma superficie: la esfera de fotones. Este proyecto de Máster propone indagar en los detalles de dicha correspondencia trabajando en dos frentes. Por un lado, a través de cálculo analítico que revele mas aspectos relevantes de dicha correspondencia a través de los observables de cada lado, y por otro lado, estudiar a través de soluciones específicas como dichos observables se manifiestan en soluciones específicas. Por tanto, este es un proyecto de (aproximadamente) 80% física teórica, 20% astrofísica, que requiere una muy modesta contribución de cálculo numérico (usando Mathematic@ o Python, etc). Es este un campo de mucho interés actual en la comunidad internacional y con amplias perspectivas de futuro, sirviendo como una primera toma de contacto con los mecanismos de investigación moderna que pueda repercutir fuertemente en una trayectoria académica futura, incluyendo publicaciones sobre el tema. No son necesarios conocimientos de astrofísica ni de computación previos. La interacción con el Tutor es flexible, a demanda, y en un ambiente de amplia libertad intelectual.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Sombras de agujeros negros
Supervisor/es:	Diego Rubiera García
Departamento/afiliación:	Departamento de Física Teórica
E-mail supervisor/es:	drubiera@ucm.es

Breve Descripción:

Las recientes observaciones por parte del Telescopio de Horizonte de Sucesos (EHT) de la ``sombra" de los objetos supermasivos en el centro de las galaxias M87 y Vía Láctea(Sgr A*), han abierto una nueva vía observacional para testar nuestras ideas fundamentales sobre agujeros negros y otros objetos ultra-compactos a través de su imagen cuando éstos están iluminados por su disco de acrección. Este proyecto de Máster recoge esta idea y propone estudiar las sombras de objetos compactos propuestos bien por consideraciones de Física Fundamental (tales como aquellas basadas en extensiones de la Relatividad General) como de objetos propuestos ad hoc para implementar ideas mas fenomenológicas. Tales objetos pueden incluir agujeros negros modificados, estrellas de bosones, o agujeros de gusano, entre muchos otros. Por tanto, el proyecto tiene naturaleza dual, en tanto requiere una parte de cálculo analítico para entender, desarrollar, e implementar diversas ideas de Física Fundamental en gravitación y objetos compactos, y una parte de cálculo computacional suave para incluir la interacción de dichos objetos compactos con la física del disco de acrección, pesando cada parte (aproximadamente) un 70% y un 30%, aproximadamente. El objetivo final es conseguir acercar teoría de objetos compactos a presentes y futuras observaciones interferométricas. Es este un campo de mucho interés actual en la comunidad internacional y con amplias perspectivas de futuro, sirviendo como una primera toma de contacto con los mecanismos de investigación moderna que pueda repercutir fuertemente en una trayectoria académica futura, incluyendo publicaciones sobre el tema. No son necesarios conocimientos de astrofísica ni de computación previos. La interacción con el Tutor es flexible, a demanda, y en un ambiente de amplia libertad intelectual.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Learning Effective Models of Complex Many-Body Systems from Data
Supervisor/es:	Daniel Matoz Fernandez y Beatriz Seoane Bartolomé
Departamento/afiliación:	Departamento de Física Teórica
E-mail supervisor/es:	dmatoz@ucm.es; beseoane@ucm.es

Breve Descripción:

Complex many-body systems often display collective behavior that is difficult to predict from their microscopic constituents. In non-equilibrium soft matter, such as active matter, complex dynamics emerge from interactions, fluctuations, and hidden internal degrees of freedom. Similar challenges arise in neuroscience, where interacting neurons generate non-equilibrium activity with complex temporal correlations and hidden dynamical states. At the molecular scale, systems such as liquid water pose a complementary challenge: constructing effective coarse-grained interactions that reproduce structural, thermodynamic, and dynamical properties observed in simulations or experiments.

This project aims to develop statistical-physics and machine-learning methods to learn effective descriptions of complex many-body systems directly from simulation and experimental data. Depending on the system, this may involve inferring effective interactions, coarse-grained potentials, or latent variables responsible for memory, persistence, energy injection, and other non-equilibrium effects.

The methods will be applied to soft and molecular matter, including active colloids, active-passive mixtures, suspensions, and molecular liquids such as water, as well as neural population recordings and related stochastic many-body systems. A central goal will be to determine when collective behavior can be captured by simple effective interactions and when latent variables, many-body interactions, or non-equilibrium dynamics are required.

The project builds on statistical inference, disordered systems, and generative modeling, with particular emphasis on interpretable energy-based models connecting statistical mechanics and machine learning. At the interface of machine learning, statistical physics, soft and molecular matter, and neuroscience, the student will develop tools for learning effective interactions and dynamics directly from experimental and simulation data.

- Frishman, J., & Ronceray, P. Learning Force Fields from Stochastic Trajectories. Physical Review X 10, 021009 (2020).

- King, M. P., et al. Inferring Interaction Potentials from Stochastic Particle Trajectories. Physical Review Research 7, 013196 (2025)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Physics of Machine Learning
Supervisor/es:	Beatriz Seoane Bartolomé
Departamento/afiliación:	Física Teórica
E-mail supervisor/es:	beseoane@ucm.es

Breve Descripción:

Modern machine-learning models are complex high-dimensional systems, making statistical physics a natural framework to understand their behavior. This project will use tools from statistical mechanics, disordered systems, and information theory to study fundamental aspects of learning and generative modeling.

Possible directions include understanding overfitting and generalization in complex energy-based models, characterizing their phase diagrams and learning transitions, or using energy-based models to address problems such as optimal transport. The specific topic can be adapted to the student's interests, combining analytical approaches with numerical simulations and machine-learning experiments.

The project will provide training at the interface of statistical physics and machine learning, with the broader goal of understanding how collective phenomena emerge during learning and how they can be exploited to design better algorithms.

1. Decelle, A. (2023). An introduction to machine learning: a perspective from statistical physics. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 631, 128154.
2. Bachtis, D., Biroli, G., Decelle, A., & Seoane, B. (2024). Cascade of phase transitions in the training of energy-based models. Advances in neural information processing systems, 37, 55591-55619.
3. Catania, G., Decelle, A., Furtlehner, C., & Seoane, B. (2025). Proceedings of the 42nd International Conference on Machine Learning, PMLR 267:6891-6919, 2025.
4. Béreux, N., Decelle, A., Furtlehner, C., & Seoane, B. (2026). Equilibrium Training of Energy-Based Models with Parallel Trajectory Tempering. arXiv preprint arXiv:2607.27077.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Information, Higher-Order Interactions, and Learning in Complex Systems
Supervisor/es:	Beatriz Seoane Bartolomé
Departamento/afiliación:	Física Teórica
E-mail supervisor/es:	beseoane@ucm.es

Breve Descripción:

Information theory and statistical mechanics offer two complementary perspectives on complex systems with many interacting degrees of freedom. Statistical mechanics connects microscopic interactions to emerging collective behavior, while information theory provides tools to quantify how information is distributed and shared across a system. Bridging these two viewpoints raises fundamental questions and may provide new ways to understand both complex physical systems and modern machine-learning models.

This project seeks to explore these connections using statistical-mechanical models and energy-based generative models as a general framework. One possible direction is to understand how physical interactions, particularly higher-order interactions, are related to information-theoretic concepts such as synergy, redundancy, and O-information, and how these quantities connect to correlations and response theory. We will initially use spin systems as a controlled playground, with the longer-term goal of applying these ideas to experimental data from complex systems, including neuroscience and bioinformatics.

An alternative direction is to use partial-information concepts to better understand the learning process itself. How does a model progressively learn the information contained in data? Can information decomposition provide a new characterization of the emergence of collective representations during training, and how does this relate to previous statistical-mechanical descriptions of learning trajectories? Another possibility is to investigate whether alternative information-theoretic objective functions can improve or complement standard maximum-likelihood training.

The broader goal of this TFM is to explore new connections between information theory, statistical physics, and machine learning. The project will combine analytical approaches with numerical experiments and experimental data, allowing the precise direction to evolve toward the most promising questions that emerge during the work.

References

1. Barrett, A. B. (2015). Exploration of synergistic and redundant information sharing in static and dynamical Gaussian systems. Physical Review E, 91(5), 052802.
2. Battiston, F., Amico, E., Barrat, A., Bianconi, G., Ferraz de Arruda, G., Franceschiello, B., ... & Petri, G. (2021). The physics of higher-order interactions in complex systems. Nature physics, 17(10), 1093-1098.
2. Rosas, F. E., Mediano, P. A., Luppi, A. I., Varley, T. F., Lizier, J. T., Stramaglia, S., ... & Marinazzo, D. (2022). Disentangling high-order mechanisms and high-order behaviours in complex systems. Nature Physics, 18(5), 476-477.
3. Caprioglio, E., Mediano, P. A., & Berthouze, L. (2026). Synergistic motifs in Gaussian systems.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Flat-band boson systems from kinetic driving: exploring the phase diagram of the ground state.
Supervisor/es:	Charles E. Creffield, Fernando Sols
Departamento/afiliación:	Dpto. Física Materiales / Grupo Física Teórica Materia Condensad
E-mail supervisor/es:	c.creffield@fis.ucm.es; f.sols@ucm.es

Breve Descripción:

Recently, there has been considerable interest in systems where the conventional first-order hopping of particles between sites is effectively suppressed. One way of producing these so-called flat-band systems is to drive the hopping (or kinetic) energy in such a way that its time-average is zero [1]. At high frequencies, the resulting effective time-independent Hamiltonian models a system where the particle dynamics is entirely due to correlations, without the conventional autonomous single-particle hopping. So far, the properties of such a system have been studied for bosons in a tight-binding chain or ring where the hopping energy J (t) varies sinusoidally with time while taking only real values, encountering a rich many-body behavior by performing exact diagonalization. The goal of this TFM project is to explore the properties of the exact ground state in the presence of more general J(t) signals, including the possibility of J(t) adopting complex values, always constrained to a zero-time average. As a particular case, we will investigate the crossover from the already studied model of real and sinusoidal J(t) to the scenario where J(t) is of the form J exp(iFt), with J and F constants, i.e., where J(t) moves uniformly in a circumference of radius J centered around zero within the complex plane [2]. Interestingly, this is the limit of the Stark ladder, corresponding to a tight-binding chain or ring with particles subject to a uniform and constant force F. We will also investigate which shapes of J(t) reproduce the subtle many-body quantum-chaos features of the Sachdev-Ye-Kitaev (SYK) model [3].

[1] J. Mateos, C. E. Creffield, F. Sols, "Superfluidity from correlations in driven boson systems", New J. Phys. 25, 063006 (2023).
[2] S. Nandy et al., "Emergent dipole moment conservation and subdiffusion in tilted chains", Phys. Rev. B 109, 115120 (2024).
[3] C. Creffield, F. Sols, M. Schiro, N. Goldman, "Sachdev-Ye-Kitaev Physics from the Hubbard Model: A Floquet-Engineering Approach", Phys. Rev. Lett. 137, 046302 (2026). [https://physics.aps.org/articles/v19/s90]

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Estados de Floquet espontáneos en condensados atómicos.
Supervisor/es:	Fernando Sols Lucia, Juan Ramón Muñoz de Nova
Departamento/afiliación:	Física de Materiales
E-mail supervisor/es:	f.sols@fis.ucm.es jr.denova@csic.es

Breve Descripción:

Los estados espontáneos de Floquet son estados de Floquet de Hamiltonianos independientes del tiempo cuya naturaleza periódica surge, de forma autoconsistente, por las propias interacciones del sistema, en vez de por una dirección periódica externa, representando un nuevo paradigma de la materia cuántica alternativo a los sistemas dirigidos tradicionales.

Entre otras propiedades únicas, la ruptura espontánea de la simetría de traslación temporal resulta en la aparición de un modo de Floquet-Nambu-Goldstone temporal, cuya amplitud cuántica proporciona un ejemplo único y tangible de operador tiempo en Mecánica Cuántica. Debido a que conservan la energía, los estados de Floquet espontáneos admiten una descripción termodinámica análoga a la de escenarios de equilibrio que a su vez puede extenderse a sistemas dirigidos convencionales a través de la denominada entalpía de Floquet.

El estudio se centrará en el caso de condensados atómicos, combinando técnicas analíticas y numéricas. Al ser un tema candente de investigación, las líneas concretas a desarrollar son abiertas y dependientes, en sus detalles, del estado de conocimiento en el momento de inicio del trabajo.

Bibliografía:

[1] J. R. M. de Nova, F. Sols, "Continuous-time crystal from a spontaneous many-body Floquet state". Phys. Rev. A 105, 043302 (2022).

[2] F. Wilczek, "Quantum time crystals". Phys. Rev. Lett. 109, 160401 (2012).

[3] J. R. M. de Nova, F. Sols, "Simultaneous symmetry breaking in spontaneous Floquet states: Floquet-Nambu-Goldstone modes, Floquet thermodynamics, and the time operator". Quantum 9, 1850 (2025).

[4] J. R. M. de Nova, F. Sols, "Time Crystal from Self-Amplification of Spontaneous Analog Hawking Radiation". Phys. Rev. Lett. 136, 170402 (2026).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Dualidad onda-partícula en el transporte de calor: hacia un rectificador térmico
Supervisor/es:	Guilherme Vilhena (ICMM-CSIC) ; Juan Jose Mazo Torres (UCM)
Departamento/afiliación:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica(UCM) y CSIC
E-mail supervisor/es:	guilherme.vilhena@csic.es y jmazo@ucm.es

Breve Descripción:

El trabajo parte de nuestro trabajo reciente que demuestra que los portadores de calor, los fonones, exhiben la misma dualidad onda-partícula que la luz y los electrones [Nature Materials 2025].

Desde los experimentos de doble rendija de Young, la interferencia es prueba inequívoca de la naturaleza ondulatoria de un portador de energía, una prueba que se había obtenido para fotones y electrones pero nunca para fonones. Mediante cálculos de primeros principios, simulaciones de dinámica molecular y el formalismo de Landauer, hemos mostrado que a temperatura ambiente se puede diseñar una unión molecular cuyas vibraciones se cancelan, suprimiendo un 50% del transporte de calor. Esto es imposible en uns visión clásica fenómeno (ley de Fourrier ó equacion de Boltzmann), donde el flujo térmico es un proceso difusivo de partículas desde el foco caliente hacia el frío.

Este trabajo tomo como punto de partida ese hallazgo para buscar diseñar el equivalente térmico de ciertos componentes electrónicos: interruptores y diodos térmicos. Imagina un material que apenas deje fluir el calor en una dirección. En el estudio se emplearán las herramientas presentadas en el párrafo anterior y se trabajrá desde tus conocimientos de mecánica cuántica y física estadística. Además, a lo largo del año realizaremos propuestas para que nuestros colaboradores experimentales internacionales contrasten nuestras predicciones teóricas.

Referencia relevantes:
[Nature Materials 2025] Nature Materials volume 24, pages 1258–1264 (2025)
[Nature Communications 2025] Nature Communications volume 16, pages 7342 (2025)

Ofertas de prácticas y becas en el grupo: https://nanotrib.com/student-projects-offer

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Física de no-equilibrio: del empirismo a leyes fundamentales
Supervisor/es:	Guilherme Vilhena (ICMM-CSIC) ; Juan Jose Mazo Torres (UCM)
Departamento/afiliación:	Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica(UCM) y CSIC
E-mail supervisor/es:	guilherme.vilhena@csic.es y jmazo@ucm.es

Breve Descripción:

El 23% de toda la energía que consumimos en el mundo se pierde en procesos de fricción. Y nadie sabe todavía predecir un coeficiente de fricción, ni relacionarlo con propiedades fundamentales de la materia.

Lo que estudiamos en el grado sobre fricción y disipación de energía son leyes empíricas que da Vinci, entre otros, escribió hace siglos. No dicen nada sobre lo que ocurre en el interfaz de contacto, no guían ningún razonamiento físico y no siempre se cumplen. Su violación es, de hecho, la puerta de entrada a fenómenos nuevos y contraintuitivos: fricción que disminuye al aumentar la carga, superlubricidad, ...

Este proyecto ataca ese interfaz partiendo de tus conocimientos en física del estado sólido, física estadística y mecánica cuántica, mediante simulaciones atomísticas (cuánticas, machine learning y dinámica molecular) y modelos analíticos. El horizonte a largo plazo es relacionar la disipación con propiedades intrínsecas del material (densidad de estados vibracional, anarmonicidad) y sustituir el catálogo empírico por una teoría.

Durante al trabajo el estudiante aprenderá técnicas y herramientas básicas en el campo para atacar un problema concreto relacionado con la disipación de energía y el fenómeno de fricción con el fin de realizar propuestas experimentales concretas que puedan ser contrastadas por nuestro colaboradores experimentales.

Referencias relevantes de nuestro equipo:
[1] Phonon Interference in Single-Molecule Junctions. Nature Materials 24, 1258 (2025).
[2] Cryogenic Exfoliation of Sterically Frustrated Atropisomers. ACS Nano 19, 13805 (2025).
[3] Unveiling surface and subsurface atomic vacancies. Nature Communications 17, 8446 (2026)

Otras prácticas y becas en el grupo: https://nanotrib.com/student-projects-offer

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Aprendizaje automático para análisis de datos biofísicos
Supervisor/es:	Francisco Javier Cao García
Departamento/afiliación:	Departamento de Estructura de la Materia, Física Térmica y Electr
E-mail supervisor/es:	francao@ucm.es

Breve Descripción:

Se evaluaran y optimizarán algoritmos de aprendizaje automático para analizar datos biofísicos (plegamiento de proteínas y/o replicación de ADN).

[1] Pérez-Mugía, Alberto, Bruno Marcos, Juan P.G. Villaluenga, Borja Ibarra, and Francisco J. Cao-García. 2026. "Crowding on DNA Modulates SSB Protein Binding Mode Kinetics." BioRxiv, July, 2026.07.02.736164. https://doi.org/10.64898/2026.07.02.736164

[2] Morin, José A., Francisco J. Cao, José M. Lázaro, J. Ricardo Arias-Gonzalez, José M. Valpuesta, José L. Carrascosa, Margarita Salas, and Borja Ibarra. 2015. "Mechano-Chemical Kinetics of DNA Replication: Identification of the Translocation Step of a Replicative DNA Polymerase." Nucleic Acids Research 43 (7): 3643–52. https://doi.org/10.1093/nar/gkv204.

Observaciones:

Son necesarios conocimientos sólidos de Física Estadística y de programación en Python (o Matlab).
Contactar por email (francao@ucm.es) adjuntando CV, expediente académico y carta de motivación. Preferiblemente antes del 10 de septiembre para poder solicitar beca de colaboración del Ministerio de Educación (que requiere expediente > 7.7). Este TFM puede tener continuidad con una tesis doctoral.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Cinética en medios hacinados
Supervisor/es:	Francisco Javier Cao García
Departamento/afiliación:	Departamento de Estructura de la Materia, Física Térmica y Electr
E-mail supervisor/es:	francao@ucm.es

Breve Descripción:

Se desarrollaran y evaluarán modelos de cinética en medios hacinados. En particular, modelos de unión de ligandos a ADN. El trabajo incluirá cálculos numéricos y analíticos.

[1] Pérez-Mugía, Alberto, Bruno Marcos, Juan P.G. Villaluenga, Borja Ibarra, and Francisco J. Cao-García. 2026. "Crowding on DNA Modulates SSB Protein Binding Mode Kinetics." BioRxiv, July, 2026.07.02.736164. https://doi.org/10.64898/2026.07.02.736164

[2] Villaluenga, Juan P. G., Jules Vidal, and Francisco Javier Cao-García. 2020. "Noncooperative Thermodynamics and Kinetic Models of Ligand Binding to Polymers: Connecting McGhee–von Hippel Model with the Tonks Gas Model." Physical Review E 102 (1): 012407. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.102.012407

Observaciones:

Son necesarios conocimientos sólidos de Física Estadística y de programación en Python (o Matlab).
Contactar por email (francao@ucm.es) adjuntando CV, expediente académico y carta de motivación. Preferiblemente antes del 10 de septiembre para poder solicitar beca de colaboración del Ministerio de Educación (que requiere expediente > 7.7). Este TFM puede tener continuidad con una tesis doctoral.

Trabajos Fin de Máster en Instituciones Colaboradoras

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Nuevas estrategias para la validación de algoritmos de reconstrucción e identificación de quarks pesados en CMS
Supervisor/es:	Juan Pablo Fernández Ramos (CIEMAT), Isabel Josa Mutuberría (C
Departamento/afiliación:	Departamento de Investigación Básica, CIEMAT
E-mail supervisor/es:	juanpablo.fernandez@ciemat.es, isabel.josa@ciemat.es

Breve Descripción:

El TFM propone diseñar nuevas estrategias para validar algoritmos de reconstrucción e identificación de quarks pesados (jets originados por quarks charm y bottom) en CMS utilizando estados ligados de quarks pesados (J/ψ , Y y hadrones D y B). El estudiante desarrollará herramientas de análisis, estudiará datos simulados y reales e investigará anomalías observadas durante el proceso de validación. El objetivo es aumentar la confianza en las herramientas empleadas para medidas de precisión y búsquedas de nueva física.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	A study of the SM Higgs boson in the WW to 2l2nu decay channel at the CMS experiment using Run 3 data
Supervisor/es:	Dermot Moran
Departamento/afiliación:	Investigación Básica/CIEMAT
E-mail supervisor/es:	Dermot.Moran@ciemat.es

Breve Descripción:

The discovery of the Standard Model (SM) Higgs boson, with a mass close to 125 GeV, by the CERN LHC experiments ATLAS and CMS in 2012 represented a major breakthrough in particle physics. Since then, the Higgs boson has been studied in a number of production and decay channels, including H to WW to 2l2nu.

This project will study the Higgs boson signal in the H to WW to 2l2nu channel using CMS Run 3 data, with the aim of measuring its production cross section. The analysis will involve the optimisation of the event selection, the study and estimation of the main SM backgrounds, and the extraction of the Higgs boson signal using kinematic or multivariate discriminating techniques. Control regions will be used to validate the modelling and predictions of the main backgrounds.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Búsquedas de nueva física en el experimento CMS del LHC
Supervisor/es:	Alberto Escalante del Valle
Departamento/afiliación:	Dpto. Investigación Básica / CIEMAT
E-mail supervisor/es:	alberto.escalante@ciemat.es

Breve Descripción:

Este Trabajo de Fin de Máster se centrará en la búsqueda de nueva física más allá del Modelo Estándar, con especial atención a la producción y detección de partículas de larga vida (long-lived particles, LLPs) cuyos tiempos de vida dan lugar a desplazamientos macroscópicos antes de su desintegración. Este tipo de partículas aparece de forma genérica en una amplia variedad de escenarios de física más allá del Modelo Estándar, como consecuencia de acoplamientos débiles, escalas de masa jerárquicas o simetrías aproximadamente conservadas, y puede dar lugar a firmas experimentales poco convencionales. En este contexto, el trabajo estudiará y desarrollará estrategias de búsqueda en el experimento CMS del Large Hadron Collider (LHC), centrándose en señales compatibles con modelos de sectores oscuros que producen partículas de larga vida y estados finales de baja energía, cuyas características dificultan su reconstrucción, identificación y selección mediante las técnicas de análisis convencionales.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Estudio de procesos del Modelo Estandard (SM) con estados finales de dileptones en datos tomados por el experimento CMS
Supervisor/es:	Javier Brochero
Departamento/afiliación:	Investigación Básica/CIEMAT
E-mail supervisor/es:	javierandres.brochero@ciemat.es

Breve Descripción:

El CERN alberga el acelerador de partículas más potente jamás construido, el Large Hadron Collider (LHC). CIEMAT participa en uno de sus cuatro experimentos principales, el Compact Muon Solenoid (CMS). Durante el Run 3 (2022–2026), el LHC ha producido una cantidad de datos sin precedentes a una energía de centro de masas de 13,6 TeV, incluyendo un gran número de eventos de producción de pares de quarks top, lo que permite realizar medidas cada vez más precisas de procesos del Standard Model (SM).

Este proyecto propone estudiar el estado final dileptónico, con el objetivo de medir simultáneamente las secciones eficaces de producción de pares de tops y de otro proceso del SM, como Z+jets o la producción de dibosones. A través de este análisis, el estudiante se familiarizará con las principales herramientas y técnicas utilizadas en física experimental de partículas, incluyendo el análisis de datos, muestras simuladas, selección de eventos, estimación de fondos y el tratamiento de las incertidumbres sistemáticas. También se podrán explorar técnicas de ML para optimizar la selección de eventos.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Medida de Oscilaciones Acústicas de Bariones (BAO) con la muestra MagLim del experimento DES
Supervisor/es:	Anna Porredon, Santiago Ávila
Departamento/afiliación:	Departamento de Investigación Básica / CIEMAT
E-mail supervisor/es:	annamaria.porredon@ciemat.es, SantiagoJ.Avila@ciemat.es

Breve Descripción:

Las Oscilaciones Acústicas de Bariones (BAO) constituyen una de las reglas estándar más robustas de la cosmología observacional, ya que permiten medir con precisión la historia de la expansión del universo y así ayudar a discernir distintos modelos cosmológicos. En particular, pueden ayudar a dilucidar si la energía oscura es una constante cosmológica o dinámica. Aunque los cartografiados espectroscópicos de galaxias han proporcionado tradicionalmente las medidas más precisas de BAO, el creciente volumen y profundidad de los cartografiados fotométricos modernos ofrecen la oportunidad de extender estos análisis a muestras de galaxias significativamente más numerosas. El Dark Energy Survey (DES) ha obtenido medidas de BAO de alta precisión utilizando una muestra de galaxias específicamente optimizada para este propósito [1, 2].

El objetivo principal de este TFM es medir la señal de BAO utilizando la muestra MagLim de DES [3], optimizada originalmente para el análisis conjunto del agrupamiento de galaxias y la lente gravitacional débil. Las medidas de BAO obtenidas se compararán con otros resultados publicados en la literatura y con las observaciones del Fondo Cósmico de Microondas. Este trabajo contribuirá a comprender el balance entre la optimización de una muestra para un objetivo científico específico y su versatilidad para distintos análisis cosmológicos. Los resultados permitirán evaluar el potencial de usar muestras de galaxias unificadas para futuros análisis cosmológicos y aportarán información relevante para futuros cartografiados de galaxias como Euclid y el Legacy Survey of Space and Time (LSST) del Observatorio Rubin.

[1] J. Mena-Fernández et al., Dark Energy Survey: Galaxy sample for the baryonic acoustic oscillation measurement from the final dataset (2024)
[2] DES Collaboration, Dark Energy Survey: A 2.1% measurement of the angular baryonic acoustic oscillation scale at redshift zeff=0.85 from the final dataset (2024)
[3] Porredon et al., Dark Energy Survey Year 3 results: Optimizing the lens sample in a combined galaxy clustering and galaxy-galaxy lensing analysis (2021)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Probing scalar-field dark energy with DESI Baryon Acoustic Oscillations and ShapeFit measurements
Supervisor/es:	Carlos García García, Eusebio Sánchez
Departamento/afiliación:	Dpto Investigación Básica, CIEMAT
E-mail supervisor/es:	carlos.garcia2@ciemat.es, eusebio.sanchez@ciemat.es

Breve Descripción:

DESI ha encontrado una evidencia, al nivel de ~4σ, de que la energía oscura podría no estar dada por una constante cosmológica, sino que evolucione en el tiempo. La manera más sencilla de producir energía oscura dinámica es mediante un campo escalar que evolucione en el tiempo. Estudios recientes muestran que, bajo esta hipótesis, los datos favorecen modelos más complejos que un campo escalar canónico mínimamente acoplado, necesitando un acoplamiento no mínimo a la curvatura o un término cinético no estándar. Sin embargo, estos modelos pueden modificar la fuerza efectiva de la gravedad y, por tanto, alterar la formación de estructuras cosmológicas.

En este TFM, el estudiante utilizará las mediciones de DESI de las oscilaciones acústicas de bariones y del espectro de potencias de galaxias para estudiar simultáneamente la historia de expansión y el crecimiento de estructura del Universo. Este tipo de análisis se ha realizado recientemente con datos de eBOSS, sin encontrar tensiones significativas, y este trabajo actualizará dichos resultados utilizando los datos más recientes de DESI DR1 (o DESI DR2, si están disponibles).

El trabajo requerirá desarrollar la infraestructura necesaria para utilizar los parámetros de ShapeFit en modelos de energía oscura dinámica. ShapeFit comprime la información contenida en el espectro de potencias de galaxias en un número reducido de observables que caracterizan tanto la geometría como el crecimiento y la forma del espectro. En particular, se implementará un método para extraer la componente suave del espectro de potencias sin asumir una forma ΛCDM, permitiendo así interpretar de manera consistente las mediciones de ShapeFit en modelos de campos escalares y gravedad modificada. Finalmente, se realizará la inferencia de los parámetros cosmológicos y del campo escalar y se compararán las nuevas restricciones con las obtenidas anteriormente con datos de eBOSS.

Bibliografía:
- Energía oscura dada por un escalar: 2607.07777 (y referencias en él)
- DESI DR2 results: 2503.14738
- DESI DR1 Full Shape and ShapeFit: 2411.12021 (y referencias en él)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Discovering the Laws of the Universe with Symbolic Regression
Supervisor/es:	Dr. Shahab Joudaki, Dr. H. Desmond
Departamento/afiliación:	Department of Basic Research / CIEMAT
E-mail supervisor/es:	shahab.joudaki@ciemat.es

Breve Descripción:

Symbolic regression (SR) is a machine learning technique that aims to discover the physical equations governing scientific data. Unlike many standard machine learning techniques, it does not provide black-box predictions, but instead produces interpretable mathematical expressions. As a result, while already a mature field in computer science, it is now gaining traction in astrophysics (e.g. arXiv:2202.02306, 2211.11461, 2410.14623). This project aims to develop, adapt and apply SR methodology to current open problems in astrophysics and cosmology. Depending on the student's interest, this may involve methodological improvements to existing SR methods, synergizing distinct approaches, applying existing SR methods to learn the physical laws generating astrophysical data, and/or developing symbolic emulators to expedite cosmological inference. A concrete first target may be to integrate SR-based emulators for the cosmological matter power spectrum into the likelihood functions used in state-of-the-art cosmological surveys and characterize the improvements they afford over traditional methods.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Búsqueda de materia oscura con el experimento DEAP-3600
Supervisor/es:	Roberto Santorelli
Departamento/afiliación:	Inv. Basica / CIEMAT
E-mail supervisor/es:	roberto.santorelli@ciemat.es

Breve Descripción:

La naturaleza de la materia oscura es uno de los principales problemas abiertos de la física fundamental. Aunque su existencia está respaldada por numerosas observaciones astrofísicas y cosmológicas, todavía se desconoce qué partículas la componen y cómo interaccionan con la materia ordinaria.

Este Trabajo Fin de Máster propone realizar una búsqueda de materia oscura utilizando los datos del experimento DEAP-3600, un detector con aproximadamente 3,3 toneladas de argón líquido instalado en el laboratorio subterráneo SNOLAB, en Canadá. El estudio se centrará en señales no convencionales que podrían no haber sido identificadas en los análisis estándar.

Como caso de estudio se considerarán modelos de Inelastic Boosted Dark Matter (iBDM), en los que partículas energéticas del sector oscuro pueden producir varios depósitos de energía separados dentro del detector. Esta topología característica ofrece una vía prometedora para distinguir una posible señal de materia oscura del fondo experimental.

El trabajo combinará el análisis de datos reales con simulaciones Monte Carlo para estudiar la señal esperada, buscar posibles eventos compatibles y evaluar la sensibilidad de DEAP-3600 a diferentes escenarios de materia oscura.

El proyecto proporciona formación en física de partículas y astropartículas, análisis de datos, simulación y técnicas experimentales de bajo fondo, y está especialmente indicado para estudiantes interesados en continuar con un doctorado en el área.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	LiquidO: Una nueva tecnología para la Detección de Neutrinos
Supervisor/es:	Diana Navas Nicolás, Carmen Palomares Espiga
Departamento/afiliación:	Departamento de Investigación Básica, CIEMAT
E-mail supervisor/es:	diana.navas@ciemat.es, mc.palomares@ciemat.es

Breve Descripción:

Las incógnitas abiertas en física de neutrinos exigen enormes detectores (>kton), con gran resolución energética y que sean capaces de distinguir las partículas resultantes de la interacción del neutrino. Un detector con estas características basado en un diseño simple y no muy costoso supondría un avance enorme para este campo. LiquidO es una nueva tecnología basada en el uso de líquido centellador opaco y fibras centelladoras que es capaz de identificar neutrinos de baja energía, distinguir neutrinos de anti-neutrinos y conocer su punto de interacción con gran precisión, resolviendo las limitaciones del método tradicional de detección (centellador transparente).

El trabajo propuesto se integra en el primer experimento que se está llevando a cabo con la tecnología LiquidO: un detector de 10 toneladas que tiene como objetivo principal monitorizar un reactor nuclear usando por primera vez los anti-neutrinos generados en las reacciones de fisión.

Consiste en el análisis de datos de un prototipo de ~60 litros, donde se probarán los diferentes componentes, y del análisis de datos simulados del detector final. El trabajo tiene lugar en el entorno de una colaboración internacional en la que participan institutos de investigación y universidades de Francia, Gran Bretaña, Portugal y Alemania.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Reconstrucción con machine learning de interacciones de neutrinos usando luz de centelleo en el experimento SBND
Supervisor/es:	José Ignacio Crespo Anadón
Departamento/afiliación:	Investigación Básica/CIEMAT
E-mail supervisor/es:	jcrespo@ciemat.es

Breve Descripción:

El experimento SBND es una detector de cámara de proyección temporal de argón líquido (LArTPC) a tan solo 110 m del origen del haz de neutrinos BNB en Fermilab (Estados Unidos) tomando datos desde 2024. Su programa de física incluye búsquedas de neutrinos estériles y otra física más allá del Modelo Estándar, medidas precisas de interacciones neutrino-núcleo, y el desarrollo de la tecnología LArTPC. Con el sistema de fotodetección más avanzado de su clase, SBND puede reconstruir interacciones con precisión espacial de centímetros y determinar su tiempo con precisión de nanosegundos. En este trabajo se explorará el uso de redes neuronales con arquitecturas de vanguardia para mejorar la reconstrucción de la luz de centelleo, aumentando la sensibilidad del experimento a nueva física.

Bibliografía:

SBND Collaboration. Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Caracterización del nivel de radón en el laboratorio subterráneo de Canfranc usando datos de sensores del experimento SBND
Supervisor/es:	Jose Ignacio Crespo Anadón
Departamento/afiliación:	Dpto. Investigación Básica, CIEMAT
E-mail supervisor/es:	jcrespo@ciemat.es

Breve Descripción:

El experimento SBND en el laboratorio subterráneo de Canfranc (LSC) está en fase de puesta en marcha desde 2024. Su propósito es estudiar la física de neutrinos con un haz de neutrinos muónicos de alta energía procedente del acelerador de partículas del Fermilab (Estados Unidos). El detector, de tecnología LArTPC con una masa de argón líquido de 112 toneladas, está diseñado para observar interacciones de neutrinos con gran precisión espacial y calorimétrica.

Los datos de SBND incluyen señales de fotodetección y trazas de partículas cargadas, y su análisis requiere un control riguroso del fondo radiactivo ambiental. El radón (Rn-222) es una fuente importante de este fondo, ya que sus descendientes pueden depositarse en las superficies internas del detector y contaminar las medidas. Por ello, el seguimiento de los niveles de radón y de otras variables ambientales en el LSC es esencial para la calidad de los datos y para la sensibilidad de los análisis de física.

El trabajo propuesto consistirá en analizar los datos de sensores ambientales del LSC, incluyendo medidas de radón, temperatura, humedad y presión, y estudiar su correlación con las tasas de sucesos observadas en SBND. Se explorarán técnicas de aprendizaje automático (machine learning) para identificar patrones temporales y predecir la evolución del fondo radiactivo. Los resultados permitirán mejorar la comprensión del entorno experimental y optimizar futuras campañas de toma de datos en el LSC.

Bibliografía:

SBND Collaboration. Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Estudio de sensibilidad a procesos con violación del sabor leptónico en futuros colisionadores
Supervisor/es:	Cristina Martín Pérez, María Cepeda Hermida
Departamento/afiliación:	Departamento de Investigación Básica / CIEMAT
E-mail supervisor/es:	Cristina.Martin@ciemat.es, MariaLuisa.Cepeda@ciemat.es

Breve Descripción:

Este TFM tiene como objetivo estudiar la sensibilidad del Future Circular Collider en su fase electrón-positrón (FCC-ee) a desintegraciones del bosón de Higgs y el bosón Z con violación de sabor leptónico (LFV), como H/Z -> e mu, H/Z -> e tau y H/Z -> mu tau, procesos prácticamente prohibidos en el Modelo Estándar pero predichos con tasas observables en diversos escenarios de nueva física.

El estudiante analizará muestras simuladas de señal y fondo, desarrollará estrategias de selección y optimización de eventos para maximizar la sensibilidad del análisis y estimará el potencial de descubrimiento y exclusión del FCC-ee.

El proyecto proporcionará formación en simulaciones Monte Carlo, reconstrucción de eventos, análisis estadístico y herramientas modernas de análisis en física de altas energías, ofreciendo una introducción completa a la física experimental en futuros colisionadores.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Estudio de la respuesta del calorímetro electromagnético del HERD para la medida de electrones de altas energías
Supervisor/es:	Miguel Ángel Velasco Aragón, Jorge Casaus Armentano
Departamento/afiliación:	Dpto. Investigación Básica, CIEMAT
E-mail supervisor/es:	MiguelAngel.Velasco@ciemat.es, Jorge.Casaus@ciemat.es

Breve Descripción:

La medida de electrones y positrones de altas energías es una herramienta importante para la búsqueda de nuevos fenómenos en física de partículas y astrofísica. Estos leptones pierden energía rápidamente durante su propagación, por lo que su observación en la Tierra proporciona información sobre fuentes cercanas y procesos de aceleración energéticos. Además, la presencia de un corte en el espectro de electrones y positrones a altas energías puede ser una señal de materia oscura, ya que estas partículas no pueden explicarse por completo mediante modelos convencionales de origen y transporte, lo que las convierte en un canal clave para explorar física más allá del Modelo Estándar.

El experimento HERD, que se instalará en la Estación Espacial China (CSS) en 2029, permitirá ampliar significativamente la estadística disponible de electrones y positrones, y extender las medidas a energías más altas gracias a su gran aceptancia y a la alta resolución energética de su calorímetro electromagnético. Para cumplir estos objetivos, HERD contará con un calorímetro electromagnético de gran profundidad, segmentado en cubos de centelleador, capaces de determinar con precisión las propiedades de las partículas incidentes. Entre ellos, el calorímetro electromagnético desempeñará un papel esencial, ya que permitirá medir la energía de las partículas y discriminar eficientemente la componente de electrones y positrones frente al fondo dominante de protones. En este trabajo se estudiarán la respuesta y las prestaciones de dicho calorímetro con el fin de evaluar su capacidad para alcanzar los objetivos científicos de la misión.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Búsqueda de ondas gravitacionales de altas frecuencias usando métodos basados en deep learning en el experimento SBND
Supervisor/es:	Carlos Delgado Mendez
Departamento/afiliación:	Dpto. Investigación Básica, CIEMAT
E-mail supervisor/es:	carlos.delgado@ciemat.es

Breve Descripción:

El TFM se llevará a cabo en el grupo de Física de Partículas del CIEMAT, con líneas de trabajo en el análisis de datos generados por el experimento SBND en Fermilab (Estados Unidos) y en el desarrollo de nuevas técnicas de detección para el futuro experimento DUNE.

El trabajo se centrará en el estudio de señales de ondas gravitacionales de altas frecuencias (>MHz), un régimen todavía poco explorado y para el que se están proponiendo nuevas ideas y detectores. Estas señales podrían producirse en procesos astrofísicos violentos o en escenarios primordiales del universo temprano, y su detección requeriría técnicas capaces de distinguirlas de fondos instrumentales muy intensos.

Se propone explorar el uso de métodos de machine learning para identificar señales de ondas gravitacionales en los datos del detector SBND. Para ello, se partirá de simulaciones realistas del detector y de sus principales fuentes de ruido, con el objetivo de entrenar algoritmos capaces de reconocer patrones asociados a este tipo de señales. El estudio incluirá la evaluación de su eficiencia y de su robustez frente a posibles errores sistemáticos, así como la comparación con métodos más convencionales.

Se trata de un trabajo de carácter principalmente computacional, adecuado para estudiantes interesados en la intersección entre física de partículas, astrofísica y técnicas modernas de análisis de datos. Se valorará positivamente la motivación por aprender herramientas de machine learning aplicadas a problemas de física fundamental.

Bibliografía:

SBND Collaboration. Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Ensamblaje y validación de fotodetectores del experimento DUNE usando luz de centelleo en el experimento SBND
Supervisor/es:	José Garcia Soriano Anadón
Departamento/afiliación:	Investigación Básica/CIEMAT
E-mail supervisor/es:	jose.garcia@ciemat.es

Breve Descripción:

El experimento SBND es un detector de argón líquido (LArTPC) a tan solo 110 m del origen de haz de neutrinos BNB en Fermilab (Estados Unidos) tomando datos desde 2024. Su programa de física incluye búsquedas de neutrinos estériles y otra física más allá del Modelo Estándar, medidas precisas de interacciones neutrino-núcleo, y el desarrollo de la tecnología LArTPC. Con el sistema de fotodetección más avanzado de su clase, SBND puede reconstruir interacciones con precisión espacial de centímetros y determinar su tiempo con precisión de nanosegundos. En este trabajo se explorará el uso de redes neuronales con arquitecturas de vanguardia para mejorar la reconstrucción de la luz de centelleo, aumentando la sensibilidad del experimento a nueva física.

Bibliografía:

SBND Collaboration. Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Reconstrucción con machine learning de interacciones de neutrinos usando luz de centelleo en el experimento SBND
Supervisor/es:	José García Pulido
Departamento/afiliación:	Instituto de Física Fundamental IFF-CSIC
E-mail supervisor/es:	jgarcia@iff.csic.es

Breve Descripción:

En la actualidad, existe ya la posibilidad de conectar ordenadores cuánticos mediante enlaces cuánticos a través de los cuales pueden intercambiar información cuántica (estados cuánticos) de manera coherente. Estos mismos montajes, cuando la separación entre ordenadores cuánticos es grande, también permiten explorar fenómenos de no-localidad y explorar los límites fundamentales de la física cuántica a escalas macroscópicas.

En este trabajo el estudiante profundizará en la modelización teórica de los enlaces cuánticos entre ordenadores cuánticos superconductores, a través de modelos "no locales" que introducen retardo y que permiten explorar la dinámica de 2 a 10 nodos analítica y numéricamente. El objetivo es estudiar qué estados entrelazados deslocalizados se pueden crear con recursos limitados, considerando el papel de la decoherencia (p.ej., que los qubits relajan y pierden su información) y las limitaciones experimentales para su caracterización. Este estudio es parte de una colaboración experimental y teórica con grupos de Zurich (Andreas Wallraff, ETHZ), Innsbruck (Gerhard Kirchmair, IQOQI) y Munich (Peter Rabl, WMI).

Bibliografía:

- SBND Collaboration. "First Observation of Reconstructed Neutrino Events in the SBND Detector". Phys. Rev. Lett. 134, 211801 (2025). https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.211801
- SBND Collaboration. "The SBND detector". JINST 20 P04020 (2025). https://doi.org/10.1088/1748-0221/20/04/P04020
- SBND Collaboration. "Simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system". Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Simulación cuántica topológica y sus aplicaciones
Supervisor/es:	Diego Porras Cerrato
Departamento/afiliación:	Instituto de Física Fundamental-CSIC
E-mail supervisor/es:	diego.porras@csic.es

Breve Descripción:

El proyecto estudiará la descripción de simuladores cuánticos con propiedades topológicas que se pueden implementar en sistemas ópticos y fonónicos. Se investigará la precisión que pueden alcanzar estos sistemas en aplicaciones como sensores cuánticos, por ejemplo en la detección de nano-fuerzas.

El proyecto aúna conceptos teóricos interesantes como son la topología y las fases cuánticas de la materia y tiene el interés añadido de buscar aplicaciones en metrología. El estudiante idóneo tendría una buena base de física cuántica, estado sólido y también son necesarios conocimientos básicos de python o matlab.

Para más información, no dudéis en contactar al supervisor del trabajo.

Bibliografía:

SBND Collaboration. Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Reconstrucción con machine learning de interacciones de neutrinos usando luz de centelleo en el experimento SBND
Supervisor/es:	Alejandro Cruz Tundidor (CSIC, principal), Javier Argüello-Luengo
Departamento/afiliación:	Instituto de Física Fundamental-CSIC
E-mail supervisor/es:	jcruz@iff.csic.es; javier.arguello.luengo@upc.edu

Breve Descripción:

El experimento SBND, situado en el acelerador de partículas del Fermilab (Estados Unidos) tomando datos desde 2024. Su programa de física incluye búsquedas más allá del modelo estándar y el desarrollo de la tecnología LArTPC. Con el sistema de fotodetección más avanzado de su clase, SBND puede reconstruir interacciones con precisión espacial de centímetros y determinar su tiempo con precisión de nanosegundos. En este trabajo se explorará el uso de redes neuronales con arquitecturas de vanguardia para mejorar la reconstrucción de la luz de centelleo, aumentando la sensibilidad del experimento a nueva física.

Bibliografía:

SBND Collaboration. Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Reconstrucción topológica de interacciones de neutrinos usando luz de centelleo en el experimento SBND
Supervisor/es:	José Ignacio Crespo Anadón, Álvaro Gómez León
Departamento/afiliación:	Investigación Básica/CIEMAT
E-mail supervisor/es:	jcrespo@ciemat.es, alvaro.gomez@ciemat.es

Breve Descripción:

We will investigate low dimensional topological lattices, which present states protected against disorder, and their role in the transfer of quantum information. We will address driven systems, as the Rice-Mele model, by means of Floquet theory and investigate the effect of interaction and dissipation.

El experimento SBND, en el centro de neutrinos del Fermilab (EEUU), está tomando datos desde 2024. Su programa de física incluye búsquedas de neutrinos estériles y una medida precisa de neutrinos producidos en el Sol, así como el estudio del desarrollo de la tecnología LArTPC. Con el sistema de fotodetección más avanzado de su clase, SBND puede reconstruir interacciones con precisión espacial de centímetros y determinar su tiempo con precisión de nanosegundos. En este trabajo se explorará el uso de redes neuronales con arquitecturas de vanguardia para mejorar la reconstrucción de la luz de centelleo, aumentando la sensibilidad del experimento a nueva física.

Bibliografía:

SBND Collaboration. Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Geometría Cuántica en Grafeno Romboédrico: Superconductividad Topológica y Majoranas
Supervisor/es:	José González Crespo Anadón
Departamento/afiliación:	Quantum Advanced Research Center (QuARC, CSIC)
E-mail supervisor/es:	jcrespo@iem.csic.es

Breve Descripción:

Este Trabajo Fin de Master, enmarcado en el MASTER EN FÍSICA TEÓRICA de la Universidad Complutense de Madrid y desarrollado dentro del proyecto QuantERA 2DQUEST, abordará el estudio teórico de fases topológicas emergentes en grafeno romboédrico multicapa. En particular, se investigará cómo la estructura de bandas planas, las interacciones electrónicas y la posible aparición de superconductividad no convencional pueden dar lugar a estados topológicos capaces de albergar modos de Majorana.

El proyecto combinará modelos efectivos de baja energía, descripciones tipo tight-binding/Bogoliubov-de Gennes y herramientas de caracterización topológica para analizar las condiciones bajo las cuales el grafeno romboédrico puede comportarse como una plataforma para superconductividad quiral y excitaciones de Majorana. El objetivo final será identificar firmas físicas observables y criterios de diseño que conecten la física fundamental de materiales bidimensionales correlacionados con aplicaciones futuras en tecnologías cuánticas topológicamente protegidas.

Bibliografía:

SBND Collaboration, Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. Eur. Phys. J. C 84, 1046 (2024). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13306-3

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

MASTER EN FÍSICA TEÓRICA curso 2026-27

Oferta de Trabajo de Fin Máster

Título del Tema:	Reconstrucción con Machine learning de interacciones de neutrinos usando luz de centelleo en el experimento SBND
Supervisor/es:	Manuel de León Rodríguez
Departamento/afiliación:	Instituto de Ciencias Matemáticas (CSIC-UAM-UCM-UC3M)
E-mail supervisor/es:	mdeleon@icmat.es

Breve Descripción:

El objetivo es estudiar el contenido de información de la luz de centelleo en SBND para mejorar la reconstrucción de las interacciones de neutrinos. Para ello, se emplearán técnicas de aprendizaje automático, en particular redes neuronales convolucionales y arquitecturas de vanguardia para mejorar la reconstrucción de la luz de centelleo, aprovechando la sensibilidad temporal y espacial del detector. El trabajo se desarrollará en estrecha colaboración con el grupo de física de neutrinos del ICMAT, integrado en la colaboración SBND, y contará con la supervisión de investigadores con experiencia en el análisis de datos reales y simulaciones de este experimento.

Se trata de un trabajo original de investigación en un campo de rápida evolución, con resultados que podrían dar lugar a una publicación científica en revistas especializadas. Se valorará positivamente el interés por la física de neutrinos y la experiencia previa en programación, aunque no es imprescindible.

Bibliografía:

SBND Collaboration. Scintillation light in SBND: simulation, reconstruction, and expected performance of the photon detection system. JINST 19 (2024), no. 06, P06046, 84 pp.

[1] de León, Manuel(E-CSIC-IM); Gaset, Jordi(E-UNIR-EN); Muñoz-Lecanda, Miguel C.(E-UPB); Rivas, Xavier(E-URV-EIM); Román-Roy, Narciso(E-UPB) Multicontact formulation for non-conservative field theories. J. Phys. A 56 (2023), no. 2, Paper No. 025201, 44 pp.

[2] de León, Manuel(E-CSIC-IM); Gaset Rifà, Jordi(E-CUNEF-M); Muñoz-Lecanda, Miguel C.(E-UPB); Rivas, Xavier(E-URV-EIM); Román-Roy, Narciso(E-UPB) Practical introduction to action-dependent field theories. Fortschr. Phys. 73 (2025), no. 5, Paper No. e70000, 25 pp.

[3] Manuel de León, Rubén Izquierdo-López, Xavier Rivas: Brackets in multicontact geometry and multisymplectization. Mediterr. J. Math. 23 (2026), no. 2, Paper No. 81, 44pp.