

# Jornadas de Doctorandos 2022-23

## Sesión de diciembre

### Programas de Doctorado en Física y en Astrofísica

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

*Facultad de Ciencias Físicas*  
*13-14 de diciembre de 2022*

---

#### *Ponentes*

---

Programa de Doctorado en Física	
Álvarez Domínguez, Álvaro	Departamento de Física Teórica (UCM)
Ángel Ortega, Sergio	Departamento de Física Teórica y GICC (UCM)
Barbero Velasco, Isabel	Departamento de Física de Materiales (UCM)
Berja Torres, Alba	Dpto. de Electrocerámica, Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV-CSIC)
Carrasco Madrigal, Daniel	Departamento de Física de Materiales (UCM)
Fernández Jiménez, César	Departamento de Física Metalúrgica (CENIM-CSIC)
Juárez Martínez, Antonio	Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica (UCM)
Parra López, Álvaro	Departamento de Física Teórica (UCM) e IPARCOS
Pérez Molina, Laura	CIEMAT
Ruiz Chamorro, Andrés	Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información (CSIC)
De la Serna Valdés, Jaime	Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica (UCM)
Swierczek-Jereczek, Jan	Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica (UCM)

  

Programa de Doctorado en Astrofísica	
Bernete Medrano, Juan	CIEMAT
Láinez Lezaún, María	Dpto. de Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica (UCM)

*JORNADAS DE DOCTORANDOS. 13 y 14 de diciembre de 2022*  
*Programas de Doctorado en Física y en Astrofísica*

	<b>Martes 13</b>	<b>Miércoles 14</b>
10:00-10:15		Álvaro Álvarez Domínguez
10:20-10:35	<b>Inicio: 10:30 horas</b> <b>Charla informativa sobre procedimientos y plazos</b> Vicedecano de Investigación y Doctorado	Sergio Ángel Ortega
10:40-10:55		Álvaro Parra López
11:00-11:15		Andrés Ruiz Chamorro
11:20-11:35		Laura Pérez Molina
11:40-12:00	Receso	
12:00-12:15	Juan Bernete Medrano	Isabel Barbero Velasco
12:20-12:35	María Láinez Lezaún	Alba Berja Torres
12:40-12:55	Antonio Juárez Martínez	Daniel Carrasco Madrigal
13:00-13:15	Jaime de la Serna Valdés	César Fernández Jiménez
13:20-13:35	Jan Swierczek-Jereczek	

---

## RESÚMENES DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN FÍSICA

---

### Efecto Schwinger: ¿qué vacío cuántico elijo?

Álvarez Domínguez, Álvaro  
Departamento de Física Teórica (Universidad Complutense de Madrid)

Consideremos un campo de materia en el espaciotiempo plano. Si le aplicamos un campo eléctrico homogéneo muy intenso que varía con el tiempo, se puede dar lugar a un fenómeno cuántico de creación de partículas conocido como efecto Schwinger.

En esta charla daremos una visión global de cómo las técnicas de la teoría cuántica de campos en espaciotiempos curvos predicen este efecto. En particular, veremos que a la hora de cuantizar el campo de materia aparecen ambigüedades: existen infinitas posibilidades para la elección de la teoría cuántica, y con ello, del vacío cuántico. Así, estudiaremos que existen criterios como la implementación unitaria de la dinámica para definir una familia de vacíos cuánticos que son físicamente razonables.

---

---

### Algoritmo de Google Cuántico con Rotaciones de Fase Arbitrarias

Ángel Ortega, Sergio  
Departamento de Física Teórica - GICC (Universidad Complutense de Madrid)

La computación cuántica es un nuevo paradigma que se espera supere drásticamente las capacidades computacionales de los ordenadores de hoy en día. Para que eso ocurra, no sólo es necesario construir un ordenador cuántico totalmente funcional, sino también diseñar nuevos algoritmos adaptados a las leyes de la mecánica cuántica para poder aprovechar todo su potencial.

En mi tesis doctoral me dedico al estudio de algoritmos de computación cuántica, entre los que se encuentra el “quantum walk” de Szegedy. Este algoritmo ha demostrado tener grandes ventajas para problemas de optimización e inteligencia artificial, así como en la versión cuántica del famoso algoritmo PageRank de Google, que supuso una revolución en el campo de los motores de búsqueda. En nuestro grupo hemos añadido nuevos grados de libertad al “quantum walk” de Szegedy mediante rotaciones de fase arbitrarias, y hemos analizado su rendimiento aplicado a la versión cuántica del PageRank. Por tanto, en esta ponencia presentaré tanto el algoritmo clásico de Google y su versión cuántica, como los nuevos resultados con estos grados de libertad añadidos.

---

---

### Niquelatos de tierras raras: Fundamentos y Aplicaciones

Barbero Velasco, Isabel  
Departamento de Física de Materiales (Universidad Complutense de Madrid)

Los niquelatos de tierras raras son materiales pertenecientes a la familia de los óxidos complejos fuertemente correlacionados. Son materiales que presentan un fuerte acoplamiento entre sus propiedades electrónicas y de red, debido a las distorsiones que presenta su estructura cristalina de tipo perovskita. Por otro lado, se caracterizan por tener una transición metal-aislante de primer orden muy abrupta e histerética. El interés que existe en esta familia de materiales reside (entre otros) en el hecho de que la temperatura de la transición metal-aislante se puede controlar con múltiples parámetros externos al sistema, lo cual resulta interesante para múltiples aplicaciones.

En esta trayectoria que llevo de proyecto de tesis, hemos conseguido crecer un niquelato de tierra rara en particular: el niquelato de neodimio ( $\text{NiNdO}_3$ ). Mediante el uso de la técnica “sputtering de alta presión de oxígeno” con un blanco bifásico hemos logrado depositar el material en forma de película delgada. Además, hemos caracterizado la temperatura de la transición metal-aislante en función del espesor de la película delgada y en función de la tensión epitaxial del sustrato sobre el cual se deposita el material. Ahora se nos abre el camino hacia la investigación de las propiedades eléctricas que presenta este material. Para ello, estamos empezando a caracterizar dispositivos en arquitectura de unión túnel empleando una barrera ferroeléctrica de  $\text{BaTiO}_3$ .

computación cuántica es un nuevo paradigma que se espera supere drásticamente las capacidades computacionales de los ordenadores de hoy en día. Para que eso ocurra, no sólo es necesario construir un ordenador cuántico totalmente funcional, sino también diseñar nuevos algoritmos adaptados a las leyes de la mecánica cuántica para poder aprovechar todo su potencial.

En mi tesis doctoral me dedico al estudio de algoritmos de computación cuántica, entre los que se encuentra el “quantum walk” de Szegedy. Este algoritmo ha demostrado tener grandes ventajas para problemas de optimización e inteligencia artificial, así como en la versión cuántica del famoso algoritmo PageRank de Google, que supuso una revolución en el campo de los motores de búsqueda. En nuestro grupo hemos añadido nuevos grados de libertad al “quantum walk” de Szegedy mediante rotaciones de fase arbitrarias, y hemos analizado su rendimiento aplicado a la versión cuántica del PageRank. Por tanto, en esta ponencia presentaré tanto el algoritmo clásico de Google y su versión cuántica, como los nuevos resultados con estos grados de libertad añadidos.

---

---

## **Reciclado eficiente de imanes permanentes: Reducción del tamaño de partícula y caracterización de polvos de NdFeB reciclados por HDDR**

Berja Torres, Alba

Departamento de Electrocerámica, Instituto de Cerámica y Vidrio, ICV-CSIC

Los imanes permanentes son materiales cruciales para la transición ecológica ya que permiten convertir energía mecánica en eléctrica y viceversa. Los más competitivos se basan en tierras raras (NdFeB), materiales críticos cuya producción controla en un 80% China, provocando así problemas geopolíticos, medioambientales, estratégicos y de suministro con grandes fluctuaciones de precios. Una de las posibles soluciones para nuestro continente es reciclar los imanes de NdFeB al final del ciclo de vida del dispositivo que los contiene, lo cual reduciría nuestra tasa de importación. Sin embargo, la tasa de reciclaje de NdFeB dentro de las fronteras europeas se encuentra por debajo del 1%. En este contexto se enmarca el proyecto europeo INSPIRES, cuyo objetivo es mejorar la eficiencia del proceso de reciclado de imanes de NdFeB recolectados a partir de electrodomésticos y convertidos en polvo por decrepitación (HDDR), de manera que puedan competir en coste con el polvo suministrado desde China. Aquí se presenta un estudio de la composición, morfología, estructura local, microestructura, tamaño de partícula y propiedades magnéticas de polvos de NdFeB reciclados por HDDR (Hidrogenación-Decrepitación-Desorción-Recombinación) a partir de imanes provenientes de electrodomésticos. Los polvos han sido oxidados al aire y se han realizado diferentes moliendas y caracterización con el fin de reducir el tamaño de partícula para su posterior reutilización como imán.

Por tanto, en este trabajo se demuestra la posibilidad de reducir el tamaño de partícula por debajo de 5 µm empleando molienda de bolas y planetaria de alta energía y evitando el más costoso jet milling, además de simplificar el proceso con el uso de polvos oxidados. Se ha estudiado la formación de fases ricas en Nd y su oxidación y se ha revelado la distribución y morfología de las fases con microscopía Confocal Raman.

---

---

## **Óxido de galio nanoestructurado para aplicaciones en fotónica**

Carrasco Madrigal, Daniel

Departamento de Física de Materiales (Universidad Complutense de Madrid)

Los micro y nanohilos semiconductores se han convertido en un campo de gran interés para aplicaciones fotónicas, ya que sus propiedades ópticas pueden controlarse gracias a la modificación de la composición del material o la creación de estructuras ópticas artificiales, como por ejemplo las micro- y nanocavidades ópticas basadas en reflectores de Bragg (distributed Bragg reflector, DBR) que consisten en el cambio periódico del índice de refracción de un medio dieléctrico.

En este trabajo se presenta el diseño y creación de cavidades ópticas basadas en DBRs en micro- y nanohilos de óxido de galio en su fase monoclinica dopado con cromo ( $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Cr), el cual es un material que ha cobrado gran interés en los últimos años al ser un semiconductor tipo n con un band gap en torno a 4.8 eV dotándolo de un rango de transparencia desde el infrarrojo (IR) al ultravioleta (UV) profundo (~250nm), gracias al dopado con Cr<sup>3+</sup> resulta en un emisor muy eficiente en el rango rojo-IR y posee una alta estabilidad térmica y química permitiendo su uso en condiciones extremas.

En particular, nos hemos centrado en estudiar el efecto de la temperatura en el desplazamiento en longitud de onda de los picos de resonancia Fabry-Perot producidos en la cavidad óptica en el rango rojo-IR tanto con el uso de simulaciones basadas en diferencias finitas en el dominio de tiempos (finite difference in time domain, FDTD) y experimentalmente obteniendo el espectro de fotoluminiscencia del micro- nanohilo en un microscopio óptico

confocal y proponiendo su empleo como nanotermómetro. Además, para comprender la causa de este efecto, se ha realizado un análisis con elipsometría del cambio del índice de refracción anisótropo del óxido de galio con la temperatura.

---

---

### **Aceros martensíticos formadores de alúmina para sistemas de generación de energía**

Fernández Jiménez, César

Centro Nacional de investigaciones metalúrgicas (CENIM-CSIC). Departamento de física metalúrgica.

Los aceros inoxidable austeníticos formadores de alúmina (AFA) son los únicos aceros comerciales que actualmente pueden alcanzar temperaturas operativas superiores a 750 °C. Sin embargo, éstos sufren de agrietamiento por corrosión bajo tensión y, debido a su estructura cristalina FCC, muestran mala resistencia al aumento de volumen bajo irradiación (swelling). Por esta razón, en esta investigación se han diseñado aceros martensíticos formadores de alúmina (AFMA), que podrían suplir las carencias de los aceros AFAs.

Para el diseño de estos aceros se ha empleado un diagrama de Schaeffler modificado, que permite estimar las fases presentes en la microestructura de la aleación, combinado con cálculos termodinámicos usando el software ThermoCalc®, que permite estimar tanto las temperaturas óptimas de austenización como la energía de defecto de apilamiento, a través del modelo de Olson y Cohen, la cual es indicadora de la transformación de austenita en martensita. Utilizando esta metodología, se han diseñado y, posteriormente caracterizado, diversas aleaciones en el siguiente rango composicional: 10 – 17.5 Cr, 8 – 14 Ni, 0.08 – 0.15 C y 3.5 Al (en %-peso). La transformación de austenita a martensita se ha evaluado utilizando dilatometría, mientras que las microestructuras obtenidas se han caracterizado utilizando difracción de rayos X, microscopía óptica y electrónica de barrido.

---

---

### **Modelling marine interactions and dynamic ice loss in Antarctica**

Juárez Martínez, Antonio

Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid

Climate change represents one of the biggest threats that our planet will have to face in the next centuries. In the mid-long term, the Antarctic Ice Sheet (AIS) could become the main contributor to sea-level rise, especially through a reduction of its western sector, the West Antarctic Ice Sheet (WAIS). The WAIS is marine-based and therefore strongly exposed to interactions with the ocean. Nonetheless, there is substantial uncertainty in the future contribution of the AIS to sea-level rise, mainly as a result of a poor understanding of physical processes such as ice-sheet dynamics and ice-ocean interactions. The structural uncertainty in future AIS projections has been studied as part of the Ice Sheet Model Intercomparison Project (ISMIP6). The first results showed that the sea-level contribution of the AIS increases with increasing emission scenarios by 2100, as expected. Nevertheless, the WAIS response to the warming varies widely among the models, with the climate forcing and the ocean-induced melt rates and calibrations being the largest sources of uncertainty. We herein investigate the contribution of the higher-order ice-sheet model Yelmo to the ISMIP6 projections. Our results show a strong sensitivity of the AIS contribution to sea-level rise to the calibration of the basal-melting parametrization, particularly remarkable in the WAIS, but in the range of the results reached by other ice-sheet models in the context of the ISMIP6 intercomparison project. For the future, we are interested in exploring this evolution in the long term to look further into the future, extending the simulations by different methods towards 2300 and beyond, and also in studying other physical processes that contribute to uncertainty for its implementation in Yelmo like, for instance, subglacial hydrology.

---

---

### **Miniature universes**

Parra López, Álvaro

Departamento de Física Teórica e IPARCOS (Universidad Complutense de Madrid)

When one considers quantum field theory in a general spacetime, phenomena such as the Unruh effect or Hawking radiation appear. In particular, the temporal variation of the geometry leads to gravitational production of particles out of the vacuum. The difficulty for directly accessing cosmological scenarios from an experimental point of view makes the possibility of simulating such situations in the laboratory very exciting. This has been the objective of the analogue gravity program, which has mainly focused on the use of Bose-Einstein condensates (BEC) as platforms for dynamically resembling scalar fields in flat Friedman-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW) cosmologies.

In this talk, I will discuss how our work extends the latter analogy to FLRW universes of any spatial curvature. Moreover, we provide observables that act as smoking gun signals for the detection of gravitational particle production in the lab. As an application of our theoretical methods, we show the realisation of FLRW spacetimes of positive and negative spatial curvature and confirm particle production driven by a power-law scale factor in a BEC.

---

---

## Sistema de Foto-Detección en ProtoDUNE phase II

Pérez Molina, Laura

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

El *Deep Underground Neutrino Experiment* (DUNE) es un experimento en construcción en Estados Unidos. DUNE pretende arrojar luz a muchas de las preguntas acerca de los neutrinos que permanecen sin respuesta como la violación de la simetría carga-paridad o la jerarquía de sus masas. Para ello contará con un haz de neutrinos producidos en Fermilab (Illinois) que, tras un recorrido de 1300 km, serán detectados en Sanford Underground Research Facility (SURF, Dakota del Sur) a 1.5 km de profundidad por cuatro módulos de un total de 40 kilotoneladas de argón líquido. Los módulos del detector están basados en la tecnología de proyección temporal de argón líquido (LAR-TPC). Cuando el neutrino interactúa con el argón, se ionizan electrones y se producen fotones de centelleo. Gracias a la aplicación de un campo eléctrico se derivan los electrones hasta el ánodo, con lo que se obtiene información del punto de interacción de las partículas, las trayectorias 3D de las mismas y la energía depositada. La luz se recoge en fotodetectores y se puede obtener una referencia del tiempo en que se ha producido la interacción, así como información calorimétrica. El sistema de foto-detección del primer módulo del detector lejano de DUNE estará compuesto por *X-ARAPUCAs*, que son colectores de luz que capturan los fotones de centelleo de 127 nm y son conducidos hasta los *Silicon Photo-Multipliers* (SiPM) al mismo tiempo que su longitud de onda se desplaza al visible, donde los detectores son más eficientes.

Para probar y validar la tecnología que se va a emplear en los módulos del detector lejano de DUNE, se están diseñando y construyendo prototipos en el CERN, conocidos como *ProtoDUNEs*. En esta presentación se describirán las contribuciones en las que se ha centrado el grupo de neutrinos del CIEMAT para la segunda fase del *ProtoDUNE*. Se ha trabajado en el proceso de determinación de la eficiencia absoluta de las *X-ARAPUCAs* para tres de las cuatro configuraciones que están siendo instaladas en la segunda fase de *ProtoDUNE* en el CERN. Se ha necesitado desarrollar un sistema experimental que permita sumergir las *X-ARAPUCAs* en argón líquido y, por tanto, trabajar a temperaturas criogénicas. Los resultados obtenidos son compatibles con las condiciones expuestas por la colaboración para poder alcanzar los objetivos propuestos.

---

---

## Diseño e implementación de un sistema de distribución cuántica de clave en variable continua

Ruiz Chamorro, Andrés

Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información (CSIC)

Frente a los avances de la Computación Cuántica y la amenaza que esto supone para los sistemas actuales de cifrado basados en clave pública, la Distribución Cuántica de Clave permite a dos partes compartir una clave secreta, pudiendo detectar la presencia de un intruso que esté obteniendo información de la misma.

Dentro de las posibles implementaciones de distribución cuántica de clave, los sistemas de variable continua (CV-QKD) consisten en codificar la información en la amplitud y fase de una onda electromagnética muy atenuada. La principal ventaja de este método es que se puede realizar utilizando hardware clásico y la infraestructura ya presente en las redes comerciales de telecomunicaciones.

En este proyecto diseñamos e implementamos experimentalmente un sistema de CV-QKD, reduciendo la complejidad del hardware empleado. El objetivo principal de esto es facilitar la implementación del sistema en circuitos integrados para ser utilizado en las redes de fibra óptica ya existentes.

---

---

## Estudio multidisciplinar de la energía liberada en los terremotos

de la Serna Valdés, Jaime  
Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica

Las zonas de subducción son estructuras tectónicas características de los límites convergentes entre placas. Estas estructuras tienen algunas peculiaridades como los terremotos profundos hasta los 700 km. A estas profundidades el mineral dominante que constituye la lengua rígida de subducción es el olivino, un magnesio-ferrosilicato con cantidades variables de hierro y magnesio. Este trabajo tiene el propósito de estudiar el proceso de ruptura rígida del olivino (fosterita,  $Mg_2SiO_4$ ) en condiciones de presión propias de una zona de subducción. Como punto de partida se han realizado cálculos *ab initio* utilizando la Teoría del Funcional de la Densidad (DFT) electrónica con el fin de obtener parámetros de referencia para la energía de ruptura atómica. El primer paso dentro de este proceso ha sido calcular la energía electro-estructural de una celda unidad de olivino a 24 GPa, la presión correspondiente a una losa de subducción a 700 km. Posteriormente se obtienen las curvas de esfuerzo-deformación mediante deformaciones de cizalla de la celda, esto permite obtener la energía total liberada y la energía radiada por la ruptura de esta celda unidad.

Para acercar las energías atómicas a las observaciones macroscópicas obtenidas en terremotos comunes a estas zonas, se ha construido un modelo multiescala de ruptura. Este modelo genera de forma aleatoria múltiples granos en el espacio tridimensional donde cada grano representa una matriz cristalina de olivino con diferentes direcciones cristalográficas. Utilizando una aplicación estocástica de este modelo se ha cuantificado la ruptura microscópica en los granos hasta lograr valores macroscópicos de energía total y radiada típicos de una falla. Los resultados teóricos alcanzados se han relacionados con los observables sísmicos más representativos, como son la energía sísmica radiada y el momento sísmico escalar.

---

---

## Rate-induced tipping of the West-Antarctic Ice Sheet

Swierczek-Jereczek, Jan

Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica

The retreat of the West-Antarctic Ice Sheet (WAIS) represents one of the largest sources of potential future sea-level rise. The WAIS is considered a tipping element, as large-scale ice loss may be abrupt and irreversible. Previous studies have assessed its bifurcation behaviour through equilibrium experiments, as well as its response to transient scenarios. However, the influence of the forcing rate on stability has not been systematically assessed and is therefore investigated here. First, we determine the bifurcation point associated with the collapse of the WAIS by applying a quasi-equilibrium forcing on a state-of-the-art ice-sheet model. Second, we perform a set of experiments with various transient forcings controlled by a rate parameter. It appears that the higher the rate, the lower the critical warming needed for the system to tip. This effect, called “rate-induced tipping”, stresses that assessing a safe-operation space of human activities requires a systematic investigation of the response to dynamic forcing, as it might display significant discrepancies with equilibrium results.

---

---

---

## RESÚMENES DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN ASTROFÍSICA

---

### Física de astropartículas con MAGIC, LST y el futuro CTA

Bernete Medrano, Juan  
CIEMAT

Los telescopios cherenkov funcionan como detectores de partículas de muy alta energía, aprovechando la interacción de estas con la atmósfera, y nos permiten ver el cielo en la banda de rayos gamma entre las centenas de GeV y las centenas de TeV. Los telescopios MAGIC y el LST (primer prototipo de CTA) son los telescopios cherekov con los que hago mi trabajo. Una de mis líneas de trabajo es la incorporación de “event types” en el análisis del futuro CTA con diferentes “Instrument Response Functions”, lo que permite al observatorio ser más sensible para determinados casos científicos. Otra de mis líneas de trabajo es la búsqueda de señal de “Axion-Like Particles”, uno de los principales candidatos a partícula de materia oscura, en los datos de blázares observados por MAGIC y el LST.

---

---

### Astrofísica de rayos gamma con MAGIC y CTA-Norte

Láinez Lezáun, María  
Departamento de Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica

La astronomía de rayos gamma de muy altas energías permite estudiar los fenómenos más extremos del universo. El desarrollo de los telescopios IACT (*Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope*), como MAGIC, ha dado lugar en las últimas décadas a la detección de muchas fuentes emisoras de rayos gamma con energías del orden del TeV, entre las que se encuentran los bazares, el tipo de fuente extragaláctica más numerosa detectada a muy altas energías. Esto ha motivado la construcción del *Cherenkov Telescope Array* (CTA), que constituirá la siguiente generación de telescopios terrestres para la detección de rayos gamma de muy alta energía. Este observatorio, con una sensibilidad un orden de magnitud mayor que la de los actuales IACTs, permitirá mejorar nuestro conocimiento acerca de la emisión de rayos gamma de muy alta energía por fuentes tanto galácticas como extragalácticas. CTA constará de 2 *arrays*, situados en el hemisferio norte (en la isla de La Palma) y en el hemisferio sur (en el desierto de Atacama), y estará compuesto por un total de 64 telescopios. El primero de ellos, el LST-1 (*Larged Sized Telescope 1*), ya ha sido construido en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) y lleva tomando datos desde 2019. En esta charla, se presentará la cadena de análisis que se utiliza para el procesado de los datos tomados por el LST-1 cada noche (*lstosa*), así como el estudio de los blazares extremos de pico sincrotrón alto (EHSPs) que se está llevando a cabo con datos de varios telescopios en diferentes longitudes de onda.

---

---