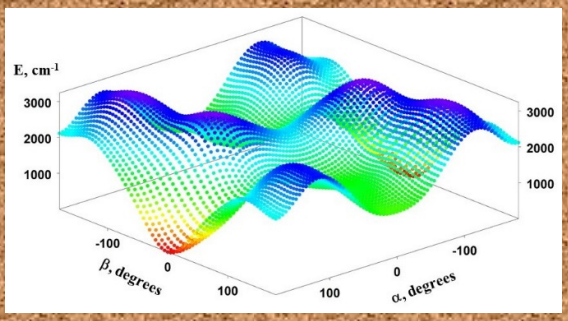
o

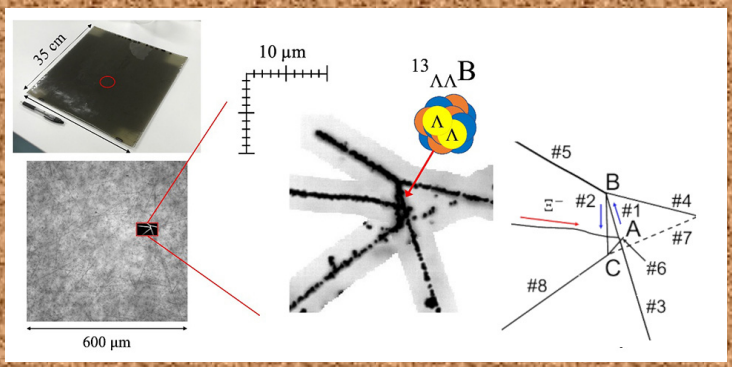
Instituto de Estructura de la Materia
Memoria 2025

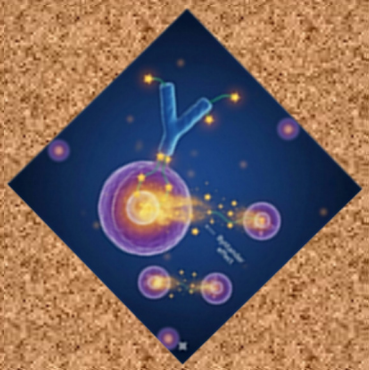


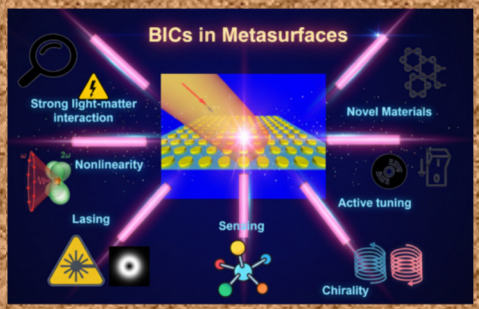
Consejo Superior de Investigaciones Científicas

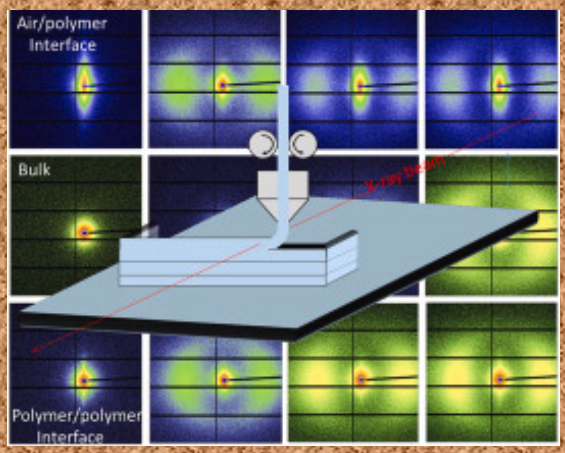
Annual Report 2025











MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

CSIC

IEM

MaX MARCO DE AUTOEVALUACIÓN DE LA EXCELENCIA

MEMORIA ANUAL 2025
SCIENTIFIC REPORT 2025

INSTITUTO DE ESTRUCTURA DE LA MATERIA
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
C/ SERRANO, 113BIS, 119, 121, 123
28006 MADRID
TEF.: 91 561 68 00 FAX: 96 564 55 57
WEB: WWW.IEM.CSIC.ES

SUMARIO

INTRODUCCIÓN ____ *4*

INTRODUCTION ____ *5*

CAPÍTULO 1 – ESTRUCTURA DEL INSTITUTO ____ *6*

DIRECCIÓN / DIRECTION ____ ***6***

JUNTA DE INSTITUTO / INSTITUTE BOARD ____ ***6***

CLAUSTRO CIENTÍFICO / SCIENTIFIC STAFF ____ ***6***

DEPARTAMENTOS DE INVESTIGACIÓN - RESEARCH DEPARTMENTS ____ ***7***

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS ____ *7*

THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY ____ *7*

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS ____ *8*

NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY ____ *8*

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR ____ *9*

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR ____ *10*

MACROMOLECULAR PHYSICS ____ *10*

UNIDAD DE GESTIÓN ECONÓMICA-ADMINISTRATIVA ____ ***11***

SERVICIOS DEL CENTRO DE FÍSICA MIGUEL ANTONIO CATALÁN ____ ***12***

CAPÍTULO 2A – LABOR INVESTIGADORA ____ *13*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICA ____ ***13***

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS ____ ***22***

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR ____ ***42***

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR ____ ***48***

CHAPTER 2B – RESEARCH ACTIVITIES ____ *55*

THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY DEPARTMENT ____ ***55***

NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY DEPARTMENT ____ ***63***

MOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT ____ ***81***

MACROMOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT ____ ***87***

CAPÍTULO 3 – PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN ____ *94*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY ____ ***94***

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY ____ ***95***

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / MOLECULAR PHYSICS ____ ***100***

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / MACROMOLECULAR PHYSICS ____ ***101***

CAPÍTULO 4 – COOPERACIÓN CIENTÍFICA ____ *104*

CHAPTER 4 – SCIENTIFIC COOPERATION ____ *104*

CONGRESOS Y REUNIONES - Congresses and Meetings ____ ***104***

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY ____ ***104***

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADO / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY __ 108
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / MOLECULAR PHYSICS _____ 111
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / MACROMOLECULAR PHYSICS_____ 112

ESTANCIAS DE INVESTIGADORES EN EL INSTITUTO Visitors _____ *115*
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY _____ 115
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY _ 116

CONFERENCIAS DE INVESTIGADORES INVITADOS_____ *117*
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY _____ 117
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / MOLECULAR PHYSICS _____ 117

VISITAS DE INVESTIGADORES A CENTROS INTERNACIONALES - Visits to Foreing Institutions _____ *117*
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY _____ 117
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY _ 118

CAPÍTULO 5 – LABOR DOCENTE, DIFUSIÓN DE LA CIENCIA Y OTRAS ACTIVIDADES _____ 120

DOCENCIA _____ *120*

*DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY _____ **120***
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / MOLECULAR PHYSICS _____ 121
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / MACROMOLECULAR PHYSICS_____ 121

CURSOS, CONFERENCIAS Y SEMINARIOS_____ *122*
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY _____ 122
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY _ 123
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / MOLECULAR PHYSICS _____ 124
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / MACROMOLECULAR PHYSICS_____ 126

PREMIOS Y OTROS MÉRITOS _____ *126*
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY _____ 126
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY _ 128
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / MOLECULAR PHYSICS _____ 128
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / MACROMOLECULAR PHYSICS_____ 129

ACTIVIDADES Y MATERIAL DE DIVULGACIÓN _____ *130*
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY _____ 130
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY _ 131
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / MOLECULAR PHYSICS _____ 131
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR _____ 131

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA _____ *133*
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / MACROMOLECULAR PHYSICS_____ 133

UNIDADES ASOCIADAS Y OTRAS ACTIVIDADES_____ *133*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY ____ *133*
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY ____ *134*
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / MOLECULAR PHYSICS ____ *134*
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / MACROMOLECULAR PHYSICS ____ *135*

CAPÍTULO 6 – PUBLICACIONES Y PRODUCCIÓN CIENTÍFICA ____ ***136***

PUBLICACIONES EN REVISTAS Y PROCEEDINGS ISI ____ ***136***
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY ____ *136*
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS ____ *139*
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / MOLECULAR PHYSICS ____ *145*
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / MACROMOLECULAR PHYSICS ____ *146*

LIBROS, MONOGRAFÍAS Y OTRAS PUBLICACIONES DE PROCEEDINGS / BOOKS, PROCEEDINGS AND OTHER PUBLICATIONS ____ ***148***

BASES DE DATOS Y CÓDIGOS INFORMÁTICOS DE ACCESO ABIERTO/ OPEN ACCESS DATA BASES AND COMPUTER CODES ____ ***149***
DPTO. DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY ____ *149*

TESIS DOCTORALES / Ph.D. Theses ____ ***149***
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY ____ *149*
DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY ____ *150*
DPTO. DEFÍSCA MOLECULAR / MOLECULAR PHYSICS ____ *150*

TRABAJOS DE MÁSTER, GRADO Y OTRAS TITULACIONES ____ ***151***
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY ____ *151*
DPTO. DE ESPECTROSCOPIA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y MATERIA DESORDENADA / NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY ____ *151*
DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / MACROMOLECULAR PHYSICS ____ *153*

CAPÍTULO 7 – TABLAS Y DATOS ____ ***154***
INDICADORES DE PUBLICACIONES Y FORMACIÓN / PUBLICATIONS AND TRAINING INDICATORS ____ *154*
RESUMEN DE PUBLICACIONES EN REVISTAS JCR-ISI / SUMMARY OF PUBLICATIONS IN JCR-ISI-JOURNALS ____ *155*
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE IMPACTO (REVISTAS JCR-ISI) POR DEPARTAMENTOS / EVOLUTION OF THE IMPACT FACTOR (JCR-ISI-JOURNALS) BY DEPARTMENTS ____ *157*

PERSONAL POR DEPARTAMENTOS ____ ***158***

NÚMERO DE PUBLICACIONES POR DEPARTAMENTOS ____ ***158***

RATIO DE PUBLICACIONES JCR-ISI POR DEPARTAMENTOS RATIO OF JCR-ISI PUBLICATIONS BY DEPARTMENTS ____ ***159***

INTRODUCCIÓN

El Instituto de Estructura de la Materia (IEM) es un Instituto de Investigación sólidamente asentado en el CSIC y de gran visibilidad en España, en Europa y en la comunidad internacional. Con una reputación de excelencia, este Instituto intenta también ser atractivo para estudiantes, investigadores y visitantes.

El IEM fue fundado en 1976, con la unión de algunos investigadores en Física de Partículas, Física Molecular, Química Cuántica y Polímeros Cristalinos. Con la llegada de nuevos científicos y con los cambios experimentados por algunas líneas de investigación, las actividades científicas del IEM han ido incluyendo otras áreas como la Física Nuclear, la Espectroscopía en Nanoestructuras Metálicas o la Gravitación. Durante 2025, las actividades de investigación han estado organizadas alrededor de cuatro Departamentos con grupos experimentales y teóricos cuyos campos científicos abarcan la Física Nuclear, Estadística, Molecular y Macromolecular, la Biofísica, la Astrofísica, la Física de la Materia Condensada y la Física Gravitacional. Parte de esta investigación utiliza grandes instalaciones nacionales e internacionales. La actividad investigadora se concentra en el área de la Física, aunque con aplicaciones en Química Física, Ciencia de los Materiales y Biofísica.

En sus comienzos en 1976, el instituto contaba con cinco científicos en plantilla. En la actualidad, acoge a treinta y ocho investigadores en plantilla distribuidos en los siguientes Departamentos:

- Química y Física Teóricas (QFT)
- Espectroscopía Nuclear, Vibracional y de Medios Desordenados (ENVYMED)
- Física Molecular (FM)
- Física Macromolecular (FMM)

Desde 1994, el IEM pertenece al Centro de Física Miguel Antonio Catalán (CFMAC). Los Servicios de Informática, Mantenimiento, Almacén, Taller Mecánico, Taller Óptico y Conserjería, son prestados por el CFMAC y compartidos con los otros Institutos que forman dicho Centro.

La misión del IEM es contribuir al avance del conocimiento en las principales líneas de investigación del Instituto, generar sinergias entre los distintos Grupos de Investigación que lo componen, aprovechando su carácter multidisciplinar y sus enfoques teórico/experimental y de ciencia básica y aplicada, y contribuir a la formación de personal científico en las distintas etapas de la carrera investigadora. La visión del IEM es convertirse en un instituto de referencia en la frontera de la actividad científica representada por la investigación que en él se desarrolla para contribuir de forma decisiva a resolver los principales retos que la sociedad afronta.

Esta actividad científica ha quedado plasmada, durante el año 2025, en 107 publicaciones ISI.

INTRODUCTION

The Institute of Structure of Matter (IEM) aims to be a Research Institute deeply entrenched in the CSIC and highly visible in Spain, in Europe and in the international community. With a reputation for excellence, this Institute seeks to also be attractive to students, researchers and visitors.

The IEM was founded in 1976 with the union of some researchers in Particle Physics, Molecular Physics, Quantum Chemistry and Crystalline Polymers. With the advent of new scientists and the changes experienced by some research topics, the scientific activities of IEM have included other areas such as Nuclear Physics, Spectroscopy of Metal Nanostructures and Gravitation. During 2025, research activities have been organized around four Departments with experimental and theoretical groups whose scientific fields include Nuclear Physics, Statistics, Molecular, and Macromolecular Physics, Biophysics, Astrophysics, Physics of Condensed Matter, and Gravitational Physics. Part of this research has involved the use of large national and international facilities. The research activity is concentrated in the area of Physics, but with applications in Physical Chemistry, Materials Science and Biophysics.

In its beginnings in 1976 the institute had five scientists on staff. Currently, IEM hosts around thirty-eight permanent researchers distributed in the following Departments:

- Theoretical Chemistry and Physics (QFT)
- Nuclear Vibrational and Disordered Media Spectroscopy (ENVYMED)
- Molecular Physics (FM)
- Macromolecular Physics (FMM)

Since 1994, the IEM is part of the Physics Centre “Miguel Antonio Catalán” (CFMAC). The Computing, Maintenance and Warehouse Services, the Mechanical Workshop, the Optical Workshop and the Receptionists, are provided by the CFMAC and shared with the other Institutes that form the Centre.

The mission of the IEM is to contribute to the advance of knowledge in key research areas of the Institute, to generate synergies between different research groups that compose it, taking advantage of its multidisciplinary nature, together with their theoretical and experimental experience in basic and applied science, and to contribute to the training of scientific personnel in the various stages of the research career. The vision of IEM is to become a reference institution on the frontier of the scientific activity represented by the research that it develops to boldly contribute to solve the main challenges that society faces.

This scientific activity, during 2025, has crystallized in 107 ISI publications.

CAPÍTULO 1 – ESTRUCTURA DEL INSTITUTO

CHAPTER 1 - INSTITUTE ORGANIZATION

DIRECCIÓN / *DIRECTION*

Director / *Director:*	Prof. Tiberio Ezquerra Sanz
Vicedirector 1º / *Assistant Director 1st:*	Dr. Rafael A. Molina Fernández
Vicedirector 2ª / *Assistant Director 2nd*:	Dra. Mª Luisa Senent Diez
Gerente / *Manager:*	Dª. Isabel Llerena de Frutos (hasta 4/5/2025)
	D. Rubén Tejero Bonacasa (desde 5/5/2025)

JUNTA DE INSTITUTO / *INSTITUTE BOARD*

Presidente / *President:*	Prof. Tiberio Ezquerra Sanz
Secretaria / *Secretary:*	Dª. Isabel Llerena de Frutos

Vocales / *Members:*

Dr. Carlos Cabrillo García	Dr. Guillermo A. Mena Marugán
Dª. Mª Carmen García Collado	Dra. Aurora Nogales Ruiz
Dra. Mª Cruz García Gutiérrez	Dr. Guzmán Tejeda Gala
Dr. Eduardo Garrido Bellido	Dr. Vicente Timón Salinero

CLAUSTRO CIENTÍFICO / *SCIENTIFIC STAFF*

Presidente / President:	Prof. Tiberio Ezquerra Sanz
Secretario / Secretary:	Dr. Jaime J. Hernández Rueda

Personal Investigador / *Scientific staff:*

Dr. Luis A. Acosta Sánchez	Dra. Aurora Nogales Ruiz
Prof. J. Fernando Barbero González	Dr. Bruno Olaizola Mampaso
Dr. Carlos Cabrillo García	Dr. Juan Ortigoso Martínez
Dr. Gianluca Calcagni	Dr. Ramón José Paniagua Domínguez
Dra. Mª Vega Cañamares Arribas	Dr. Ramón J. Peláez de Fuentes
Dra. María José Capitán Aranda	Dr. Francisco Javier Ramos Díaz
Dr. José Luis Doménech Martínez	Dr. Christophe Rappold
Dr. Ricardo Fernández Perea	Prof. Santiago Sánchez Cortés
Dr. José M. Fernández Sánchez	Prof. José Antonio Sánchez Gil
Profª. María José García Borge	Dr. Gonzalo Santoro Domingo
Dra. María Cruz García Gutiérrez	Prof. Pedro Sarriguren Suquilbide
Dr. Eduardo Garrido Bellido	Dra. Mª Luisa Senent Diez
Prof. José González Carmona	Dra. Isabel Tanarro Onrubia
Prof. Víctor J. Herrero Ruiz de Loizaga	Dr. Guzmán Tejeda Gala
Profª. Andrea Jungclaus	Prof. Olof Erik Tengblad

Prfª. Teresa Kurtukian Nieto	Dr. Vicente Timón Salinero
Dr. Raúl Zósimo Martínez Torres	Dr. Jesús Torrado Cacho
Dra. Belén Maté Naya	Dr. Juan Francisco Vega Borrego
Prof. Guillermo A. Mena Marugán	Dra. Francesca Vidotto
Dr. Rafael A. Molina Fernández	

DEPARTAMENTOS DE INVESTIGACIÓN - *RESEARCH DEPARTMENTS*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS
THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY

Jefe del Departamento / Head of Department:

Dr. Guillermo Antonio Mena Marugán	Profesor de Investigación / *Research Professor*

Personal Científico / Research Staff:

Dr. José González Carmona	Profesor de Investigación / *Research Professor*
Dr. Pedro Sarriguren Suquilbide	Profesor de Investigación / *Research Professor (until 7th of April)*
Dr. Jesús Fernando Barbero González	Investigador Científico / *Research Scientist*
Dr. Gianluca Calcagni	Investigador Científico / *Research Scientist*
Dr. Eduardo Garrido Bellido	Investigador Científico / *Research Scientist*
Dra. María Luisa Senent Díez	Investigadora Científica / *Research Scientist*
Dra. Francesca Vidotto	Investigadora Científica / *Research Scientist*
Dr. Rafael Alejandro Molina Fernández	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Mauro Pieroni	Postdoc Atracción de Talento / *Atracción de Talento Postdoc*
Dr. Jesús Torrado Cacho	Contrato Postdoc Ramón y Cajal/ *RyC Postdoc*
Dr. Jorge Dukelsky Bercovich	Profesor de Investigación Ad Honorem / *Research Professor Ad Honorem*
Dra. Raquel Álvarez Rodríguez	Doctora Vinculada / *Associated Researcher*
Dra. Yuriko Caterina Baba	Personal Laboral Fijo *(since 23rd of Sept.)*
D. Antoine Dierckx de Casterlé	Becario Predoctoral / *PhD Felowship (since 1st of October; to sign WOST project)*
Dª Almudena Guillén Sánchez	Becario Predoctoral FPU / *FPU PhD Fellowship*
D. Andrés Mínguez Sánchez	Becario Predoctoral CAM / *CAM PhD Fellowship*
D. Jacopo Taddei	Becario Predoctoral / *PhD Fellowship since 1st of October; to sign WOST project)*
D. Álvaro Torres Caballeros	Becario Predoctoral CAM */ CAM PhD Fellowship*
D. Igor Vasilevskiy	Contratado Predoctoral FPI (desde 1 de Octubre) / *PhD Fellowship (since 1st of October)*
Dª Noelia Sánchez Gómez	JAE Intro / *JAE Intro Fellowship (until 30th April)*
Dª Marta García Olmos	Autorización de permanencia / *Authorized Stay*
D. Antonio Vicente Becerril	Autorización de permanencia / *Authorized Stay*

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS

NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY

Jefe del Departamento / Head of Department:

Dr. Ramón José Paniagua Domínguez	Científico Titular / Tenured Scientist

Personal Científico / Research Staff:

Profª. María José García Borge	Profesora de Investigación / *Research Professor*
Prof. Olof Erik Tengblad	Profesor de Investigación / *Research Professor*
Prof. Teresa Kurtukian Nieto	Profesora de Investigación / *Research Professor*
Dr. José Antonio Sánchez Gil	Profesor de Investigación / *Research Professor*
Dr. Santiago Sánchez Cortés	Profesor de Investigación / *Research Professor*
Dr. Carlos Cabrillo García	Investigador Científico / *Research Scientist*
Dra. Andrea Jungclaus	Investigadora Científica / *Research Scientist*
Dr. Luis Armando Acosta	Científico titular / *Tenured Scientist*
Dra. María Vega Cañamares Arribas	Científica Titular */ Tenured Scientist*
Dr. Ricardo Fernández Perea	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Vincenzo Giannini	Científico Titular */ Tenured Scientist (on sabbatical leave since October 2022)*
Dr. Christophe Marie Jean Rappold	Investigador Contratado / *Contratct Researcher*
Dr. Bruno Olaizola	Contrato Postdoc Ramón y Cajal/ *RyC Postdoc*
Dra. Ana Crespo Ibáñez	Investigadora Contratada / *Contract Researcher*
Dr. Sergio Sánchez Navas	Investigador Contratado / *Contratc Researcher*
D. Jaime Acosta Loza	Contrato Titulado Superior / *University Graduate*
D. Millán Pérez Martín	Contrato cargo a proyecto/ *University Graduate*
Dª. Beatriz Castillo López de Larrínzar	Contrato Predoctoral FPI / PhD Fellowship
D. Daniel Fernández Ruiz	Contrato Predoctoral FPI / PhD Fellowship
D. Carlos Ferrera González	Contrato Predoctoral FPI / PhD Fellowship
D. Pablo Ortega Flores	Contrato Predoctoral FPI / PhD Fellowship
Dª. Lucía Sánchez Blázquez	Contrato Predoctoral FPI / PhD Fellowship
D. David Calonge González	Contratado Predoctoral cargo a proyecto
D. Samuel Escrig López	Contratado Predoctoral cargo a proyecto
Dª Amanda Nathali Neiro Aguirre	Contratado Predoctoral cargo a proyecto
D. Jesús Sánchez Prieto	Contratado Predoctoral cargo a proyecto
D. Daniel Movilla Quintero	Contratado Predoctoral cargo a proyecto
D. Javier Luis Correa Laorden	Contratado Predoctoral cargo a proyecto
D. Sebastián Gómez García	Contratado Laboral cargo a proyecto

Personal de apoyo / Support Staff:

D. Juan Francisco González Linares	Contrato Personal Téc.de Apoyo/*PTAContract*
D. Ángel Perea Martínez	Técnico Superior Especializado de los OPIS / *Especialized University Graduate*
D. Leonardo Pardi	Contratado Duración Determinada Vinculado Fondos Europeos / Fondos PRTR hasta 15/10/2025 / *Others*

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR
MOLECULAR PHYSICS

Jefe del Departamento / *Head ofDepartment*:

Dr. Guzmán Tejeda Gala	Científico Titular / *Tenured Scientist*

Personal Científico / *Research Staff*:

Prof. Víctor José Herrero Ruiz de Loizaga	Profesor de Investigación / *Research Professor*
Dr. José Luis Doménech Martínez	Investigador Científico / *Research Scientist*
Dr. José María Fernández Sánchez	Investigador Científico / *Research Scientist*
Dra. Isabel Tanarro Onrubia	Investigadora Científica / *Research Scientist*
Dra. Belén Maté Naya	Científico Titular (hasta 15 de diciembre) / *Tenured Scientist (until December 15)* Investigadora Científica (desde 16 de diciembre / *Research Scientist (from December 16)*
Dr. Raúl Zósimo Martínez Torres	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Juan Ortigoso Martínez	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Ramón Javier Peláez de Fuentes	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Vicente Timón Salinero	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dra. Verónica González Fernández	Doctora Vinculada (desde 5 de noviembre) / *Associated Researcher (from November 5)*
D. Carlos Álvarez Nicolás	Contratado Predoctoral (hasta 30 de junio) / *Pre-doctoral contract (until June 30)*
Da. Nabila Getchlouti	Estancia Temporal / *Authorized Stay*
D. Rachid Belkada	Estancia Temporal / *Authorized Stay*
D. Antonio Estacio Mateos	Estancia Temporal / *Authorized Stay*
D. Celia Avilés de la Torre	Estancia Temporal / *Authorized Stay*
D. Ginés Haro Pérez	Estancia Temporal / *Authorized Stay*

Personal de apoyo / *Support Staff:*

D. Miguel Ángel Moreno Alba	Ayudante de Investigación de OPI / *Research Assistant OPI*
D. Ángel Luis González Valdenebro	Téc. Especializado OPI (jubilación 19 junio) / *Specialist Technician OPI (retirement June 19th)*

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR
MACROMOLECULAR PHYSICS

Jefe del Departamento / Head of Department:

Dra. Mari Cruz García Gutiérrez	Investigadora Científica / *Research Scientist*

Personal Científico / Research Staff:

Prof. Tiberio A Ezquerra	Profesor de Investigación / *Research Professor*
Dra. Aurora Nogales Ruiz	Investigadora Científica / *Research Scientist*
Dr. Juan Francisco Vega Borrego	Investigador Científico / *Research Scientist*
Dra. María José Capitán Aranda	Científica Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Jaime Javier Hernández Rueda	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Javier Ramos Díaz	Científico Titular / *Tenured Scientist*
Dr. Gonzalo Santoro Domingo	Científico Titular / *Tenured Scientist*
D. José Sena Fernández	Contrato Predoctoral FPI (hasta 31 de agosto) / *Predoctoral Contract FPI (until 31st of August)*
D. Alejandro Alegre Peñalva	Titulado Superior Contratado (hasta 30 de septiembre) / *University Graduate contract (until 30th of September)*
D. Andrés Cardil Tornos	Titulado Superior Contratado / *University Graduate*
D. Jorge Duro Sánchez	Titulado Superior Contratado (hasta 2 de abril / *University Graduate (until 2nd of april)*
Dña. Olga Martín Vállez	Titulado Superior Contratado (hasta 1 de noviembre / *University Grade /until 1st of November)*
Dña. Mireya Alcón Villaraco	Autorización de Permanencia (hasta 30 de agosto) / *Authorized Stay (until 30th of august)*
D. Javier Hernández Blanco	Autorización de Permanencia (hasta 12 de agosto) / *Authorized Stay (until 12th of august)*
Dña. Aitana Hurtado Mendoza	JAE-Intro-ICU (hasta 31 de julio) / *JAE-Intro-ICU (until 31st of July)*
D. Mateo Martínez Aguado	Autorización de Permanencia (hasta 16 de febrero) / *Authorized Stay (until 16th of february)*
Dña. Eva Torres Pérez	Autorización de Permanencia (hasta 5 de julio) / *Authorized Stay (until 5th of july)*

Personal de apoyo / Support Staff:

Dra. Virginia Souza-Egipsy Sánchez	Titulado Superior Especializado OPIS / *Specialized University Graduate*
D. Carlos García García	Técnico Contratado Programa Momentum / *Technician Momemtum Program*

UNIDAD DE GESTIÓN ECONÓMICA-ADMINISTRATIVA
FINANCES AND ADMINISTRATION

D. Rubén Tejero Bonacasa	CFMAC/IEM-C.Gestión Admón. Civil del Estado (desde el 5 de mayo)
Dª Lucía del Blanco Huesca	CFMAC - Funcionaria Interina - C.Gestión AGE *(desde 3 de febrero)*
Dª. Rosario Carrasco Nicolás	IEM - C. Ayudante de Investigación de OPIS / *Research Assistant OPIs*
Dª. Ana María García Arribas	IEM - C. Ayudante de Investigación OPIS / *Research Assistant OPIs*
Dª. Carmen García Collado	IEM - C. Ayudante de Investigación OPIS / *Research Assistant OPIs*
Dª Concepción Martín Resino	IEM- C. Gral. Admvo. AGE (desde 21 abril) / *General Admvo. AGE (from April 21st).*
Dª Marta Garoz Morales	CFMAC - Funcionaria Interina – C. Gral. Admvo. AGE *(hasta 15 de oct.)*
Dª. Beatriz Gil Sánchez	IEM- C. Gral. Admvo. AGE / *General Admvo AGE*
Dª Ana Cristina Rodríguez Vidaña	CFMAC- C. Gral. Admvo. AGE (desde 16 de oct.)/ *General Admvo. AGE (from 16th of October)*

SERVICIOS DEL CENTRO DE FÍSICA MIGUEL ANTONIO CATALÁN
CENTRAL SERVICES

ALMACÉN / *WAREHOUSE:*

Dª. Clara Isabel Cardeñosa García	C. Gral. Admvo. AGE / *General Administration*
Dª. Soledad Moreno Zambrano	Ayudante Gestión y Servicios Comunes / *Common Services Assistant*

CONSERJERÍA / *RECEPTION:*

Dª Mª Ángeles Castro de la Puente	Ayudante Gestión y Servicios Comunes / *Common Services Assistant*
Dª Andrea Guzmán Olivares	Personal Laboral Fijo / *Permanent Staff*
D. Álvaro J. Llano del Valle	Personal Laboral Fijo / *Permanent Staff*

INFORMÁTICA / *INFORMATICS AND COMPUTER SERVICES*:

D. Fco. Daniel Rincón Fuentes	Técnico Especializado de OPIS / *Technical Specialized OPIs*

MANTENIMIENTO / *MAINTENANCE:*

D. Julián Martín Rodríguez	Personal Laboral Fijo / *Permanent Staff*

TALLER MECÁNICO / *MECHANICAL WORKSHOP*:

D. Luis Ángel de Prado Serrano	Ayudante de Investigación de OPIS / *Research Assistant OPIs*

TALLER ÓPTICO / *OPTICAL WORKSHOP*:

D. José Lasvignes Pacheco	Técnico Superior de Actv. Técnicas de Mantenimiento y Profesionales / *Technical and Professional Activities Technician*

CAPÍTULO 2A – LABOR INVESTIGADORA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICA

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Física Teórica: Gravitación.
- Teoría de la Materia Condensada.
- Física Nuclear Teórica: Estructura y Reacciones.
- Física Molecular Teórica aplicada al estudio de especies astrofísicas y a la caracterización de contaminates atmosféricos.

SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Teoría clásica y cuántica de campos.
- Gravedad Cuántica de Lazos.
- Cosmología Cuántica de Lazos.
- Gravedad cuántica no-local.
- Ondas gravitacionales.
- Análogos de agujeros negros en materia condensada.
- Sistemas mesoscópicos y fuertemente correlacionados.
- Información Cuántica.
- Procesos electrodébiles en el núcleo.
- Estructura nuclear con métodos autoconsistentes de campo medio correlacionado.
- Técnicas de tres cuerpos en Física Nuclear.
- Reacciones de interés en Astrofísica Nuclear.
- Espectroscopia teórica de especies moleculares no-rígidas de interés astrofísico y atmosférico.
- Formación de compuestos orgánicos volátiles a partir de radicales orgánicos.
- Fotodisociación de radicales orgánicos.

TÉCNICAS UTILIZADAS:

- Física Teórica y Matemática.
- Métodos computacionales.
- Teoría de campos perturbativa.
- Algoritmos de Monte Carlo para inferencia Bayesiana.
- Aprendizaje de máquinas para inferencia Bayesiana.
- Métodos geométricos en el formalismo hamiltoniano de teorías de campos.
- Métodos de campo medio autoconsistente.
- Métodos numéricos para la resolución de las ecuaciones de Faddeev en el espacio de coordenadas.
- Desarrollo adiabático en armónicos hiperesféricos.
- Métodos ab initio altamente correlacionados y nuevas herramientas computacionales.

LABOR INVESTIGADORA:

GRAVITACIÓN Y COSMOLOGÍA

Gravedad cuántica de lazos

El Grupo de Gravitación y Cosmología ha continuado investigando la aplicación de la Gravedad Cuántica de Lazos a perturbaciones cosmológicas en el Universo Temprano y a perturbaciones del espaciotiempo de agujeros negros.

En escenarios para el Universo Temprano, hemos calculado, tanto analítica como numéricamente, los efectos de geometría cuántica en el espectro de potencia primordial utilizando las dos propuestas más populares para la cuantización de perturbaciones cosmológicas en el marco de la Cosmología Cuántica de Lazos: el enfoque híbrido y el de métrica vestida. Hemos adoptado un estado de vacío para las perturbaciones derivado de una diagonalización asintótica del hamiltoniano perturbativo en el sector ultravioleta, y tal que conduzca a un espectro libre de oscilaciones rápidas espurias, lo que generaría potencia en promedio. Hemos verificado que las aproximaciones analíticas introducidas por nosotros funcionan excepcionalmente bien y hemos demostrado que los efectos de geometría cuántica producen supresión de potencia a escalas del orden e inferiores a la escala cosmológicamente evolucionada del rebote cuántico que aparece en Cosmología Cuántica de Lazos. Además, hemos estudiado los efectos de diferentes regularizaciones de Lazos en el hamiltoniano cuántico de la cosmología de fondo. Hemos demostrado que, con nuestra elección del estado de vacío, todas las regularizaciones conducen a espectros de potencia notablemente similares una vez que las longitudes de onda se expresan en términos de la longitud de onda del rebote cuántico, que es la cantidad que encapsula la información sobre el efecto de los detalles específicos de la regularización en los fenómenos cuánticos relevantes.

Hemos ampliado nuestra investigación de cosmología cuántica de lazos al caso de un rebote ekpirótico no inflacionario. Innovamos respecto a la literatura previa al introducir un campo con una ecuación de estado ligeramente negativa: esto permite igualar el espectro de potencias casi invariante de escala observado en cosmología. Dicho campo da cuenta de una pequeña constante cosmológica positiva, que genera un sesgo hacia el rojo en los espectros de potencias de las perturbaciones. Las ecuaciones de movimiento de las perturbaciones escalares están acopladas de manera no trivial, lo que conduce a una fenomenología rica que no puede inferirse simplemente de la teoría de un solo campo. Hemos estudiado la evolución de las perturbaciones escalares y tensoriales y comparado los resultados con las observaciones actuales, mostrando la viabilidad de este modelo como base para futuras investigaciones.

En el caso de perturbaciones de agujeros negros, hemos centrado nuestra atención en el interior del agujero negro y en la más compleja de las dos posibles paridades: el caso polar. La polaridad axial ya había sido estudiada por nosotros en años anteriores. Hemos podido construir una formulación hamiltoniana completa y consistente de las perturbaciones, que relaciona los invariantes de gauge perturbativos con pares canónicos de grados de libertad físicos y abre la puerta para describirlos en términos de funciones maestras. Esta formulación hamiltoniana también proporciona un punto de partida natural para la cuantización del sistema compuesto por la geometría de fondo del agujero negro y sus perturbaciones. Hemos propuesto una cuantización híbrida de este sistema en el marco de la Cosmología Cuántica de Lazos. Los posibles efectos sobre la radiación gravitacional descritos por las perturbaciones de los invariantes de gauge se analizarán en trabajos futuros.

También hemos introducido métodos analíticos y numéricos para abordar la dinámica hamiltoniana de cambio de grafos de la Gravedad Cuántica de Lazos completa, algo que ha sido imposible de manejar hasta ahora y que constituye el principal obstáculo para avanzar en la resolución de esta teoría cuántica. Hemos podido completar algunos cálculos numéricos que indican que las aproximaciones que no permiten cambios de grafos introducen desviaciones significativas, lo que pone en duda su validez. En particular, hemos estudiado la evolución del volumen, mostrando un comportamiento diferente en los casos de cambio de grafos y de conservación de los mismos. Esto podría ser de gran importancia para aplicaciones en cosmología, donde el volumen cambia con la expansión, o en transiciones cuánticas de agujeros negros a blancos, donde la tasa de transición debería depender del volumen de la región interior del agujero.

Finalmente, hemos analizado el diferente comportamiento de un detector de partículas en un fondo cosmológico según su función de respuesta, específicamente cuando esta depende únicamente (de forma no trivial) del fondo. Este escenario es conceptualmente posible, ya que el fondo y el campo de partículas pueden medirse simultáneamente y ambas mediciones pueden convolucionarse para obtener una respuesta efective del detector con las propiedades deseadas. Hemos demostrado que es posible elegir la función de respuesta de forma que el detector mida en realidad el número de partículas del campo escalado conformemente, sin pérdida de coherencia ni rastros de producción de partículas cosmológicas.

Métodos hamiltonianos para teorías de campos

Durante este año, hemos continuado nuestra exploración de los métodos hamiltonianos para teorías de campos relacionadas con la relatividad general, en particular el estudio del recientemente introducido modelo de Husain-Mehmoud (HM) (una interesante teoría de campos invariante bajo difeomorfismos relacionada con el conocido modelo de Husain-Kuchař) y el límite carrolliano de la acción de Holst para relatividad general, también relacionado con el modelo HK. A continuación, describimos ambos.

Respecto al modelo HM, hemos estudiado en detalle su dinámica. Su característica más llamativa es la aparente ausencia de una ligadura vectorial que genere los difeomorfismos espaciales: aparentemente, el modelo solo tiene una ley de Gauss. Las primeras explicaciones de este fenómeno sugerían que, en este caso particular, los difeomorfismos no son independientes de las transformaciones de gauge internas. Sin embargo, un cuidadoso análisis hamiltoniano muestra que esto no es así: los campos vectoriales hamiltonianos que representan la evolución del sistema en el espacio de fases muestran que los difeomorfismos tridimensionales están presentes junto con sus generadores hamiltonianos. Además, hemos podido demostrar la existencia de una simetría adicional generada por una ligadura hamiltoniana, situación análoga a lo que sucede en Relatividad General. Esto demuestra que la dinámica del modelo HM es muy interesante y nos invita a estudiar su cuantización.

El límite carrolliano de la acción de Holst ha sido objeto de interés en la literatura reciente. La simetría carrolliana puede entenderse como una simplificación interesante de la simetría Poincaré local de esta acción y, por lo tanto, puede utilizarse como un punto de partida interesante para abordar cuestiones relacionadas con la cuantización de la gravedad. Un resultado llamativo en este contexto es la constatación de que la acción de Husain-Kuchař no procede del término de Cartan-Palatini, sino que proviene del término de Holst (en contradicción con los resultados propuestos en el contexto geometrodinámico, donde el modelo HK parece derivarse de la acción de Einstein-Hilbert). Actualmente, estamos ampliando estos resultados a modelos carrollianos más generales.

Gravedad cuántica no-local y con polos complejos

En 2025 hemos diversificado nuestra inversión en teorías de campos. Por un lado, hemos definido por primera vez un operador d'Alembertiano fraccionario covariante hermitiano, lo que permite construir una larga clase de teorías de campos cuánticas fraccionarias que incluye la gravedad. Estos avances continúan la línea de investigación en teorías no-locales empezada en 2010-2012 y permitirán proseguir en el camino hacia una teoría de gravedad consistente tanto a nivel clásico como cuántico. Por otro lado, hemos aclarado de forma pedagógica y detallista el hecho de que las amplitudes de difusión en teorías de campos con polos complejos (que tienen aplicaciones en QCD y en gravedad) requieren de la prescripción de Anselmi-Piva para que no violen ni la invarianza bajo transformaciones de Lorentz ni el teorema óptico. Dicha violación era conocida desde los años 70, pero muy poco estudiada.

Ondas gravitacionales

A nivel de producción científica, hemos co-coordinado y co-autorado el monumental "Libro Azul" del Einstein Telescope (ET), un documento que detalla los objetivos científicos de este detector europeo de tercera generación de ondas gravitacionales (https://arxiv.org/abs/2503.12263). En particular, hemos coordinado la sección sobre el fondo estocástico primitivo de ondas gravitacionales y co-autorado la misma y otras secciones sobre inflación y sirenas estándar. El informe no está todavía publicado en ninguna revista, pero su número elevado de citas (280 en un año) es un indicador indirecto de su importancia en la comunidad. M. Pieroni ha trabajado en el desarrollo de funciones de verosimilitud estadísticamente consistentes para el análisis del fondo estocástico de ondas gravitacionales (SGWB). Además, ha contribuido al establecimiento de un nuevo criterio para evaluar la precisión y cuantificar el desajuste de modelado en el contexto de la inferencia basada en simulaciones (SBI). J. Torrado ha abordado el problema de caracterizar señales computacionalmente costosas en los datos LISA, tal y como las fusiones de sistemas binarios de agujeros negros supermasivos, utilizando su código de inferencia de aprendizaje automático probabilístico GPry, produciendo mejoras de robustez para dicho código durante ese proyecto.

A nivel de gestión, G. Calcagni ha proseguido su participación en la gobernanza del Consorcio LISA, un organismo de 2000 investigadores que contribuye a la misión espacial LISA de ESA/NASA (lanzamiento en 2035). Ha actuado como jefe del Comité de Membresía y ha sido elegido como miembro del Management Team, el órgano ejecutivo del Consorcio. Además, ha contribuido a la expansión del Grupo de Gravitación y Cosmología del IEM gracias a la atracción de investigadores senior en ondas gravitacionales que se han incorporado este año (M. Pieroni y J. Torrado).

TEORÍA DE LA MATERIA CONDENSADA

Superconductividad de alta temperatura en bicapas de grafeno con tensión

Durante 2025 hemos continuado nuestra investigación sobre las correlaciones superconductoras en bicapas de grafeno con tensión transversal. Previamente, habíamos demostrado que este sistema puede ajustarse para dar bandas planas de baja energía para tamaños suficientemente grandes de la supercelda de muaré. En este régimen, el sistema con interacción electrónica tiende a desarrollar fases de simetría rota espontaneamente, donde la ruptura de simetría de valle es el

patrón dominante. Hemos propuesto la idea de que la fuerte polarización de valle favorece una inestabilidad de apareamiento, en la que los electrones de los pares de Cooper con proyecciones de espín opuesto residen en valles diferentes. El origen de este efecto se encuentra en las distribuciones complementarias que tiene la carga de los estados en valles opuestos, lo que lleva a una fuerte reducción de la repulsión de Coulomb.

Hemos visto que, después de la ruptura de la simetría de valle, todavía hay bandas de baja energía que permanecen planas en el sistema en interacción. Por ello, una determinación apropiada del estado fundamental en la teoría de muchos cuerpos requiere el estudio de efectos de correlación que no están incluidos en la aproximación de Hartree-Fock. Con este propósito, hemos recurrido a una diagonalización exacta del Hamiltoniano en la teoría de muchos cuerpos, construido a partir de los estados de una partícula obtenidos con el método de Hartree-Fock.

Hemos descubierto que, para un dopado de pocos huecos en la banda plana más baja de conducción, los estados fundamentales de la teoría de muchos cuerpos aparecen por adición recursiva de estados de un solo hueco, lo que permite reconstruir una línea de Fermi cuasi-unidimensional en la banda originalmente plana. Otra propiedad destacable de los estados fundamentales obtenidos es que están formados, en primera aproximación, por productos de pares de Cooper. Esto es debido a que pueden aproximarse bien por un producto tensorial de dos estados de muchos cuerpos con polarización de valle y espín opuestos, de forma que los estados de una partícula en el factor de espín $\Psi_{\downarrow}$ son la contrapartida por simetría de valle (inversión) de los estados de una partícula en el factor $\Psi_{\uparrow}$.

Hemos demostrado que el fenómeno de condensación de pares de Cooper se ve confirmado por los resultados de la energía E_n del estado fundamental como función del número de partículas n. Un número par (impar) de huecos conduce de manera reiterada a estados fundamentales con valores de la compresibilidad más bajos (más altos). Esto proporciona una señal clara de la condensación de pares de Cooper con cuasipartículas emergentes por encima de una brecha de energía considerable, del orden de 10 meV.

Por tanto, hemos visto que las bicapas de grafeno con tensión transversal muestran un efecto natural de amplificación de las correlaciones electrónicas en el patrón de muaré unidimensional. Esto queda reflejado en la magnitud obtenida para la brecha de energía en el condensado de pares de Cooper, mucho mayor que la de las bicapas giradas de grafeno, y en el rango de los materiales que exhiben superconductividad de alta temperatura.

Materiales semi-Dirac

Durante el año 2025, nuestra investigación sobre materiales semi-Dirac bidimensionales se ha centrado en la interacción entre estructuras de bandas anisotrópicas, topología y fenómenos colectivos o de transporte dependientes del espín. Los sistemas semi-Dirac interpolan entre la física de Dirac y la de Schrödinger, presentando una dispersión lineal a lo largo de una dirección del momento y cuadrática en la dirección ortogonal. Esta anisotropía intrínseca proporciona un escenario privilegiado para la aparición de estados de borde no convencionales y respuestas fuertemente direccionales.

Una primera línea de trabajo abordó el papel del acoplamiento espín–órbita en sistemas semi-Dirac de tipo I topológicamente no triviales. Demostramos que, en presencia de inversión de bandas y acoplamiento espín–órbita de tipo Rashba, las nanocintas semi-Dirac albergan estados de borde dependientes de la energía y del momento, que son tanto selectivos en dirección como resueltos en espín. Aunque no existe una protección topológica bidimensional completa debido a que el número de Chern total es nulo, un enfoque de reducción dimensional muestra que la fase de Zak a lo largo de la dirección de dispersión cuadrática gobierna la aparición de modos de

borde protegidos por simetría en valores específicos del momento. El acoplamiento Rashba levanta la degeneración en espín e induce canales de borde con textura de espín, cuya localización espacial depende tanto del espín como del carácter partícula–hueco. Los cálculos de transporte en geometrías de dos terminales revelan oscilaciones robustas y sintonizables de la conductancia dependiente del espín, originadas por la precesión del espín bajo el campo efectivo de Rashba, que persisten en presencia de desorden moderado.

En paralelo, investigamos la respuesta plasmónica de materiales semi-Dirac mono- y bicapa a través de transiciones topológicas asociadas a la generación, fusión y a la inversión de bandas de conos de Dirac. Mostramos que estas transiciones dejan huellas claras en las excitaciones colectivas de carga, dando lugar a modos plasmónicos fuertemente anisotrópicos y sintonizables. En configuraciones bicapa, emerge una rama plasmónica adicional cuya fase relativa puede controlarse mediante la rotación de una capa con respecto a la otra. Este control geométrico permite conmutar entre oscilaciones de carga en fase y fuera de fase, destacando a los sistemas semi-Dirac como plataformas prometedoras para plasmones topológicos y aplicaciones optoelectrónicas interferométricas.

Ingeniería de Floquet en materiales cuánticos excitados

Una segunda línea principal de investigación se centró en la dinámica de materiales cuánticos bidimensionales sometidos a excitaciones dependientes del tiempo, con especial énfasis en pulsos finitos realistas más allá del límite idealizado de Floquet monocromático. Desarrollamos y aplicamos el formalismo t–t′ para estudiar monocapas de dicalcogenuros de metales de transición sometidas a pulsos láser intensos y polarizados con envolventes temporales finitas.

Dentro de este marco, la dinámica electrónica se describe mediante una base de Floquet instantánea que captura de forma natural la coexistencia entre el período rápido del campo excitador y la escala temporal más lenta asociada a la envolvente del pulso. Al aplicar este enfoque a dicalcogenuros de metales de transición con fuerte acoplamiento espín–órbita, demostramos que la excitación mediante pulsos finitos da lugar a estados de Floquet–Bloch transitorios y a modificaciones dinámicas de la estructura de bandas que dependen sensiblemente de la duración, amplitud y polarización del pulso. En particular, identificamos efectos pronunciados de polarización de valle transitoria y una renormalización temporal de las bandas, que se reflejan directamente en el dicroísmo circular del sistema excitado.

Nuestros resultados tienden un puente entre la ingeniería de Floquet ideal y las condiciones experimentales realistas de la espectroscopía ultrarrápida, proporcionando predicciones claras para experimentos de ARPES resuelto en el tiempo. De manera más general, este trabajo establece un marco teórico versátil para explorar la dinámica fuera del equilibrio de valles y espín en materiales bidimensionales excitados, con implicaciones potenciales para aplicaciones en optoelectrónica ultrarrápida y valletrónica.

FÍSICA NUCLEAR TEÓRICA

Dispersión elástica de electrones por núcleos impares deformados y polarizados.

Se han estudiado los términos de interferencia entre las componentes monopolares (C0) y cuadrupolares (C2) coulombianas que contribuyen a la sección eficaz de dispersión elástica de electrones por nucleos impares polarizados. Este estudio se realiza en la aproximación de Born de ondas planas (PWBA). La estructura nuclear se describe mediante una aproximación microscópica autoconsistente de Hartree-Fock deformada con interacciones de Skyrme y

correlaciones de tipo pairing. Se encuentra que analizando experimentalmente la respuesta nuclear en estos procesos se puede obtener información detallada sobre el signo de la deformación cuadrupolar en el núcleo blanco. En concreto, se estudian los cambios inducidos por la deformación nuclear en los observables correspondientes a estos procesos, con especial atención a los efectos producidos por los términos de interferencia entre los multipolos C0 y C2. Para ilustrar la magnitud de tal efecto se considera una serie de núcleos blanco caracterizados por tener diferentes espín-paridad y deformación en sus estados fundamentales. Estos núcleos son los siguientes: ^{21}Ne, ^{63}Cu, ^{191}Ir, ^{27}Al, ^{55}Mn, ^{105}Pd, ^{167}Er, ^{177}Hf, ^{181}Ta y ^{179}Hf.

Se encuentra que realizando mediciones conjuntas de las secciones eficaces polarizadas y no polarizadas, pueden obtenerse indicaciones del carácter de deformación, achatada o alargada, de la forma nuclear y que resultan independientes del modelo. Esta información se obtiene de la simple observación de si la sección eficaz aumenta o disminuye al polarizar el núcleo. La amplitud de esta desviación está relacionada con la magnitud de la deformación cuadrupolar. Aunque esta correlación resulta depender del modelo específico considerado, las aproximaciones realizadas en este estudio no cambian las conclusiones sobre la viabilidad de obtener observables que muestren sensibilidad a la interferencia C0/C2 y, por tanto, al signo de la deformación axial.

El estudio incluye núcleos con diferentes números atómicos y de masa. El número atómico, en particular, determina en gran medida el tamaño nuclear y en concreto el radio de carga nuclear. Este radio muestra una correlación directa con la posición del primer mínimo de la sección eficaz de tal manera que la posición decrece cuando el radio aumenta. De nuestro análisis concluimos que en el caso de núcleos pesados, los parámetros de deformación cuadrupolar beta-2 y los patrones de la densidad de carga son muy similares como consecuencia de la importancia relativa del core par-par involucrado. Esto se refleja en patrones similares de las interferencias C0/C2. Por el contrario, los núcleos ligeros investigados presentan una gran diversidad de formas nucleares que finalmente conducen a factores de forma que dependen en mayor medida de las características propias del núcleo considerado. Resumiendo, encontramos que la comparación de las secciones eficaces polarizadas y no polarizadas proporciona una herramienta novedosa para discriminar entre la naturaleza oblada o prolada de la forma nuclear y finalmente para entender mejor la deformación del núcleo atómico.

Confinamiento de sistemas de dos y tres partículas por medio de un campo externo

A lo largo de este año hemos utilizado el denominado “d-method”, recientemente desarrollado, y que permite investigar sistemas de dos y tres cuerpos bajo la influencia de un potencial de confinamiento externo. El punto de partida de este procedimiento consiste en tomar la dimensión d como un parámetro que puede variar de forma continua desde d=3 hasta d=2. El efecto del potencial de confinamiento queda entonces contenido en la barrera centrífuga de potencial, que presenta una dependencia en la dimensión. Este método es preciso y correcto en los dos límites, es decir, para d=3 y d=2.

En particular, para sistemas de dos cuerpos, hemos investigado funciones de onda, defasajes y secciones eficaces elásticas. La interacción entre los dos cuerpos se ha tomado de corto alcance. Usando un potencial de pozo cuadrado, hemos derivado expresiones analíticas para longitudes de dispersión y defasajes. Hemos introducido también la dimensión crítica, d_E, que se corresponde con el escenario en el que la longitud de dispersión de la interacción es infinita. Esta situación es particularmente interesante, ya que, cuando se añade una tercera partícula, se cumplen las condiciones para la aparición de estados de Efimov. Hemos investigado también la equivalencia entre las funciones de onda obtenidas en el espacio de dimensión d y la correspondiente al espacio tridimensional ordinario confinado. Hemos demostrado que los

defasajes son los mismos en ambos casos. En consecuencia, el método d se puede utilizar para obtener secciones eficaces elásticas de dos cuerpos a baja energía ante la presencia de un campo externo.

Siguiendo el mismo esquema, hemos investigado también el caso de los sistemas de tres cuerpos, centrándonos en estructuras en el continuo de tres partículas que interaccionan en un campo externo deformado. Nos enfocamos en dimensiones cercanas a la dimensión crítica, $d = d_E$, entre 2 y 3, para la cual la energía de los subsistemas de dos cuerpos es igual a cero. Estas son de nuevo las condiciones bajo las cuales puede aparecer el efecto Efimov. En este escenario, $d=d_E$, hemos diseñado un modelo de tres cuerpos esquemático, realista a largas distancias, basado en potenciales de pozo cuadrado para la interacción partícula-partícula. Así, hemos derivado expresiones analíticas para las funciones de onda, longitudes de dispersión, defasajes y secciones eficaces elásticas. El procedimiento y los resultados son universales, válidos para todos los potenciales de corto alcance siempre que las longitudes de dispersión suficientemente grandes. Hemos discutido también las propiedades y la validez de las expresiones derivadas considerando el sistema más simple, como es el de tres bosones idénticos. Hemos encontrado que las expresiones encontradas son particularmente útiles para energías muy pequeñas, donde los cálculos numéricos completos a menudo no son factibles. Para energías en las que se pueden realizar cálculos numéricos, se encuentra una buena concordancia con los resultados analíticos. Estos resultados del modelo pueden probarse mediante experimentos de dispersión para tres partículas en un potencial de oscilador deformado externo equivalente. Todas las secciones eficaces van a cero en el límite de energía cero para $d < 3$ como una potencia de la energía dependiente de d.

Funciones de correlación de tres nucleones

Actualmente, los procesos de dispersión con tres nucleones libres en el canal entrante no pueden ser llevados a cabo en el laboratorio. Sin embargo, recientemente, la colaboración ALICE ha logrado medir el proceso de dispersión de tres protones de manera indirecta. El procedimiento seguido se conoce como técnica femtoscópica, la cual se aplica a colisiones protón-protón a muy alta energía en el LHC. Con objeto de establecer la conexión teórica con las medidas presentes y futuras de funciones de correlación de tres partículas, hemos analizado en detalle los distintos ingredientes necesarios para describir sistemas de tres protones y tres neutrones mediante el uso de la expansión adibática hiperesférica de la función de onda de tres cuerpos. Esta función de onda, convenientemente normalizada, es la base de la función de correlación, que no es más que su convolución con una función fuente. El tamaño finito de esta fuente permite el uso de funciones de dispersión libres para muchos de los canales adiabáticos. Los resultados obtenidos pueden considerarse como un primer paso en la descripción de las funciones de correlación es sistemas de tres cuerpos, abriendo la puerta al estudio de otros sistemas, como el formado por dos protones y una partícula Λ.

FÍSICA MOLECULAR TEÓRICA APLICADA AL ESTUDIO DE ESPECIES ASTROFÍSICAS Y A LA CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINATES ATMOSFÉRICOS

La investigación realizada en 2025 se inserta en el proyecto H2020-MSCA-RISE-2019-ATMOS-872081 "*Pollutants and greenhouse gases in the atmosphere - understanding gas-gas and gas-solid interactions towards a cleaner atmosphere* (ATMOS)". Este proyecto se coordina desde el instituto de Estructura de la Materia y desde el grupo de Química Teórica del Departamento de

Química y Física Teóricas en colaboración con la Unidad Asociada con la Universidad de Huelva.

En este entorno, hemos organizado este año el Congreso internacional ATMOS2025 en Agadir (Marruecos) con participación de los 12 grupos integrantes de ATMOS y seis investigadores externos invitados.

ATMOS es una red internacional financiada por una Acción Marie Curie del programa H2020 para el inercambio de investigadores El objetivo principal es el estudio de problemas científicos relacionados con los elementos de contaminación atmosférica, con énfasis en la formación de estudiantes graduados en ciencias atmosféricas. La red está compuesta por doce grupos científicos y 31 científicos senior. Dentro de este entorno, varios estudiantes y profesores procedentes de los grupos integrados en ATMOS han visitado el IEM-CSIC en 2025.

Uno de los objetivos fundamentales de ATMOS es la caracterización espectroscópica de contaminantes atmósfericos como son especies orgánicas volátiles oxigenadas (OVOC's), radicales orgánicos y gases de efecto invernadero. Básicamente, el trabajo científico de los participantes del IEM se refiere a la identificación y reactividad de los radicales orgánicos y de los OVOC's que presentan rotación interna. Se parte de la base de que la comprensión de los procesos que involucran compuestos orgánicos en la atmósfera depende de su identificación y caracterización. Para entender los efectos en la atmósfera, se necesitan parámetros estructurales y espectroscópicos, teniendo en cuenta que el modelado espectroscópico cuantitativo línea por línea en el rango infrarrojo (IR) es necesario para las observaciones atmosféricas actuales y futuras con instrumentos de gran escala. Se requiere un gran esfuerzo científico centrado en la caracterización de especies conocidas y nuevas y en el conocimiento de la evolución química, de los procesos fotoquímicos inducidos y los ciclos radicales. En el IEM, la herramienta principal para la caracterización molecular son los cálculos ab initio altamente correlacionados, así como los códigos originales de Fortran para la determinación de propiedades espectroscópicas. Se colabora con los laboratorios del Departamento de Física Molecular.

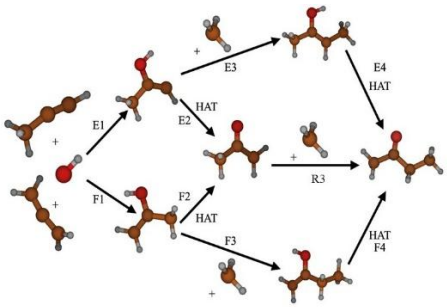


Fig 1

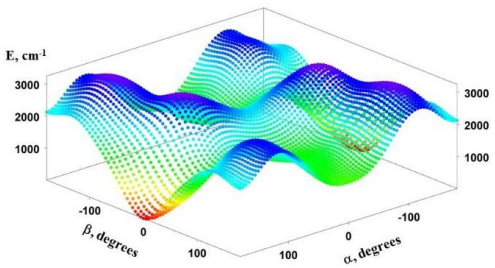


Fig 2

Durante 2025, se han calculado propiedades espectroscópicas y estructurales, con un énfasis en la rotación interna de grupos metilo, de alcoholes, eteres y cetonas que están clasificadas como Compuestos Orgánicos Oxigenados Volátiles. Estas especies contribuyen a un incremento del O_3 troposférico. Se emplean cálculos ab initio altamente correlacionados y software original. Se han estudiado la acetona y el biacetilo y su espectro Raman, en colaboración con el departamento de Física Molecular. Teoricamente se han estudiado la metil etil cetona (Fig 1) y la hidroxiacetona (Fig 2). Se han analizado tanto las propiedades espectroscópicas como los procesos de formación en fase gas. Se han finalizado estudios de una amplia gama de pentenos, de cetonas y de alcoholes.

Son objetivo de ATMOS la espectroscopia, la reactividad y también las interacciones gas-gas y gas-solido que involucran contaminantes atmosféricos. Se aborda la modelización de sólidos moleculares para la captura y almacenaje de contaminantes. Durante 2025, la Teoría del Funcional de la Densidad se ha empleado para modelar la captura de compuestos orgánicos (nitrofenoles) y amoniaco en ZIF-8 (zeolitic imidazolate framework-8).

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Física Nuclear Experimental.
- Estudio de estados nucleares excitados y resonantes.
- Estudio de hiper-materia exótica, núcleos mesónicos y otro estada ligado dentro sección extraña de la ecuación de estado nuclear
- Métodos de seguimiento de partículas y vértices.
- Investigación sobre machine learning and deep learning a la espectroscopia nuclear experimental.
- Simulaciones por computación usando la herramienta FairRoot y Geant4 para experimentos de Física Nuclear energia bajas, medias y relativistas.
- Estudios de reacciones astrofísicas relacionadas con la nucleosíntesis estelar
- Desarrollo de instrumentación para la Fisica Nuclear.
- Espectroscopía intensificada por superficies (SERS, SEF and SEIRA) de sistemas moleculares
- Nanosensores
- Técnicas espectroscópicas aplicadas al estudio de materiales de interés en el Patrimonio Cultural.
- Diseño de ecomateriales.
- Nano-Fotónica
- Plasmónica y Metamateriales
- Sistemas carentes de orden de largo alcance.

SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Caracterización de la estructura nuclear mediante reacciones elásticas y de ruptura, así como a través de la desintegración beta.
- Estudio del mecanismo de ruptura de estados excitados en múltiples partículas.
- Estudio de las propiedades estructurales de núcleos en reacciones a energías relativísticas.
- I+D de centelladores para el calorímetro CALIFA para el experimento R3B@FAIR.
- Medida de momentos magnéticos en núcleos exóticos mediante haces de iones radiactivos.
- Instrumentación nuclear.
- Nucleosíntesis estelar.
- Métodos computacionales en Física Nuclear experimental (R3BRoot, FairRoot, WASAFRS).
- Herramientas de análisis de datos (Root, python, C++).
- Experimentación en Física Nuclear Experimental para GSI-FAIR.
- Espectroscopia en vuelo de hipernúcleos ligeros e hipernúcleos exóticos.
- Espectroscopía de núcleos unidos al mesón.

- I+D en seguimiento y reconstrucción de partículas en física nuclear de altas energías.
- I+D en detectores de micro-vértice.
- I+D en análisis de datos con aprendizaje automático, profundo y modelos fundacionales.
- Nanofabricación y funcionalización de nanoestructuras plasmónicas
- Caracterización de biomoléculas adsorbidas en nanoestructuras mediante espectroscopías asistidas por plasmones
- Detección de contaminantes mediante SERS
- Análisis de materiales biológicos complejos por espectroscopía inetensificada por nanoestructuras
- Análisis de colorantes y pigmentos mediante espectroscopía vibracional convencional y espectroscopías vibracionales intensificadas por superficie
- Cálculos teóricos de espectros vibracionales
- Estudios *in situ* de caracterización de materiales
- Análisis espectroscópico de escritura antigua
- Resonancias plasmónicas y de Mie en nanoestructuras metálicas/dieléctricas (nanoantenas).
- Metasuperficies con materiales dieléctricos de alto-índice: estados ligados en el continuo.
- Plasmónica topológica.
- Comportamiento físico a nano-escalas.
- Estructura y dinámica microscópica de materia condensada desordenada.

TÉCNICAS UTILIZADAS:

- Física Teórica y Matemática.
- Simulación Numérica.
- Métodos computacionales.
- Desintegración beta de núcleos exóticos producidos por el método ISOL en la instalación ISOLDE.
- Reacciones a baja energía en el acelerador de 5MV CMAM@UAM.
- Reacciones a energías relativísticas en el experimento R3B@GSI, FRS@GSI.
- Simulaciones de Montecarlo utilizando el código GEANT4.
- Espectroscopia Gamma.
- Análisis de experimentos en Física Nuclear Experimental.
- Espectroscopía de hipernúcleos en colisiones de iones, con haz de mesones y emulsión nuclear.
- Algoritmos de reconstrucción de trayectorias y vértices.
- Arquitecturas de aprendizaje profundo de Pytorch para trayectoria de partículas, y análisis de datos.
- Dispersión de neutrones.
- Coincidencias ultrarápidas
- Espectroscopía Raman Dispersiva
- Espectroscopía Raman por Transformada de Fourier (FT-Raman)
- Espectroscopía Raman portátil
- Espectroscopía IR por transformada de Fourier (FTIR)
- Reflectancia total atenuada de infrarrojo (ATR)
- Espectroscopía de Fluorescencia
- Fluorescencia de Rayos X (XRF)
- Difracción de Rayos X (DRX)
- Microscopía electrónica de transmisión (TEM)
- Microscopía electrónica de barrido (SEM)

- Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDX)
- Microscopía óptica (MO)
- Microscopía de Campo Oscuro (DFM)
- Análisis térmico (ATD/TG)
- Resonancia Magnética Nuclear (RMN)
- Medidas de Adsorción de gases.

LABOR INVESTIGADORA:

MRR-HISTARS (**IP: Olof Tengblad**, CIE2301005 MICIU-MRR-Next generation EU**)**

El proyecto HISTARS (HIE-ISOLDE Timing Array for Reaction Studies) tiene como objetivo desarrollar un sistema de detección dedicado para medir los tiempos de vida de estados excitados nucleares poblados en reacciones. Estas medidas proporcionan acceso directo a tasas de transición electromagnética, un observable fundamental para los estudios de estructura nuclear. El sistema combina un detector interno de partículas cargadas para el etiquetado de reacciones con una matriz externa de detectores de centelleo $LaBr_3(Ce)$ para medidas de fast timing, aprovechando los avances recientes en tecnología de detectores y en procesado digital de señales. HISTARS ampliará significativamente las capacidades experimentales de HIE-ISOLDE y respaldará un amplio programa de estudios de reacciones con haces radiactivos post-acelerados.

Durante 2025 se han llevado a cabo pruebas de distintos cristales, sensores y digitalizadores. En el marco de HISTARS-IEM-IFIC, se ha avanzado en el diseño del soporte del detector y se ha adquirido el material inventariable correspondiente. Los cristales han sido recibidos y abonados, y los tubos fotomultiplicadores (PMT) están solicitados, con entrega prevista para enero de 2026. Paralelamente, se está realizando un estudio de mercado para la electrónica asociada: digitalizadores, fuentes de alta tensión, sistema de adquisición de datos (DAQ) y cableado.

ASAP-CM Estrategias Avanzadas y Nuevos Enfoques para ProntoterapiaIP: OLOF TENGBLAD, P2022-BMD-7434 -BIOMEDICINA 2022 COMUNIDAD MADRID (María José García Borge, Amanda Nerio, Olof Tengblad,)

En el marco del proyecto, destaca en primer lugar la labor de Amanda Nerio, estudiante de doctorado dedicada al 100% a estas actividades. Su trabajo se centra en el análisis de datos y en la realización de simulaciones para la reconstrucción de imágenes a partir de irradiaciones de muestras con protones

Asimismo, se han desarrollado tareas relacionadas con la optimización y la puesta en marcha de la nueva fuente de iones del Centro de Microanálisis de Materiales (CMAM), que permite obtener haces pulsados con frecuencias entre 15.625 kHz y 4 MHz. Tras su instalación, se realizaron pruebas de aceptación en las líneas de haz NUC-30 y NUC-45.

Como parte de estas actividades, a cargo de Ángel Perea Martínez, se diseñó y construyó un porta-blancos automatizado que permite utilizar distintos blancos en tiempo real mediante control por ordenador.

El 3 de diciembre de 2024 se llevó a cabo la primera prueba conjunta entre el CMAM, el Instituto de Estructura de la Materia del CSIC (IEM-CSIC), el Grupo de Física Nuclear de la Universidad Complutense de Madrid (GFN-UCM) y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). En esta prueba inicial se estudió la optimización de los parámetros de pulsación del haz en la línea NUC30 mediante la reacción $^{63,65}Cu(p,n\gamma)^{63,65}Zn$.

Durante febrero de 2025, se continuó con la optimización de los parámetros de pulsación para haces de protones y partículas alfa en la línea NUC45, empleando las reacciones ^{63,65}Cu(p,nγ)^{63,65}Zn, ^{27}Al(α,α'γ)^{27}Al, ^{27}Al(α,nγ)^{30}P, ^{27}Al(α,γ)^{31}P y ^{27}Al(α,pγ)^{30}Si. Estas pruebas fueron documentadas y parte del trabajo realizado se presentó como parte del Trabajo de Fin de Grado de Pedro Viñals Muñoz.

MRR-ISRS-SPAIN (IP: Teresa Kurtukian Nieto, CIE2301005 MICIN-MRR-Next generation EU)

Diseño de un prototipo para el ISRS (ISOLDE Recoil Separator), un novedoso separador magnético de alta resolución que se instalará en HIE-ISOLDE, la instalación de haces radiactivos de alta energía de CERN.

El ISRS consiste en un anillo de almacenamiento que permite la identificación de la masa de fragmentos utilizando la dinámica de haces de Gradiente Alternante de Campo Fijo (FFAG) y solenoides superconductores multifuncionales que desvían el haz sin un núcleo de hierro. Los solenoides son del tipo CCT (Canted Cosine Theta), cuya bobina está inclinada respecto al eje de circulación del haz y genera los componentes multipolares del campo magnético necesarios para optimizar el transporte del haz. Los solenoides se instalan en criostatos adaptados a la circulación del haz de iones. El análisis de los fragmentos de reacción se realiza acoplando el anillo de almacenamiento a un empaquetador de iones multiharmónicos (buncher) y a un plano focal que identifica la energía y la carga de los fragmentos de reacción.

Nucleosísntesis estelar en fases avanzadas de combustión y escenarios explosivos: combustión de oxígeno, núcleos cosmogénicos, nucleosíntesis más allá del hierro. (IP: Teresa Kurtukian Nieto y Luis Acosta, MCIU-AEI- PID2023-147569NB-C21)

Estudio de propiedades fundamentales de los núcleos atómicos y reacciones nucleares que permitan obtener datos de interés para la nucleosíntesis estelar. Estudiamos la nucleosíntesis no explosiva mediante reacciones de fusión dentro del núcleo de las estrellas, así como la nucleosíntesis explosiva, como el proceso intermedio de captura de neutrones o proceso i, explosiones de supernova de colapso del núcleo, o fusiones de estrellas de neutrones donde tiene lugar principalmente el proceso rápido de captura de neutrones o proceso r.

En particular, nuestro objetivo es estudiar el caso de la reacción de fusión 16O+16O, mediciones directas e indirectas de los núcleos cosmogénicos, 26Al y 10Be, medición de velocidades de reacción termonuclear (p,gamma) para la producción de 44Ti en explosiones de supernova tipo II, así como la nucleosíntesis de elementos más pesados que el hierro, incluidas las semillas del proceso r, el caso 6He, el primer (N~50) y el último (N~126) punto de espera, y los potenciales ópticos para el proceso p astrofísico.

Estudio de estados monopartícula en núcleos de la capa fp mediante la reacción de transferencia ^{50}Ca(d, p)^{51}Ca en RIBF-RIKEN (PID2023-150056NB-C42 y PID2020-118265GB-C41, estudiante de doctorado Carlos Ferrera González, Andrea Jungclaus)

El experimento SHARAQ12 se llevó a cabo en la instalación RIBF de RIKEN (Wako, Japón) en diciembre de 2022 y mayo de 2024, con el objetivo de estudiar la estructura monopartícula del ^{51}Ca a través de la reacción de transferencia ^{50}Ca(d, p)^{51}Ca.

La separación de partículas y la identificación del haz incidente producido en RIBF se realizó con el separador BigRIPS en combinación con la línea de haz OEDO, para luego ser conducido a un blanco secundario de CD_2 donde se produce la reacción de interés. Los productos pesados

fueron finalmente identificados y detenidos en el espectrómetro SHARAQ, situado tras el blanco de reacción. A lo largo de la línea de haz, un conjunto de detectores que incluyen un diamante CVD, varios detectores SR-PPAC y una cámara de ionización segmentada proporcionaron información evento por evento sobre el tiempo, la posición y la pérdida de energía. Esto permitió una monitorización del haz basado en la relación masa-carga y el número atómico de los iones individuales. Las principales condiciones experimentales se mantuvieron en su mayoría constantes entre las campañas de 2022 y 2024. Sin embargo, las mejoras clave en esta última incluyeron un aumento en el espesor del blanco (de 260 μg/cm² a 644 μg/cm²) y una mejor transmisión del haz, contribuyendo ambos positivamente al rendimiento experimental.

Alrededor del blanco de CD_2, dentro de la cámara de reacción, se empleó el conjunto de detectores de silicio segmentados TINA2 para medir la energía y los ángulos de emisión de los protones liberados en la reacción de transferencia de un neutrón. La combinación de la información obtenida de TiNA2 con los detectores de la línea de haz permitió la identificación inequívoca de la reacción de transferencia $^{50}Ca(d, p)^{51}Ca$. A partir de estos datos, se reconstruyó un espectro de energía de excitación que reveló varios estados espectroscópicos cuyas distribuciones angulares fueron posteriormente extraídas.

Este análisis permitió determinar las asignaciones de espín-paridad para los estados que exhiben fuerza monopartícula en el ^{51}Ca, así como la extracción de factores espectroscópicos dentro de la región nuclear de la capa fp del modelo de capas. Estos hallazgos amplían el conocimiento actual sobre la parte de la cadena isotópica del calcio rica en neutrones, cumpliendo el objetivo principal del estudio. Los resultados de este proyecto se resumieron en un manuscrito enviado a la revista "Physical Review C" en noviembre de 2025.

EXPERIMENTOS NP1912-RIBF193, NP1912-RIBF189: Espectroscopía gamma en vuelo del ^{136}Te a energías relativistas con el espectrómetro HiCARI en el laboratorio RIBF (PID2023-150056NB-C42, PhD student Jaime Acosta, Dr. Andrea Jungclaus)

Durante el otoño de 2020 y la primavera de 2021 se realizó una serie de experimentos de espectroscopía gamma en vuelo empleando el array de detectores de germanio hiperpuro (HPGe) HiCARI en el laboratorio RIBF en Japón. Mediante la fragmentación de un haz de 238U a una energía de 345 MeV/u sobre un blanco de Be se produjo un haz "cóctel" relativista compuesto por distintas especies nucleares, siendo transportado a través del espectrómetro BigRIPS. Se colocó un blanco secundario a la salida de BigRIPS con el fin de inducir diversas reacciones (reacciones de "knockout", excitación de Coulomb…) dejando los núcleos del haz en estados excitados. Los rayos gamma emitidos en la desintegración de estos estados al estado fundamental fueron detectados en el espectrómetro HiCARI en coincidencia con los iones salientes del blanco, obteniéndose espectros de energía tras una corrección Doppler, de los cuales pudieron ser extraídas energías de transición, vidas medias de los estados excitados y secciones eficaces de excitación.

En junio de 2025 se publicó un artículo en la revista Physical Review C (https://doi.org/10.1103/mysq-byyv) que contenía una descripción del análisis de datos junto con unos primeros resultados. Posteriormente, se realizó un análisis exhaustivo del 136Te poblado tanto a partir del knockout de un neutrón en el 137Te, como en dispersión inelástica en blancos de Au y Be. Los resultados fueron incluidos en la tesis doctoral del estudiante Jaime Acosta, y un nuevo artículo al respecto se encuentra actualmente en proceso. El principal resultado de este análisis fue la medida de nuevas transiciones en el 136Te y su colocación en el esquema de niveles, incluyendo la correspondiente asignación de espín y paridad, además de la medida de las vidas medias de algunos estados excitados gracias a un análisis de forma de línea. Los resultados

alcanzados no solo expanden nuestro conocimiento acerca del 136Te, un núcleo relevante en los estudios de estructura nuclear bajo la perspectiva del modelo de capas, sino que además resaltan el gran potencial de los detectores gamma de alta resolución en los experimentos de espectroscopía en vuelo.

Explorando la colectividad cuadrupolar y octupolar más allá del ^{78}Ni mediante medidas de B(Eλ) de ^{86,88,90}Se en RIBF-RIKEN (PID2023-150056NB-C42, estudiante de doctorado Carlos Ferrera González, Andrea Jungclaus)

El experimento de espectroscopía gamma en haz NP1912-RIBF190 se llevó a cabo en noviembre de 2020 en la instalación RIBF de RIKEN (Wako, Japón) como parte del proyecto HiCARI, una configuración temporal de detectores de HPGe. Tres haces secundarios combinados, producidos en RIBF y centrados entorno a ^{85}As, ^{87}As y ^{90}Se respectivamente en el espectrómetro BigRIPS, se dirigieron a energías relativistas contra dos blancos secundarios (bismuto y berilio). Estas interacciones generaron una amplia gama de canales de reacción nuclear, que fueron identificados utilizando el espectrómetro ZeroDegree situado tras la cámara de reacción.

Hasta el momento, el análisis de datos se ha centrado en las excitaciones inelásticas de los núcleos par-par del selenio, con el objetivo de extraer probabilidades de transición reducidas B(Eλ) para los correspondientes estados nucleares excitados. Se han empleado dos métodos basados en el análisis de espectros gamma corregidos por corrimiento Doppler: el primero implica una extracción directa a partir de la correspondiente medida de la vida media y la energía de los estados excitados, mientras que el segundo se basa en la determinación de secciones eficaces angulares para realizar un análisis de excitación coulombiana.

IS633: Desintegración β^+/EC como sonda del doblete de isospín 2^+ de ^{8}Be (María José García Borge, Olof Tengblad, Daniel Fernández Ruiz)

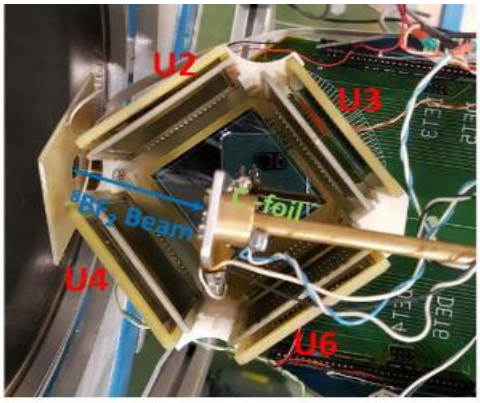
La existencia de un doblete de isospín 2^+ en el ^{8}Be, compuesto por los estados excitados 2^+ de 16,6 MeV y 16,9 MeV, se ha observado experimentalmente desde la década de 1950. Un fenómeno curioso que se observó durante estos experimentos es que la tasa de alimentación a estos estados mediante reacciones no se corresponde con estados de isospín (T) puro. En los años 60, Marion propuso que ambos estados tienen una configuración de partícula independiente acoplada a un núcleo compacto, 16,6 MeV (^{7}Li + p) y 16,9 MeV (^{7}Be + n), respectivamente, y debido a las reglas de acoplamiento de isospín, un nucleón acoplado a ^{7}Li o ^{7}Be no puede formar un estado de isospín bien definido. Por tanto, ambos estados contienen componentes T = 1 y T = 0.

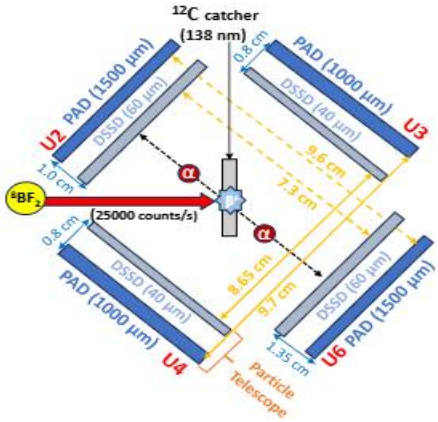
F. Barker desarrolló esta idea y añadió la premisa de que ambos niveles están tan próximos en energía y tan aislados del resto que solo se influencian el uno al otro, y los otros niveles no ejercen influencia. En base a esto, propuso un modelo simple del doblete por el cual la función de onda de cada estado se puede descomponer en una componente T = 0 y una componente T = 1: $|16.6\rangle = \alpha^2\,|T=0\rangle + \beta^2\,|T=1\rangle \quad |16.9\rangle = \beta^2\,|T=0\rangle - \alpha^2\,|T=1\rangle$ donde α y β son los coeficientes de mezcla. En base a un análisis posterior, Barker propuso que estos coeficientes son idénticos, lo cual indicaría que la mezcla de ambas componentes es total (o, de forma equivalente, hay una contribución idéntica de T = 0 y T = 1).

Experimentos posteriores parecen indicar que el modelo es correcto, sin embargo, no hay una conclusión definitiva sobre los coeficientes de mezcla. Un factor común en estos experimentos es que han usado reacciones para poblar los estados. Por el contrario, la desintegración β no se

ha usado como sonda. La gran ventaja de la desintegración es que tiene dos posibles modos de decaimiento: Fermi (que no cambia el isospín) y Gamow–Teller (que cambia el isospín). Para el caso concreto de la desintegración del ^{8}B a ^{8}Be, el proceso Fermi solo puede ocurrir si hay componentes T = 1, y el proceso Gamow–Teller estará concentrado en la componente T = 0 (lo cual está respaldado por cálculos teóricos en el Shell Model). En este caso, conocer las ratios de Fermi y Gamow–Teller es equivalente a conocer la mezcla de estados.

La mayor limitación del decaimiento β es que la rama de desintegración dominante es aquella que va al estado excitado a 3 MeV, que representa casi un 88 % de la intensidad beta. Solo un 10 % va al doblete. Nuestro grupo, junto con nuestros colaboradores del grupo MAGISOL, realizó el experimento IS633 en la estación IDS dentro del laboratorio CERN/ISOLDE con el objetivo de investigar el doblete de isospín 2^{+} del ^{8}Be mediante la desintegración β^{+}/EC del ^{8}B. Un haz molecular de $^{8}BF_2$ a 50 keV se implantó en una lámina de carbono de 30 mg/cm². Al desintegrarse el núcleo del ^{8}B (por captura electrónica (EC) o desintegración β^{+}), se pueblan los estados excitados del ^{8}Be. Como todos los estados excitados del ^{8}Be son no ligados, estos se rompen en dos partículas α o en un protón y ^{7}Li, dependiendo del nivel alimentado. Este proceso ocurre mucho más rápido que la desintegración gamma y, por tanto, toda la información de los niveles queda contenida en el par de partículas αα. Se empleó un sistema de cuatro telescopios de partículas (DSSDs de 60 µm o 40 µm respaldados por 1500 µm) para detectar los fragmentos de la ruptura, lo que permitió realizar una espectroscopía detallada.

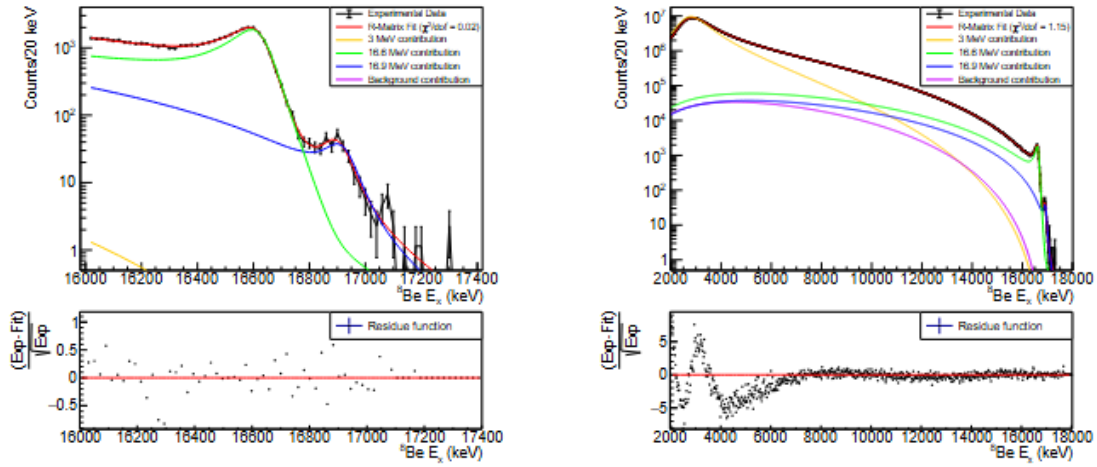




<u>Derecha</u>: Esquema del experimento IS633: las moléculas de $^{8}BF_2$ se implantan en una lámina de carbono de 31 µg/cm², el ^{8}B se desintegra en ^{8}Be, que a su vez se rompe emitiendo dos partículas α detectadas a través de un sistema de cuatro telescopios de partículas. <u>Izquierda</u>: Montaje final con el que se realizó el experimento.

La estadística del espectro de excitación que se obtuvo de este experimento es dos órdenes de magnitud mayor que la del experimento previo, lo cual permitió observar con nitidez por primera vez el doblete de isospín. El espectro de intensidad beta obtenido confirma que el doblete (o por lo menos las intensidades Fermi y Gamow–Teller que lo alimentan) es independiente de otros niveles, lo cual es una confirmación directa del modelo de Barker.

Para obtener los coeficientes de mezcla, hemos realizado un ajuste de Matriz-R. El ajuste originalmente usaba solo tres resonancias que se correspondían con los niveles de 3, 16,6 y 16,9 MeV. No obstante, para lograr un ajuste satisfactorio, se tuvo que añadir un nivel adicional de fondo (BKG) que modela la influencia de niveles de mayor energía. Con estos niveles se logró un ajuste satisfactorio que nos dio un coeficiente de mezcla de $\alpha^2/\beta^2 = 1{,}47$, mayor que los resultados de Barker.



<u>Izquierda:</u> Ajuste de Matriz-R a la región del espectro de excitación en torno al doblete de isospín. <u>Derecha:</u> Ajuste al espectro de excitación completo. En ambos casos hemos representado todas las resonancias. Abajo se han representado las funciones residuo que indican la calidad del ajuste.

Como respaldo de los resultados de Matriz-R, los datos se han reanalizado usando el método del β -recoil, en el cual extraemos información del decaimiento beta mediante las pequeñas asimetrías en la distribución de la energía entre las dos partículas finales. Aunque menos preciso a nivel cuantitativo, este método nos permite ver cómo las componentes Fermi y Gamow–Teller evolucionan de forma cualitativa. Los resultados de este método indican que el proceso Gamow–Teller domina todo el espectro fuera del doblete. Dentro del doblete, la componente Fermi aumenta en intensidad rápidamente, aunque el Gamow–Teller sigue siendo ligeramente mayor, confirmando nuestros resultados de Matriz-R.

En el años anteriores, nuestros resultados fueron presentados en las siguientes conferencias: PROCON2023 (25-30 de junio de 2023); XXXVII Mazurian Lakes Conference on Physics (3-9 de septiembre de 2023); ISOLDE Workshop and Users meeting (29 de noviembre - 1 de diciembre de 2023) y International Conference on Nuclear Structure and Dynamics NSD2024 (27-31 de mayo de 2024). Un artículo basado en la presentación de la Mazurian Lakes Conference fue incluido como publicación en Acta Polonica B. Este año hemos preparado un artículo para Physical Review Letters (PRL), que se encuentra actualmente en proceso de revisión.

Estudiando la estructura de ^{11}Li a través de reacciones de transferencia (Olof Tengblad, Ángel Perea, María José García Borge, Daniel Fernández Ruiz, Sebastian Gómez García)

El núcleo ^{11}Li es el primer núcleo que fue clasificado como un "núcleo halo", un tipo de núcleo, típicamente ligero y cercano a la línea de goteo, que exhibe una extensión espacial inusualmente grande, desviándose de la fórmula estándar para el radio $r = r_0 A^{1/3}$. A pesar de ser un núcleo muy estudiado, no existe ningún consenso sobre los estados excitados del ^{11}Li. Una limitación de estos experimentos es que intentan poblar los estados excitados del ^{11}Li mediante una excitación desde el estado fundamental. El problema de esta aproximación es que el estado fundamental es bastante complicado y su función de onda tiene contribuciones de onda s, p y d. Por tanto, hay muchos canales de reacción distintos de la excitación al primer estado excitado que ensucian los datos.

Nuestro grupo propone un nuevo enfoque. En lugar de los métodos tradicionales, buscamos poblar directamente los estados excitados de ^{11}Li utilizando la reacción de transferencia de dos

neutrones ^{9}Li(t,p)^{11}Li. Este enfoque aprovecha la estructura más simple de ^{9}Li, evitando las complicaciones asociadas con la compleja estructura del estado fundamental de ^{11}Li y ofrece una vía más directa para investigar su espectro de excitación. Un problema con este método es que el tritio es inestable y tiene una vida media corta, por lo que no se puede fabricar un blanco convencional. Esto nos empuja a realizar la reacción en cinemática inversa, es decir, usar el ^{9}Li como proyectil sobre un blanco de tritio.

El experimento IS690 fue realizado por nuestro grupo en la línea XT03 (SEC) del postacelerador HIE-ISOLDE en la instalación ISOLDE-CERN, con el propósito de clarificar la estructura excitada de ^{11}Li mediante la población directa de los estados resonantes a través de la reacción ^{9}Li(t,p)^{11}Li. Un haz de ^{9}Li, postacelerado a 7 MeV/u en el acelerador HIE-ISOLDE, impacta sobre un blanco de tritio (^{3}H absorbido en una lámina de Ti de 1 µm con una proporción de 0,47/1). Los productos resultantes de las reacciones son detectados mediante un sistema de detectores de partículas basados en silicio. La configuración de detectores está formada por los siguientes elementos:

• Cinco telescopios de partículas formados por dos detectores DSSDs W1-60 mm delante y por PADs de silicio MSX25-1500 mm detrás, dispuestos en un pentágono que cubre ángulos desde 37° hasta 84°.

• Dos detectores circulares de silicio (CDs), cada uno S3-1000 mm, formando un telescopio y cubriendo la dirección hacia adelante desde 6° hasta 32°.

• Un CD adicional (S5-300 mm) que cubre la dirección hacia atrás desde 100° hasta 145°.

• Entre el S5 y el pentágono hemos colocado un soporte para cinco blancos que podemos cambiar con una palanca externa. Cada blanco se utiliza para medir distintos canales. Los blancos son: un blanco de oro para medir scattering elástico, el blanco de tritio ya mencionado, un blanco vacío usado para dejar pasar el haz y hacer medidas de intensidad, un blanco de titanio con las mismas propiedades que el blanco de tritio usado para medir canales de fondo, y un blanco de plástico deuterado usado para medir el canal ^{9}Li(d,p)^{10}Li.

El análisis de los datos experimentales está en curso. De momento, hemos podido observar el canal de scattering de deuterones en los datos del blanco de deuterio con bastante nitidez y estamos trabajando con los datos del blanco de tritio. El mayor problema es que el canal (t,p) tiene una sección eficaz muy pequeña y, por tanto, se requiere mucha estadística para observarlo con claridad.

Nuestros resultados preliminares se presentaron el año pasado como póster en la conferencia XVI CPAN DAYS, donde ganamos el premio al mejor póster. Este año presentamos los resultados en la conferencia internacional de física nuclear (INPC) en Corea del Sur. Nuestra presentación es la base de un proceeding que se publicará en breve. También se presentaron resultados preliminares como póster en la conferencia IReNA-CeNAM 2025: Frontiers in Nuclear Astrophysics Meeting en la Universidad de Ohio en mayo 2025.

IS690-B: Explorando las resonancias del ^{13}Be mediante reacciones de transferencia (María José García Borge, Olof Tengblad, Sebastián Gómez García)

El experimento IS690-B es la continuación de los experimentos realizados en ISOLDE-CERN en la línea XT03 (SEC) del postacelerador HIE-ISOLDE con el fin de estudiar reacciones de núcleos ligeros ricos en neutrones. La toma de datos se llevó a cabo con éxito en octubre de 2025. El objetivo principal de esta nueva campaña es el estudio de la estructura excitada del núcleo no ligado ^{13}Be.El núcleo resonante ^{13}Be es fundamental para entender la estrucutra del núcleo con halo de dos neutrones del ^{14}Be, cuyo núcleo además está deformado. La estructura excitada del

^{13}Be se ha estudiado usando técnicas de mas invariante y déficit de masa en experimetnos realizados en RIKEN y en GSI a energías relativistas. De nuevo, como ocurría en el primer experimento de la campaña con el núcleo de ^{11}Li, nos encontramos que las propiedades de los estados excitados de ^{13}Be obtenidos a partir de estos dos métodos difieren. Siguiendo la técnica del experimento anterior, el objetivo es la transferencia de 2 neutrones desde ^{11}Be mediante reacciones (t,p).

Se han utilizado el mismo tipo de detectores que en el experimento IS690 con el añadido de un conjunto de centelleadores de nueva generación tipo GAGG(Ce) [$Gd_2Al_2Ga_3O_{12}$:Ce] con el fin de medir las desexcitaciones nucleares. Se utilizaron también los mismos blancos a excepción del blanco de oro, sustituido por un blanco de aluminio con un agujero para comprobar la alineación del haz. Además se utilizó un haz estable de ^{22}Ne para comprobar el buen funcionamiento del sistema de adquisición de datos.

El análisis en curso ha sido capaz de identificar reacciones ^{11}Be(d,d)^{11}Be*,^{11}Be(d,p)^{12}Be*,^{11}Be(p,p)^{11}Be* y ^{11}Be(d,t)^{10}Be*con el blanco deuterado CD_2 (se han observado reacciones similares con el haz estable de ^{22}Ne). Con respecto al blanco de interés, el blanco de tritio, hemos sido capaces de observar el canal ^{11}Be(t,t)^{11}Be y parece haber indicios sobre la producción de ^{11}Be(t,p)^{13}Be. Parte de estos resultados fueron presentados con una ponencia en la conferencia XVII CPAN DAYS en Valencia en noviembre 2025.

WASA@FRS: DeepHyp & DeepHyp 5º - Técnicas de deep learning para el estudio de hipernúcleos exóticos (CAM-Talento ref: 2019-T1/TIC-13194 & 2023-5A/TIC-28925) (C. Rappold, S. Escrig López)

En el marco de la colaboración WASA@FRS, se llevaron a cabo con éxito campañas experimentales durante el primer trimestre de 2022, culminando el experimento S447 sobre espectroscopia hipernuclear y el experimento S490 sobre núcleos eta-prima en las instalaciones de GSI-FAIR en Alemania. En 2019, la sección central del detector WASA fue transportada a GSI-FAIR. En el experimento S447, el sistema detector central de WASA se combina con el Separador de Fragmentos (FRS) de GSI. Los fragmentos emitidos hacia adelante, producto de la desintegración hipernuclear, son medidos por la segunda mitad del FRS (S2-S4) con una resolución de momento excepcional. Simultáneamente, las partículas ligeras de dicha desintegración son registradas por los detectores WASA. El proyecto DeepHyp se centró inicialmente en la preparación del experimento S447 y ahora se concentra en el análisis de los datos resultantes. Nuevos métodos de análisis, fundamentados en el aprendizaje profundo, aspiran a perfeccionar la espectroscopia hipernuclear. El objetivo primordial es resolver el enigma actual sobre la vida media del hipertritón y corroborar la observación del nnΛ. La preparación del experimento constituyó una parte fundamental del plan del proyecto DeepHyp para 2021. La fase de puesta en marcha tuvo lugar en enero-febrero de 2022, seguida por la toma de datos en marzo de 2022. Se finalizaron las simulaciones Geant4 del aparato experimental realista y se estimaron eficiencias más precisas para el seguimiento de partículas y la reconstrucción de eventos. La óptica iónica de S2-S4 fue optimizada para una alta aceptación de fragmentos, con un poder de resolución previsto de 5200. Se están desarrollando nuevos algoritmos de aprendizaje profundo para la localización de trazas mediante redes neuronales de grafos. Hemos iniciado actividades de I+D para un nuevo detector de microvértices de silicio que permita una estimación precisa del vértice de interacción en colisiones nucleares. El análisis de datos está en curso, con las primeras tareas enfocadas en las calibraciones de los detectores de la configuración completa. La identificación de partículas nos ha permitido observar piones, protones y fragmentos dentro del sistema de detección WASA y del espectrómetro de alta

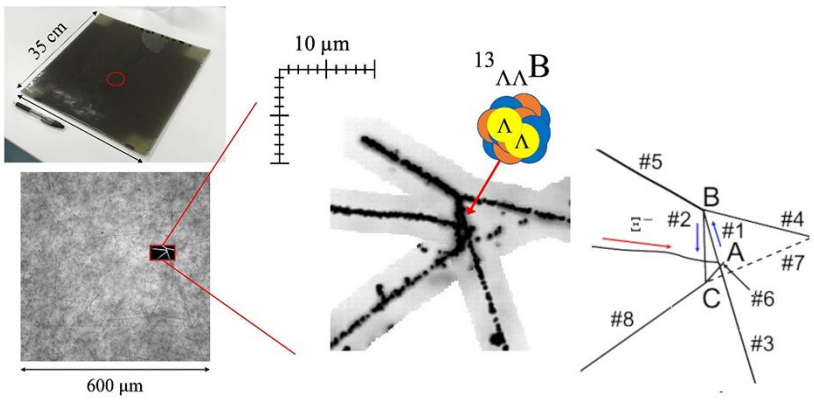
resolución FRS S2-S4. Tras la identificación de partículas y el desarrollo de un modelo de red neuronal de grafos para la reconstrucción de trazas en el sistema detector WASA, obtuvimos los primeros indicios de la producción y observación del hipernúcleo 3ΛH y del hiperón Λ. Las señales se observaron en sus respectivos espectros de masa invariante. La intensidad de las señales era aún débil, por lo que se requerían mejoras adicionales en la discriminación señal-ruido.

Nuestro trabajo de análisis de datos con colaboradores de HENP-RIKEN sobre emulsiones nucleares del experimento J-PARC E07 prosiguió. Para analizar eficientemente una vasta cantidad de datos de imagen, introdujimos una técnica de detección de objetos que utiliza el modelo de aprendizaje profundo Mask R-CNN para detectar hipertritones desintegrados. El análisis en curso ha conducido a la identificación de cientos de topologías de desintegración de 3ΛH y 4ΛH. Tras un exhaustivo trabajo de calibración de la relación entre el alcance de la traza y la energía, hemos reportado mediciones precisas de la energía de enlace de Λ en 3ΛH y 4ΛH. El nuevo desarrollo en inteligencia artificial se orienta ahora hacia el aprendizaje no supervisado para analizar todas las placas de emulsión, segmentando y discriminando las trazas de partículas cargadas a través del volumen completo de las pilas de emulsión.

NewHyp - Nuevos desarrollos basados en técnicas de aprendizaje automático en la búsqueda de señales hipernucleares en las colisiones 6Li-12C y 12C-12C del experimento WASA-FRS HypHI (AEI ref: CNS2022-135768) (C. Rappold)

Las observaciones multimensajero en astrofísica se han vuelto fundamentales para acotar la ecuación de estado nuclear y las propiedades de las estrellas de neutrones. Las propiedades estelares de una estrella de neutrones están determinadas en gran medida por las interacciones bariónicas. Las restricciones derivadas de observaciones experimentales con iones pesados muestran una notable consistencia con las mediciones astrofísicas y proporcionan información complementaria a densidades intermedias. En este contexto, se espera que la producción de hipernúcleos exóticos en reacciones inducidas por iones añada observables precisos a densidades superiores a las alcanzadas en experimentos previos.

El proyecto aplica técnicas de aprendizaje automático y profundo para estudiar los hipernúcleos producidos en colisiones nucleares de 6Li+12C y 12C+12C a 2 GeV/u en el experimento WASA-FRS. El análisis de datos actual evidencia la producción de hipernúcleos en reacciones inducidas por iones. Sin embargo, la intensidad de la señal resultó insuficiente para determinar una vida media hipernuclear. En el marco del proyecto, se desarrollaron métodos de aprendizaje automático para optimizar el análisis de datos y su relación señal-ruido. Mejoramos esta relación de 1:5000 a 2.5:1, lo que permite una estimación más precisa de las vidas medias de los hipernúcleos 3ΛH y 4ΛH. Este resultado fue corroborado mediante la reconstrucción de la señal del hiperón Λ y demuestra que ahora disponemos de una estimación más precisa del observable de vida media que en nuestro experimento de 2009. Se realizó otro desarrollo en aprendizaje automático para la compresión de datos de formas de onda digitalizadas de las amplitudes de señal de los detectores. Se logró una compresión y decodificación eficaces con un modelo de autoencoder, y se prevé su futura implementación en FPGAs. Además, la colaboración con RIKEN en el análisis de emulsiones nucleares del experimento E07 en J-PARC condujo al descubrimiento e identificación inequívocos del hipernúcleo 13ΛΛB. Se trata del segundo hipernúcleo identificado de forma única en la historia, como se muestra en la figura inferior. Este descubrimiento fue posible gracias a nuestras técnicas de inteligencia artificial para la búsqueda de topologías de vértices específicas en el vasto conjunto de datos de imágenes de emulsiones nucleares.



IA para la búsqueda de sucesos de hipernucleos (Programa Momentum ref: MMT24-IEM-2) (C. Rappold, L. Acosta Sánchez, D. Calonge González)

El objetivo principal de esta investigación es hacer avanzar el estudio de los sucesos hipernucleares en reacciones inducidas por iones y en emulsiones nucleares mediante la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA). El trabajo se centrará en dos conjuntos de datos experimentales clave: el experimento WASA-FRS en el GSI-FAIR en Alemania y el experimento de emulsión E07 en el JPARC en Japón. Se desarrollarán novedosas técnicas de aprendizaje profundo para analizar colisiones nucleares a 2 GeV/u y los datos de la emulsión E07, mejorando así la detección de señales hipernucleares. Adicionalmente, se emplearán métodos innovadores de IA para experimentos de espectroscopia hipernuclear con el fin de potenciar la separación de las contribuciones de fondo de las señales hipernucleares durante la reconstrucción de la masa invariante y el análisis de datos de emulsión. El proyecto también busca refinar la determinación de los puntos de interacción en los sucesos de colisión. Se ha completado el desarrollo de un clasificador de aprendizaje automático para mejorar la razón señal-ruido. Tras el entrenamiento y la evaluación de 14 métodos de aprendizaje automático, se identificó un Árbol de Decisión Potenciado (BDT) basado en XGBoost que proporciona una robusta separación de la señal hipernuclear de los sucesos de fondo, produciendo una mejora superior a 12000. El resultado fue verificado meticulosamente para asegurar que no se introdujeran sesgos en la selección de la señal y que el clasificador genuinamente realzara la intensidad de esta. El trabajo inicial sobre la determinación del vértice primario mediante aprendizaje profundo fue exitoso. Los modelos iniciales de aprendizaje profundo no resultaron suficientemente eficientes debido a la representación dispersa de los patrones de impacto en el detector. Se desarrolló una nueva arquitectura basada en capas de incrustación y un transformador, con la que se alcanzó una precisión en la posición del vértice de 450 µm con una eficiencia del 100%. A continuación, la investigación se propone mejorar la eficiencia de observación para diversos hipernúcleos, así como para hipernúcleos de doble extrañeza potencialmente desconocidos, aprovechando modelos de segmentación y redes neuronales de grafos. El objetivo general es abordar cuestiones no resueltas relativas a la vida media y la energía de enlace del hipertritón. Además, la investigación busca demostrar que estos enfoques experimentales de vanguardia allanarán el camino para la primera observación de hipernúcleos ricos en protones.

I+D en electrónica digital para el sistema de Timestamp y Convertidor Analógico-Digital con chips FPGA (CAM: Programa INVESTIG2023 ref: INV23-IEM-M2-14) (C. Rappold, L. Pardi)

En nuestra investigación en física nuclear experimental, estamos construyendo un sistema detector de microvértices que utiliza sensores de silicio de microbandas acoplados a electrónica frontal y de fondo. El sistema de detección tiene como objetivo medir el punto de interacción de colisiones núcleo-núcleo a alta energía. El desarrollo actual se está llevando a cabo conjuntamente con el Sistema ALIBAVA y el IFIC-CSIC. Hemos trabajado en la mejora de la electrónica digital del detector. Desarrollamos un nuevo código FPGA para la electrónica de fondo con el fin de aumentar la capacidad de la tasa de datos, integrar la marca de tiempo White Rabbit e implementar una placa de disparo local que sincroniza la adquisición de datos en las cuatro estaciones de seguimiento de silicio. Adicionalmente, mejoramos la adquisición sincronizada de datos para las tres placas de fondo para asegurar una integración fluida con el sistema de adquisición de datos MBS en GSI-FAIR. Para este propósito, colaboramos con el Departamento de Electrónica Experimental de GSI-FAIR, quienes proporcionaron el código necesario para incluir en nuestro software de adquisición de datos. Esto permite la inclusión del nuevo conjunto de detectores en el DAQ de GSI-FAIR para futuros experimentos de colaboración WASA-FRS en FRS y SuperFRS.

Estados resonantes relevantes del ^{11}Be en el estudio de la desintegración β-p+ del ^{11}Be: D. Movilla Quintero (PhD student), B. Olaizola (JAEPR23038)

Existe un gran interes en la estructura de los estados no ligados de núcleos ligeros ricos en neutrones, y específicamente, los estados cercanos a la línea de emisión de partículas ligeras. Además, se ha sugerido que la emisión β^- retardada de protones (β^-p) es un proceso energéticamente posible en algunos núcleos ricos en neutrones. Aunque esta desintegración parece contra intuitiva, está permitida para núcleos en los que su energía de separación de neutrones es Sn< 782 keV. Como ejemplo, el ^{11}Be, que es un núcleo halo, satisface esta condición debido a que Sn= 501.6 keV. Por lo tanto, el proceso de interés en este caso es $^{11}\text{Be} \rightarrow {}^{10}\text{Be} + p+ + \beta-$.

Recientes experimentos sugieren que este proceso es secuencial via una resonancia estrecha en el ^{11}B, que podría explicar por qué los cálculos teóricos todavía no concuerdan con lo observado experimentalmente. Por lo tanto, no está claro el mecanismo subyacente real de esta desintegración ni qué modelo teórico lo describe. Los estados resonantes cercanos a los umbrales podrían estar influidos por las líneas de emisión de neutrones y protones. Los cálculos teóricos toman los valores de energía, espín-paridad, anchura y anchuras parciales de los estados cercanos al umbral de emisión de protones. De hecho, se necesitan experimentos adicionales para evaluar las características del estado resonante propuesto en ^{11}Be y los más cercanos a él. Además, analizar el espectro de emisión de neutrones en ^{11}Be es relevante debido a su comportamiento como sistema cuántico abierto por encima de los umbrales de partículas ligeras.

Un experimento ^{10}Be(d,p) fue realizado en HELIOS (Argonne) para mirar en profundidad los estados intermedios de ^{11}Be, especialmente los cercanos a las líneas de emisión de partículas ligeras. Actualmente los canales de emisión de alpha, neutron y protón están siendo analizados.

S1723: Coexistencia de forma en núcleos de hierro par-par ricos en neutrones via correlaciones angulares (Bruno Olaizola Mampaso, Daniel Movilla Quintero) (JAEPR23038)

Una de las principales desviaciones descubiertas en los últimos años más allá del modelo de capas de partículas independientes es la existencia de islas de inversión. Se ha demostrado experimentalmente que tienden a aparecer en cierres de capas en números mágicos. Además, bastantes estudios han comenzado a investigar la región "no mágica" de N=40, que representa el límite entre la capa pf de paridad negativa y la capa sdg de paridad positiva.

Las mediciones de los valores B(E2) y E(2+) en la región muestran un aumento de la colectividad a través del hueco de la capa N=40, con la clara excepción del 68Ni, y se han identificado coexistencia de forma y por tanto, evidencias de deformación en la zona, lo que, combinado con los cálculos teóricos, sugiere niveles de inversión.

Este proyecto investiga los núcleos $^{62\text{-}64\text{-}66}$Fe con el fin de obtener información relevante sobre la paridad de espín y la energía de los estados 0_2^+, lo que induce directamente la posibilidad de coexistencia de formas debido a estados energéticos favorables por efectos de colectividad. Así, se llevó a cabo el experimento S1723-2022 en GRIFFIN (TRIUMF) con el objetivo de analizar estos núcleos con cálculos de correlaciones angulares de alta precisión, obteniendo resultados fiables sobre la paridad de espín de los niveles excitados en estos núcleos, que pueden ofrecer información adicional sobre este tema mediante bandas rotacionales / deformación nuclear

IS709: Exploring shape coexistence across N=60 in ^{100}Sr using IDS (B. Olaizola, J. Sánchez Prieto) (PIE-20235AT018)

La región alrededor de N≈**60** con **Z≤40** ha generado un gran interés, ya que presenta la **transición de forma más abrupta** conocida hasta la fecha en la carta de nucleidos, al pasar de **N=58 a N=60**. Esta transición está estrechamente relacionada con la **coexistencia de forma**, un fenómeno en el que dos o más estados con diferentes formas intrínsecas coexisten dentro del mismo núcleo a baja energía de excitación y en un rango estrecho de energía. En particular, el cambio brusco surge de la inversión de dos configuraciones cuánticas nucleares distintas, cada una asociada a diferentes formas nucleares. Estas variaciones se interpretan como **transiciones cuánticas de fase**, lo que indica una transformación fundamental en las propiedades nucleares. Esta transición de fase subraya la importancia de las deformaciones nucleares y la variedad de formas presentes en núcleos ricos en neutrones como el estroncio.

El experimento **IS709** en la **ISOLDE Decay Station (IDS)** tiene como objetivo investigar el fenómeno de la coexistencia de forma en la región de **N=60** en isótopos de **Sr**, con especial énfasis en **Sr**. Los estados nucleares excitados se poblaron mediante desintegración **β** y **β–n** de haces de **Rb**, y se estudiaron utilizando **13 detectores Clover HPGe** optimizados para medidas de **correlación angular γ–γ**, lo que permite una determinación precisa de las multipolaridades de transición y de las asignaciones de espín. En paralelo, se utilizó el **SPectrometer for Electron DEtection (SPEDE)** para medir electrones de conversión interna, proporcionando acceso directo a las intensidades de transición **E0**, lo que en conjunto permite la identificación de estados excitados $\mathbf{0}^+$.

IS622: Cu decay into neutron-rich Zn isotopes: shell structure approaching 78Ni: B. Olaizola (RYC2021-031494-I)

Este experimento tuvo como objetivo estudiar los isótopos ricos en neutrones de Zn cerca de ^{78}Ni para explorar la evolución de los orbitales de protones y neutrones. Los isótopos ricos en neutrones de Zn, particularmente de A=74 a A=79, son fundamentales para comprender la estructura nuclear de la región, ya que llenan progresivamente la capa $g_{9/2}$. Descubrimientos recientes desafían los conceptos establecidos de números mágicos, sugiriendo potencial para

nueva física en isótopos lejos de la estabilidad, incluyendo fenómenos como la coexistencia de formas.

El proyecto se centra en la desintegración β de isótopos de Cu a Zn, con el objetivo de refinar el esquema de niveles y medir las vidas medias de las transiciones, arrojando así luz sobre la colectividad y la evolución del modelo de capas cerca de N=50. La instalación experimental incluye la Estación de Desintegración de ISOLDE (IDS) con equipos de detección avanzados para mediciones precisas. Los principales objetivos, para los isótopos impares de Zn, es el estudio de estados de partícula independiente, y la resolución de discrepancias en los datos experimentales para los isótopos pares-pares de Zn. Esta investigación es de interés en astrofísica, particularmente en lo que respecta al proceso r en la nucleosíntesis.

Este experimento ya ha generado una gran cantidad de datos que están siendo analizados por varios estudiantes, como demuestran los TFM presentados en años anteriores. Ya ha habido una primera publicación (Olaizola *et al.* Physics Letters B 866 (2025) 139551 2) y varias más se encuentran en avanzado estado de preparación.

S1765 Study of the octupole deformation of n-rich Ba isotopes with GRIFFIN: B. Olaizola, N. Díaz-Marta Pareja (RYC2021-031494-I)

Este experimento buscaba determinar en qué punto la deformación octupolar ("en forma de pera", asimétrica por reflexión) se hace más intensa en los núcleos de bario ricos en neutrones cerca de Z=56 y N≈88–90, una región en la que los modelos discrepan y los datos son escasos (y en la que resultados recientes en Ba ya han puesto en cuestión la teoría). Se poblaron $^{147–152}$ Ba mediante el decaimiento beta de $^{147–152}$ Cs en TRIUMF y se midieron esquemas de niveles, espines/paridades (a través de correlaciones angulares) y, especialmente, las vidas medias de estados bajos 2+ y 3- para cuantificar la colectividad cuadrupolar (B(E2)) y restringir las correlaciones octupolares (y futuros estudios de B(E3)), incluyendo la evolución en núcleos par-par frente a impar-A hacia una posible octupolaridad estática. Una motivación paralela fue mejorar la información sobre neutrones retardados por beta (vidas medias y Pn) para estos isótopos de Cs ricos en neutrones, lo que influye en el modelado del "freeze-out" del proceso r y en los datos de neutrones retardados relevantes para el calor residual en reactores. N. Díaz-Marta Pareja analizó una parte de estos datos como su tesis de máster.

Diseño de nanosensores para detección de contaminantes (Santiago Sánchez Cortés)

El diseño de sensores con nanoestructuras ha seguido siendo uno de los principales objetivos del trabajo experimental de nuestro grupo durante el año 2025. Estos sensores requieren la síntesis de nanoestructuras con propiedades ópticas avanzadas. La interacción de luz de una longitud de onda apropiada con nanopartículas (NPs) conduce a una alta intensificación del campo eléctrico local, que es el principio fundamental en el que se basa la detección molecular mediante Raman y fluorescencia intensificada por nanoestructuras. En los últimos años hemos desarrollado diversos métodos de síntesis de nanopartículas con interesantes aplicaciones en espectroscopía y catálisis. Entre estas nanopartículas se encuentran las nanoestrellas de plata, sistemas éstos que presentan propiedades morfológicas específicas conducentes a altas intensificaciones del campo electromagnético. El uso de estas nanoestrellas se ha generalizado para el diseño de sensores SERS altamente eficaces para la detección de numerosas sustancias de interés medioambiental y biológico, así como pigmentos de interés para el Patrimonio Cultural.

Asimismo, el diseño de nanosensores implica a menudo una modificación de las propiedades físico-químicas de las nanopartículas mediante la funcionalización de las mismas. Esta

funcionalización puede conseguirse mediante autoensamblaje de moléculas orgánicas sobre las nanoestructuras, lo que permite incrementar la sensibilidad y selectividad de las nanoestructuras fabricadas, dando como resultado superficies de alto rendimiento al combinar las propiedades físicas del metal con las propiedades químicas de moléculas orgánicas autoensambladas sobre ellas. Durante el año 2025 se ha continuado con la labor de funcionalización de nanopartículas con macromoléculas ensambladoras. Esta investigación se desarrolló en el marco de la cooperación que nuestro grupo mantiene con investigadores de la Universidad PJ Safarik de Kosice (Eslovaquia) y con la empresa Saftra Photonics. Esta empresa ha licenciado la patente desarrollada por nuestro grupo en la detección de glifosato y otros contaminantes del grupo de los compuestos orgánicos persistentes (organoclorados, compuestos perfluorados, etc).

Una de las líneas que se han desarrollado con más profusión en este último año ha sido el estudio de fenómenos de agregación de nanopartículas dando lugar a efectos plasmónicos interesantes como el efecto sobre la hibridización de plasmones en nanopartículas de Ag que se encuentran muy cercanas, lo que da lugar a puntos de alta intensificación o hot spots. Estos efectos se han probado en el caso de la detección de moléculas contaminantes como fungicidas empleados en el tratamiento de frutas y verduras y pesticidas del tipo neonocotinoides, con el fin de optimizar la señal espectroscópica que se deriva de estos análisis.

Finalmente, se ha avanzado en la línea de investigación de catálisis plasmónica, un efecto menos conocido de las nanopartículas plasmónicas en las que se produce una transferencia de trasportadores calientes del metal al adsorbato, lo que puede inducir transformaciones químicas en las moléculas adsorbidas sobre las nanoestructuras metálicas. Estos procesos se han aplicado en el caso de pesticidas de tipo neonicotinoides, moléculas éstas que sufren una degradación en presencia de nanopartículas de plata.

Efectos plasmónicos y análisis de biomoléculas (Santiago Sánchez Cortés)

La excitación de plasmones en metales nanoestructurados, fundamentalmente plata y oro, pueden ser empleados en el estudio estructural y dinámico de biomoléculas. Este tipo de análisis permite una caracterización de biomoléculas a concentraciones fisiológicas, lo que permite la caracterización de las mismas a concentraciones parecidas a los medios biológicos en donde éstas se encuentran.

Los efectos plasmónicos analizados han sido los siguientes: a) resonancia de plasmones superficiales localizados (LSPR); b) hibridación interpartícula de plasmones, manifestada a través de procesos de agregación de nanopartículas; y c) la intensificación de campo eléctrico inducida fundamentalmente en los puntos de máxima intensificación de campo localizados en espacios interpartículas o gaps, y en puntas generadas en nanopartículas de morfología anisotrópica. Este último efecto es el responsable del efecto SERS (Surface-enhanced Raman scattering).

Estos efectos presentan una prometedora aplicación en el campo de la biofotónica. Durante el 2025 se han empleado diferentes sustratos metálicos para llevar a cabo el estudio de la adsorción de péptidos sobre nanopartículas. La adsorción de péptidos permite la biofuncionalización de superficies con el objetivo de diseñar sensores biológicos capaces de detectar la presencia de agentes patógenos.

Durante el año 2025 se ha continuado con la línea de investigación basada en el empleo de nanopartículas plasmónicas para el análisis de sistemas biológicos complejos. Se ha progresado en el estudio de hongos de diferentes especies y de la modificación de los espectros Raman de estos organismos bajo diferentes condiciones. Los primeros resultados fueron muy prometedores en la aplicación de la técnica SERS en la identificación de diferentes tipos de especies fúngicas.

También se ha avanzado en el estudio de moléculas polifenólicas existente en tejidos vegetales tales como las agallas de robles, sustancias éstas que serán empleadas en la biofuncionalización de nanaopartículas con vistas a ser empleadas en detección molecular. En este campo, se ha comenzado a aplicar técnicas de machine learning en algoritmos de IA para el tratamiento de los espectros complejos que se derivan del análisis de estos materiales biológicos de alta complejidad.

Se ha avanzado en el desarrollo de sensores plasmónicos para la detección de compuestos orgánicos volátiles. Estos sensores implican el desarrollo de nanoestructutas que permitan la inmovilización y consiguiente detección de las moléculas gaseosas a bajas concentraciones. Estos sistemas se han aplicado al estudio de moléculas volátiles emitidas por hongos y que son de naturaleza sulfurada. Este análisis se está completando con otros realizados con cromatografía de gases acoplada con espectrometría de masas para establecer una comparación entre los analitos detectados mediante cada una de estas técnicas.

Técnicas espectroscópicas aplicadas al estudio del patrimonio cultural (Santiago Sánchez Cortés)

Durante el año 2025 se ha continuado con la investigación de las tintas ferrogálicas presentes en manuscritos antiguos con el fin de realizar una discriminación de los diferentes tipos de tintas empleadas en un mismo documento o documentos similares, en donde diferentes tintas empleadas por varias personas pueden ser analizadas. Los principales objetivos de este trabajo han sido: a) discriminación de tintas ferrogálicas en manuscritos escritos en la misma época mediante el uso de espectroscopía Raman, infrarroja y XRF; b) identificación y asignación de los marcadores espectrales Raman de escrituras similares y su correspondencia con la estructura química de los componentes; c) valoración del efecto del envejecimiento sobre las señales espectrales con el fin de encontrar marcadores espectrales temporales, que puedan contribuir a conocer la antigüedad aproximada de las escrituras y las posibles modificaciones posteriores que se hayan producido en los manuscritos a lo largo del tiempo. Este trabajo se está completando con la fabricación de tintas ferrogálicas en nuestro laboratorio siguiendo las recetas encontradas en manuscritos antiguos, para su posterior comparación con las tintas de manuscritos históricos. Estos estudios se están realizando gracias a colaboraciones con la Universidad Ca`Foscari de Venecia, Patrimonio Nacional, la Biblioteca Nacional de España y la Academia de Bellas Artes de Viena. Por ejemplo, se han estudiado las tintas existentes en documentos del siglo XVII relacionados con textos teatrales del Siglo de Oro español y se han hecho también estudios para determinar la autenticidad de algunos textos del siglo XV sobre los que existían dudas.

Se ha comenzado una nueva línea de investigación con aplicación de métodos de machine learning para el tratamiento de los datos masivos resultantes del estudio de la tinta de documentos con el fin de encontrar, por un lado, los diferentes componentes moleculares existentes en las tintas y, por otro lado, poder realizar un análisis comparativo de distribución de estos componentes para relacionarlos con la degradación de tintas y papel en manuscritos. Este tratamiento ha permitido encontrar diferentes familias de tintas en función de los marcadores moleculares encontrados y su estado de degradación, relacionando estos parámetros con la composición de metales de las tintas.

La aplicación de la espectroscopía Raman y FTIR (Fourier Transform InfraRed) en el análisis de materiales contenidos en tintas encontradas en cámaras funerarias egipcias ha sido otra de las tareas que se han desarrollado en nuestro grupo durante este año. Este tipo de estudio implica gran dificultad ya que ha de realizarse in-situ utilizando instrumentación portátil capaz de ser introducida en la cámara funeraria. La espectroscopía Raman se ha empleado en el análisis de los

pigmentos contenidos en esas tintas. Sin embargo, la presencia de un alto contenido de sustancias orgánicas en las mismas ha dificultado enormemente esta aplicación. La técnica DRIFT (Diffuse Reflection Infrared Fourier Transform) ha permitido la caracterización in-situ de estas tintas, si bien las señales más intensas provienen en este caso de los materiales dispersantes y aglutinantes. No obstante, los espectros DRIFT han proporcionado una importante información sobre el contenido de materiales como calcita, yeso, cola animal, ceras, aceites. Estos materiales presentan diferentes señales en diferentes puntos que han permitido diferenciar la intervención de diferentes escribas en los paneles estudiados. Estas investigaciones se están realizando en colaboración con investigadores del Instituto de Lenguas y Culturas del Mediterráneo y Oriente Próximo (CSIC). En este marco de colaboración se ha iniciado una nueva línea de investigación llamada Arqueología Experimental, con la que se pretende una reconstrucción de las tintas empleadas por los escribas de hace unos 3500 años en Luxor. Finalmente, se han realizado análisis de ostracas, fragmentos de roca empleados en la reescritura de textos funerarios, existentes en museos de Reino Unido y Francia, para comparar las tintas de estos textos con las encontradas en los textos murales de las cámaras funerarias estudiadas en Egipto.

El estudio del Patrimonio sumergido y el efecto que los nanoplásticos tienen en su deterioro, es una línea que se está iniciando en el grupo gracias a la colaboración con el Centro de Humanidades y Ciencias Sociales del CSIC. Se han iniciado los trabajos estudiando mediante técnicas espectroscópicas (Raman y FTIR) el deterioro de algunas piezas cerámicas encontradas en pecios del siglo XVI.

Durante 2025 se ha continuada la fructífera colaboración con otros centros de investigación en España dentro de la aplicación de técnicas espectroscópicas en materiales del patrimonio Histórico, entre otros se ha contactado con investigadores del Instituto de Patrimonio de Andalucía, el Centro Nacional de Aceleradores (CNA) de Universidad de Sevilla y el Instituto de Ciencias del Patrimonio de Galicia. Estas colaboraciones abarcan investigaciones en diferentes frentes: análisis de colorantes en fibras textiles, análisis de tintas ferrogálicas en manuscritos antiguos, análisis de pigmentos en cuadros, etc.

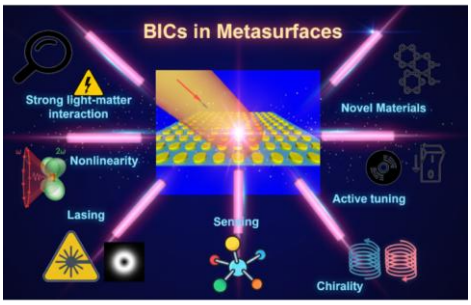
Propiedades ópticas de metasuperficies: estados ligados en el continuo y control de la emisión (José A. Sánchez Gil, Ramón Paniagua Domínguez)

Hemos continuado nuestro trabajo en curso sobre matrices periódicas planares (metasuperficies) de estructuras resonantes dieléctricas y plasmónicas de sub-longitud de onda con especial énfasis en los estados límite en el continuo (BICs). Los BIC han despertado mucho interés últimamente en fotónica por su factor Q (teóricamente) infinito. Estos estados son modos con fugas que, en un cierto límite de algún espacio de parámetros, no pueden acoplarse a ningún canal de radiación. Con el fin de atrapar la luz en estos modos electromagnéticos de ancho de línea casi cero, un enfoque común consiste en explotar metasuperficies: los canales especulares salientes pueden suprimirse ajustando los parámetros del sistema de diversas maneras, lo que conduce a BIC protegidos por simetría. Sobre la base de una teoría generalizada de dipolos eléctricos/magnéticos acoplados para matrices infinitas, se ha investigado una variedad de escenarios. Nuestro trabajo teórico se ha desarrollado en el marco de los proyectos MICIN LIGHTCOMPAS. En esta línea, hemos explorado:

- emisión de fotoluminiscencia polarizada circularmente, con factores de disimetría gPL superiores a 0.1, a partir de moléculas de colorante orgánico aquiral, aprovechando las cuasi-BIC y las resonancias de red superficial (SLR) en metasuperficies quirales de Si intrínseco. Hemos descubierto que el gPL asociado Estos hallazgos ilustran la relevancia del espesor de la capa emisora en la optimización de la emisión de luz polarizada circularmente. También profundizan

en la robustez de los cuasi-BIC quirales comparando el gPL de los SLR y los cuasi-BIC, lo que ofrece información sobre las interacciones quirales entre la luz y la materia y supone un avance en el diseño de dispositivos emisores de luz polarizada circularmente. En colaboración con el grupo de J. Gómez Rivas (Surface Photonics, Technical University of Eindhoven). También en relación con la emisión de luz circularmente polarizada, y en colaboración con investigadores del Institute of Materials Research and Engineering de A*STAR, Singapur, hemos estudiado la posibilidad de modificar la emisión de luz, amplificada mediante cavidades resonantes, dinámicamente. En el trabajo, se han infiltrado las cavidades con un medio ópticamente activo (en particular una perovskita bidimensionales) y otro medio cuya respuesta óptica puede ser modificada mediante la aplicación de un voltaje externo (en particular un cristal líquido). Gracias a la anisotropía del cristal líquido, es posible obtener acoplamientos de tipo spin-órbita, lo que permite manipular la polarización de la luz emitida en función de la orientación de la moléculas del cristal líquido, controladas por el voltaje. C. Dong, M. R. Chua, R. M. Veetil, T. T. Ha Do, L. Ding, D. K. Sharma, J. Xia y R. Paniagua-Domínguez, **Advanced Optical Materials** 14 (5), e03022 (2026).

- Cuasi-BICs ocultos: hemos demostrado que los qBIC oscuros y asimétricos surgen en el dominio óptico en metasuperficies de nanodiscos inclinados de Si, debido a la superposición espectral de resonancias dipolares en el plano y fuera del plano. Los cálculos confirman el carácter asimétrico de estos qBIC, lo que demuestra que el qBIC encubierto mejora en gran medida los campos cercanos y solo emerge en la extinción cuando hay pérdidas por absorción en los nanodiscos. Los ricos fenómenos asociados a estos qBIC ocultos los hacen muy adecuados para sintonizar o conmutar dispositivos nanoópticos (entre estados qBIC activados/desactivados con una reflexión insignificante), lo que ofrece aplicaciones prometedoras para mejorar las interacciones luz-materia a nanoescala. En colaboración con el grupo de A. García-Martín, IMN (CSIC). L. Hidalgo-Arteaga, et al.**, Laser & Photonics Reviews** 19, 2500799 (2025).
- Una propiedad clave que rige estas interacciones es la densidad local parcial de estados ópticos (PLDOS). Empleamos un microscopio de campo cercano THz con sondas locales duales para excitar y detectar directamente cuasi-BIC en metasuperficies finitas que poseen simetría de inversión, lo que corresponde a un BIC protegido por simetría en su contraparte infinita. Observamos una fuerte mejora de la PLDOS asociada a estos modos. A medida que aumenta el tamaño de la metasuperficie, el cuasi-BIC evoluciona hacia un BIC verdadero, con el factor de calidad divergiendo mientras que la PLDOS se satura. Esto establece un límite superior para la interacción mejorada entre la luz y la materia por parte de los BIC. Nuestros hallazgos allanan el camino para metasuperficies en chip con la máxima intensidad de interacción entre la luz y la materia. En colaboración con el grupo de J. Gómez Rivas (Fotonica de Superficies, Universidad Técnica de Eindhoven). J. Ji, J. A. Sánchez-Gil, D. Peeters, W. Holman, T. X. Hoang, D. van Mechelen, J. Gómez Rivas, **Nat. Commun.** 16, 11597 (2025).



- Hemos publicado una perspectiva exhaustiva sobre la física y las aplicaciones de los BICs. Sus propiedades únicas hacen que los BIC o cuasi-BIC sean muy prometedores para una amplia gama de aplicaciones, entre las que se incluyen la detección óptica, la obtención de imágenes de alta resolución, la transparencia inducida electromagnéticamente, el láser y el acoplamiento fuerte, los procesos ópticos no lineales, la quiralidad y la mejora de la emisión espontánea de emisores cuánticos. En esta perspectiva, hemos revisado estos mecanismos emergentes para la excitación, el control y el ajuste espectral de los estados cuasi-atados en el continuo en metasuperficies

totalmente dieléctricas, destacando las tendencias actuales y esbozando las direcciones futuras en este campo (ver figura): A. Barreda, A. García-Martín, J. A. Sánchez-Gil, **APL Photonics** 10, 100902 (2025).

Comportamiento físico a nano-escalas (Carlos Cabrillo García, Ricardo Fernández Perea)

Dentro de nuestras investigaciones sobre la adsorción de hidrógeno molecular a temperaturas criogénicas, en 2025 hemos seguido avanzando en el estudio experimental y análisis teórico de comportamientos metaestables en la adsorción de hidrógeno. La aparición de metaestabilidad en la fisisorción de hidrógeno en materiales porosos, esto es, de histéresis en los ciclos de adsorción/desorción isoterma, no es un fenómeno habitual y en particular nunca se había observado en el caso de los materiales carbonosos. Los pocos casos reportados en el caso de carbonos nanoestrucurados resultaron ser causados por algún tipo de quimisorción en las impurezas metálicas presentes en le material. Desde el punto de vista de su aplicación práctica para el almacenamiento y la gestión del hidrógeno la fisisorción es claramente preferible dada su baja barrera energética para liberar el hidrógeno. Por otro lado, la histéresis en sí, es muy interesante desde el punto de vista práctico dado que permitiría tanto unas presiones de trabajo menores para la misma carga (alta presión sólo durante la carga del combustible) como un mejor manejo de los flujos de calor en el sistema. En los últimos años nos hemos centrado de nuevo en un material nanoestructurado compuesto principalmente de haces de nanotubos de carbono de doble capa. En 2023 y principios de del 2024 completamos un primer artículo científico en el que se expone el comportamiento metaestable de la adsorción de hydrogeno y se lleva acabo un estudio tanto estructural del sistema como de la dinámica microscópica de los procesos involucrados utilizando técnicas de dispersión de neutrones (publicado en la revista **Carbon**). En 2025 hemos refinado el análisis de una bateria posterior de medidas de dispersión de neutrones. A apartir de estos resultados hemos podido entender el fenómeno a nivel micróscópico mediante confrontación de las medidas con experimentos numéricos. Más específicamente, se han identificado dos mecanismos principales, uno estático y otro dinámico y colectivo, que dan lugar a la metaestabilidad. Por un lado, la topología de los intersticios en donde se adsorbe el H2 es tal que hay mas caminos accesibles para alcanzar el interior de los haces que para salir de ellos. Por otro, la propia expansión de los intersticios cuando se llega a un nivel suficientemente alto de carga hace que los canales entre ellos se pueblen como moléculas que “fluidifican” el paso entre interticios acelerando el llenado. Durante la desorción estos pasos entre intersticios se vacian en primer lugar empequeñeciendo el canal lo que aumenta significativamente las barreras energéticas para la desorción. Estos estudios se están llevando a cabo dentro de una colaboración con el grupo de investigación Quantum Beams and Sustainable Materials dirigido por el Prof. Felix Fernández Alonso del Materials Physics Center en San Sebastian.

En los últimos años, dentro de una colaboración con el grupo de la Prof. Leonor Chico en la Universidad Complutense, hemos estudiado la sorprendente estructura electrónica de nanotubos de carbono de capa simple en su estado colapsado. En particular hemos demostrado que dichos sistemas representan un ejemplo particularmente útil de lo que se conoce como super redes de Moire unidimensionales presentando todas las características de su homólogo bidimensional, las celebradas bicapas de grafeno rotadas (twisted bilayer graphene, TBG). Estas super redes de Moire unidimensionales conllevan una super red de acumulación de carga electronica (eventualmente de electrones “congelados” en los nanotubos de quiralides adecudas) en las “islas” del patrón de Moire. La adsorción de hidrogeno molecular se ve fuertemente influida por los excesos de carga. En particular, las zonas con exceso de carga positiva incrementan fuertemente la adsorción como se comprueba en los intercalados de grafito con potasio. Dado que los patrones de Moire de carga aparecen en cualquier tipo de nanotubo aplastado, estamos desarrollando una línea de investigación de nuevo en colaboración con el grupo del Prof. Felix

Fernández sobre las consecuencias que estas super redes de carga pueden tener sobre la fisisorción de hydrogeno en nanotubos de carbono colapsados.

Finalmente, también en colaboración con el grupo del Prof. Felix Fernández, hemos iniciado una nueva línea de investigación sobre las transiciones sólido-sólido, tanto en el equilibrio termodinámico como fuera de éste, de nuevo en un material carbonáceo, en particular, el coranuleno. El coranuleno se puede entender como un casquete del fullereno C60 cerrado por hidrógenos. El interés aquí se centra en su posible aplicación en el almacenamiento de energía como calor latente entre las diversas fases sólida.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Física molecular de sistemas astrofísicos y plasmas.
- Fluidodinámica Molecular.
- Espectroscopía Láser.
- Física Molecular Teórica.

SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Hielos astrofísicos.
- Caracterización espectroscópica de plasmas fríos de interés astrofísico.
- Generación, procesado y modelado de análogos de polvo interestelar.
- Espectroscopía Raman en chorros supersónicos de gases.
- Espectroscopía Raman en microfluídica gaseosa.
- Transferencia de energía por colisiones moleculares inelásticas.
- Parámetros espectroscópicos de moléculas relevantes en procesos colisionales, atmosféricos o de combustión.
- Modelización atomística y caracterización experimental de fases minerales de arcillas e hielos de interés astrofísico.
- Modelización computacional de la adsorción de nitroderivados en materiales metal orgánicos MOF´s.
- Control cuántico de alineamiento y orientación en moléculas aisladas y gases dipolares ultra fríos.

TÉCNICAS UTILIZADAS:

- Espectroscopía de infrarrojo y espectrometría de masas aplicadas a sistemas de baja temperatura y baja presión.
- Métodos Computacionales: Gaussian, SIESTA, CASTEP, CRYSTAL, CP2K, Suite Materials Studio.
- Generación de plasmas fríos complejos con descargas RF a baja presión.
- Espectrometría de masas de neutros y iones. Sondas de Langmuir.
- Espectroscopía de emisión en el visible y UV próximo. Polarimetría.
- Espectroscopía Raman lineal y no lineal (estimulada).
- Chorros supersónicos de gases.
- Chorros de gases confinados en canales milimétricos.

- Espectroscopía de doble resonancia Raman-Raman.
- Espectroscopía Infrarroja por Diferencia de Frecuencias.

LABOR INVESTIGADORA:

FLUIDODINÁMICA MOLECULAR

Durante 2025 hemos continuado con el estudio del CO_2 fuera del equilibrio a altas temperaturas, junto con la aplicación de la espectroscopía Raman en microfluídica gaseosa, y con la caracterización espectroscópica de contaminantes atmosféricos, en el marco de los proyectos en curso. Todos estos estudios se basan en experimentos en chorros sub- y supersónicos de gases, examinados mediante espectroscopía Raman cuantitativa. Los chorros supersónicos de gases son un medio extraordinariamente fértil en dinámica de fluidos, en el que es posible estudiar las colisiones intermoleculares inelásticas, el mecanismo fundamental de transferencia de energía en gases. Por su parte, los chorros subsónicos de gases permiten medir propiedades espectrales de las moléculas en condiciones incompatibles, o difícilmente alcanzables, en células. Para ello el laboratorio de Fluidodinámica Molecular cuenta con dos instalaciones de diagnóstico de chorros de gases y líquidos mediante espectroscopía Raman, únicas en su género por sus prestaciones y flexibilidad, desarrolladas a lo largo de los últimos treinta años.

Hemos continuado con el estudio de la relajación rotacional y vibracional del CO_2 en chorros supersónicos mediante espectroscopía Raman. La relajación del CO_2 juega un papel clave en el balance radiativo de la atmósfera terrestre, así como de la de Venus y Marte, la entrada de naves en esos planetas, o la síntesis de combustibles mediante plasmas fríos de CO_2, a pesar de lo cual escasean los datos experimentales de los procesos elementales implicados. Hemos realizado nuevos experimentos de chorros supersónicos calientes de CO_2 diluido al 10% en He, para completar el corpus de datos experimentales sobre las colisiones inelásticas del CO_2. De la evolución temporal de las poblaciones rotacionales y vibracionales a lo largo de los chorros, hemos podido determinar los coeficientes cinéticos de transferencia entre niveles internos por colisiones inelásticas, y a partir de estos, otras magnitudes del flujo como la sección eficaz de relajación rotacional. Este trabajo constituye la Tesis Doctoral de Carlos Álvarez Nicolás, que fue defendida en la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid en mayo de 2025.

Por otra parte, hemos continuado con el estudio de las intensidades intrínsecas (momentos de transición de la polarizabilidad) de las bandas vibracionales Raman del dióxido de carbono para aplicaciones a alta temperatura. Hemos realizado nuevas medidas de los espectros Raman de los isotopólogos $^{13}CO_2$ y $^{16}O^{13}C^{18}O$ a temperaturas hasta 570 K. En total hemos determinado los momentos de transición de la polarizabilidad de 25 bandas fundamentales calientes y 5 sobretonos del $^{13}CO_2$, y 7 bandas calientes del $^{16}O^{13}C^{18}O$, la mayoría medidos por primera vez. Este trabajo ha dado lugar a un artículo actualmente en prensa en la prestigiosa revista Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer.

Finalmente, en la línea de microfluídica hemos continuado los experimentos en la célula con un canal interno de 1x15 mm^2, en la que la misma ventana, a 45º, se emplea para la excitación y la colección del scattering Raman. Hemos mejorado el montaje incorporando un "Back Pressure Regulator" a la salida de la célula, lo que ha permitido trabajar con flujos enrarecidos a presiones inferiores a la atmosférica. Se realizaron experimentos con flujos de N_2 a una velocidad de 11 cm/s, con caudales de 10 sccm y 2 sccm, y presiones de 100 mbar y 20 mbar, respectivamente,

forzando un gradiente térmico entre las dos paredes del canal separadas 1 mm. A pesar de la luz difusa por reflejos en ventanas y paredes, hemos conseguido registrar los espectros Raman rotacionales de N_2 dentro de esos canales tan pequeños, y, a partir de ellos, medir la temperatura del flujo de gas, con una resolución espacial de ~100 micras. El número de Knudsen del flujo a 20 mbar es Kn~0,0015, que corresponde a un gas enrarecido en el régimen de deslizamiento ("Slip regime" en inglés), donde se producen discontinuidades térmicas en las paredes que comprometen su descripción mediante las ecuaciones de Navier-Stokes del modelo del continuo. Estos experimentos se completarán con medidas en flujos de CO_2 e H_2.

FÍSICA MOLECULAR DE SISTEMAS ASTROFÍSICOS Y PLASMAS

Hielos astrofísicos

Desde el año 2022 estamos participado activamente en el grupo de trabajo del Ice-Age Early Release Program "*Tracing the building blocks of life with the James Webb Space Telescope*", en particular en la sección de "astrofísica de laboratorio". El análisis de los espectros obtenidos con el JWST de hielos en la nube densa Camaleón I ha puesto en evidencia la necesidad de obtener constantes ópticas infrarrojas y fuerzas de absorción infrarroja de hielos de mezclas ternarias de H_2O, CO_2, y CO en el rango IR, para la correcta interpretación de las observaciones. Durante el año 2024 comenzamos el estudio sistemático de hielos de especies puras y de mezclas binarias y ternarias de H_2O, CO_2, y CO. En el año 2025 hemos publicado un trabajo donde proporcionamos por primera vez **constantes ópticas infrarrojas de mezclas ternarias de H_2O:CO_2:CO y binarias H_2O:CO_2** con proporciones similares a las observadas en los hielos presentes en nubes densas frías. Además, en este estudio se publicaron también constantes ópticas y fuerzas de banda infrarrojas de los hielos de H_2O, CO_2 y CO puros, ayudando a resolver discrepancias encontradas en la literatura para estas magnitudes. Este trabajo, publicado en la revista *Astronomy and Astrophysics* se ha realizado en colaboración con miembros del proyecto Ice-Age.

También en colaboración con miembros del equipo Ice-Age, hemos participado en el desarrollo de un programa basado en aprendizaje automático (*machine learning*), denominado **AICE**, que permite identificar de forma rápida y sencilla la composición de los hielos en espectros observacionales. La necesidad de esta herramienta resulta evidente, ya que, gracias a su alta sensibilidad y resolución espectral, el JWST tiene el potencial de observar características del hielo en cientos de fuentes que se encuentran en distintas etapas del proceso de formación estelar, y el análisis detallado de la composición de estos hielos puede ser un proceso largo y complejo. El programa AICE, descrito en una publicación reciente en la revista *Astronomy & Astrophysics*, aprende a partir de la comparación con una extensa base de datos de hielos experimentales de composición conocida.

Por otro lado, durante 2025 se publicó el trabajo realizado en colaboración con el equipo de científicos de la cámara AQUILA en Atomki, con experimentos realizados en la **instalación europea HUN-REN ATOMKI**, que se describió en la memoria del 2024. Se irradiaron **hielos de hidroxilamina (NH_2OH)** y se obtuvieron secciones eficaces de destrucción por rayos cósmicos, así como información de la química de destrucción y la formación de nuevas especies. El trabajo se publicó a principios del año 2025 en la revista *Astronomy and Astrophysics*.

Finalmente, en la segunda mitad del año 2025 hemos iniciado el estudio de hielos que contienen especies sulfuradas, en particular OCS y H_2S, en mezclas con H_2O y CO_2. El objetivo de este trabajo es aportar información que contribuya a comprender el problema aún no resuelto de la desaparición del azufre en nubes densas del medio interestelar. En estas regiones, la suma de

todas las especies detectadas que contienen azufre representa menos del 1 % de la abundancia cósmica de este elemento. Una posible explicación de estas observaciones es que el azufre se encuentre mayoritariamente en especies condensadas o formando parte de material refractario en los granos de polvo y hielo. Nuestros experimentos tienen como objetivo determinar las secciones eficaces de destrucción de OCS y H_2S, así como estudiar su química de destrucción e identificar las nuevas especies que se forman.

Espectroscopía infrarroja de iones moleculares de interés astrofísico

En el laboratorio de espectroscopía infrarroja por diferencia de frecuencia, hemos registrado los espectros de alta resolución de la banda ν_1 del ión $HOCS^+$ y la banda ν_2 del isómero $HSCO^+$. La primera observación del espectro de vibración-rotación de este último fue una banda de combinación que realizamos en 2024 en colaboración con miembros del proyecto ILINK+ "SENTINEL" en la Universidad de Colonia. En este caso, se trata de la detección la banda fundamental de tensión C=O a 2200 cm^{-1}. Cabe destacar que esta molécula había sido imposible de detectar anteriormente por otros grupos de investigación de renombre. Ambos isómeros son moléculas trompo asimétricas "casi lineales" con una constante rotacional A_0 muy grande. Ello provoca una perturbación de los niveles rotacionales en el estado fundamental que interaccionan con los modos de flexión de baja energía y dificultan el análisis del espectro empleando el Hamiltoniano de Watson. En la actualidad trabajamos en un modelo global que permita ajustar todos los datos existentes tanto de rotación pura como de vibración-rotación.

También hemos registrado un espectro de muy alta calidad de la banda ν_2 del ión $HOCO^+$ en colaboración con miembros del Instituto de Física Fundamental (IFF-CSIC), encaminado a su posible detección mediante observaciones con el JWST.

Generación, caracterización y procesado de análogos de polvo interestelar

Se ha concluido el estudio de los efectos de incorporar N_2 a plasmas fríos de Ar/C_2H_2, demostrándose cómo el N_2 repercute drásticamente en la composición de iones y especies neutras en el plasma. El aumento de concentración del N_2 induce la aparición de especies nitrogenadas (HCN, HC_3N…), una marcada disminución global de cationes $C_xH_y^+$ a favor de aquellos que contienen N, como NH_4^+ o N_2H^+, y un marcado predominio de aniones nitrilo sobre los puramente hidrocarbonados, los cuales prácticamente desaparecen. Para las proporciones más bajas de N_2, destaca el hecho de que las concentraciones relativas de aniones $C_{2n}H^-$ y $C_{2n+1}N^-$ (n=1-5) obtenidas en el laboratorio presentan gran concordancia con las densidades de columna detectadas recientemente para estos aniones en la proximidad de estrellas gigantes como IRC+10216, siendo estos aniones los únicos detectados hasta la fecha en el espacio, incluyendo la ionosfera de Titán, el satélite de Saturno estudiado por la sonda Cassini-Huygens. Por otro lado, el marcado aumento con N_2 de la concentración global de aniones y disminución de cationes en el afterglow confiere al plasma un carácter fuertemente electronegativo; así mismo, se corrobora el papel del anión C_2H^- como precursor de la principal cadena de polimerización de plasmas de acetileno, que era objeto de debate. Estos hallazgos se presentaron en una conferencia plenaria en ICPIG y fueron enviados para su publicación a la revista Plasma Sources Sci. Technol.

En el año 2024 se concluyó un trabajo de diagnóstico múltiple enfocado en el crecimiento de nanopartículas carbonáceas en plasmas de Ar/C_2H_2 acoplados capacitivamente. En este estudio se desarrolló una técnica basada en la polarimetría diferencial que permite obtener distribuciones de tamaño de nanopartículas con resolución espacio-temporal. Actualmente, se han instalado dos cámaras CMOS sincronizadas que amplían la versatilidad de la técnica. La reciente incorporación

de la doctora vinculada Verónica González y del estudiante Ginés Haro ha impulsado significativamente esta línea de investigación, mejorando no solo la calidad de la técnica, sino también la posibilidad de explorar condiciones de crecimiento adecuadas para la generación controlada de análogos de polvo cósmico.

Se demostró que mediante descargas en plasmas inductivos es posible producir materiales carbonáceos con un alto contenido de azufre. Esto resulta de gran interés para la astrofísica observacional, que busca estimar el contenido de azufre en los materiales refractarios del medio interestelar. Durante el presente año se realizaron análisis estructurales y de contenido de azufre bajo distintas condiciones de bombardeo iónico, evidenciando un sputtering atómico asimétrico. De manera complementaria, estos materiales han sido irradiados con electrones en el laboratorio de hielos, lo que ha permitido analizar de forma sistemática la evolución de los espectros infrarrojos frente al procesado electrónico que simula la interacción de rayos cósmicos.

Dinámica de reacciones químicas elementales

Tras el estudio de correlaciones de momentos angulares en las colisiones reactivas de F+HD en la zona de muy bajas energías (< 1 meV), hemos abordado, en colaboración con V. Sáez-Rábanos (UPM) y con el Departamento de Química Física de la Unidad Complutense (Unidad Asociada CSIC), el estudio de secciones diferenciales de reacción en función de la excitación rotacional en la misma región de energías que corresponde a la zona de resonancias de orbiting. Esta reacción constituye un prototipo para la mayoría de los desarrollos teóricos, y hasta ahora, la muy baja energía de colisión ha planteado un desafío para la detección experimental de estas resonancias, asociadas con el pozo de van der Waals en el canal de entrada. Sin embargo, los recientes resultados del grupo de Xueming Yang (Dailan Institue of Chemical Physics) se acercan cada vez más a la zona de energía relevante y cabe esperar que, en un futuro próximo, puedan observarse estas resonancias, precisamente en las secciones diferenciales de reacción.

Modelización atomística y caracterización experimental de fases minerales, hielos de interés astrofísico y estudio de adsorción de contaminantes atmosféricos en materiales porosos tipo metal orgánicos

Las simulaciones de modelización computacional o cálculos mecano-cuánticos se han llevado a cabo a través e cálculos teóricos tanto en estaciones de trabajo como en superordenadores donde se han caracterizado de forma teórica las estructuras y espectros infrarrojos en la adsorción de moléculas fosforadas en sílice amorfa cuyo trabajo fue aceptado en Computational and Theoretical Chemistry para su publicación en marzo del 2026.

También se ha estudiado de forma teórica las características de absorción de moléculas contaminantes atmosféricos no suficientemente estudiados en este campo tipo nitroderivados tales como nitrofenol y nitroantraceno y su interacción con materiales metal orgánicos. Trabajos cuyos resultados se han publicado en Computational and Theoretical Chemistry.

ESPECTROSCOPÍA LÁSER

El trabajo realizado en el Laboratorio de Espectroscopía Láser durante el año 2025 ha seguido dos líneas experimentales bien diferenciadas, ambas utilizando la técnica de la espectroscopía Raman estimulada: por una parte, se han llevado a cabo medidas sistemáticas de ensanchamientos y desplazamientos colisionales en las primeras líneas del espectro Raman de rotación pura de la molécula de HD perturbada por colisiones con H_2. Por otra parte, y con objeto de determinar las

condiciones óptimas de trabajo para el estudio por espectroscopía Raman de alta resolución de metanos tritiados, $CT_{4-x}H_x$, que se planea iniciar a lo largo del año 2026, se han realizado extensas medidas preparatorias sobre metano tetradeuterado, CD_4. Estas medidas han dado lugar a nuevos diseños de células de muestra optimizados para los futuros experimentos.

La primera línea de trabajo, la medida de ensanchamientos y desplazamientos por presión de las líneas espectrales en el sistema colisional HD-H_2, forma parte de los objetivos del proyecto PID2021-123752NB-I00, "Diagnóstico Raman Avanzado: Microfluídica, Colisiones Moleculares y Procesos fuera del Equilibrio", que se inició en septiembre de 2022 y se encuentra ya en fase de prórroga hasta el 31 de agosto de 2026. Este objetivo en concreto persigue la obtención de coeficientes de ensanchamiento y desplazamiento de las líneas del espectro Raman rotacional de la molecula de HD cuando se la somete a perturbaciones por colisiones con H_2. El sistema HD-H_2 resulta de interés en entornos astrofísicos, especialmente en las atmósferas de cuerpos planetarios y en cometas, ya que la concentración de HD es un indicador de la concentración de deuterio, D_2, y la relación de concentraciones D/H proporciona información acerca del entorno en que se produjo la formación del cuerpo en cuestión: por ejemplo, la relación D/H en los gigantes gaseosos del sistema solar es distinta a la que se encuentra en los cometas, que a su vez presentan diferencias importantes en esta relación dependiendo de su origen (Nube de Oort, cinturón de Kuiper…). Un conocimiento detallado del espectro del HD y sus variaciones con la presión, temperatura y especies colisionantes es crítico para la determinación experimental por espectroscopía de sus concentraciones en estos entornos.

Se han llevado a cabo en el laboratorio medidas por espectroscopía Raman de alta resolución de las líneas espectrales de rotación pura S(0), S(1) y S(2) de la molécula de HD en mezclas HD-H_2. Para cada una de estas líneas espectrales se midió el perfil de la línea de forma sistemática a varias presiones de mezcla (no menos de 7) comprendidas entre 25 y 800 mbar. Estas medidas se repitieron a varias temperaturas (77, 195 y 298 K para S(0) y S(1), 195 y 298 K para S(2)). Dada la estrechez de las líneas, asociada a las bajas frecuencias de las transiciones rotacionales, la obtención de perfiles espectrales detallados requirió la utilización de velocidades de barrido tan lentas como 1 MHz/s. Del análisis de los datos experimentales se han extraído coeficientes de ensanchamiento (γ_0) y desplazamiento (δ_0) para las tres líneas a todas las temperaturas estudiadas. Cabe destacar que si bien ya existían datos previos de este tipo de coeficientes en el sistema HD-H_2 obtenidos mediante espectroscopía infrarroja (IR) esta es la primera medida realizada mediante espectroscopía Raman, que da acceso a transiciones diferentes de las observadas en el espectro IR. En estos momentos se está procediendo a la comparación de nuestros resultados experimentales con los obtenidos mediante métodos computacionales por el grupo de nuestro colaborador P. Wcisło, y se espera que en breve den lugar a una publicación en el *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*.

La segunda línea de trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto PID2024-157577NB-I00, "Espectroscopía Raman como Herramienta Diagnóstica en Física Nuclear", en vigor desde el 1 de septiembre de 2025. El objetivo de esta línea es la obtención e interpretación de espectros Raman de alta resolución del grupo de moléculas que componen la familia de metanos tritiados, $CT_{4-x}H_x$: se ha observado que en las instalaciones en las que se llevan a cabo experimentos de física nuclear que involucran la utilización de grandes cantidades de tritio (por ejemplo el Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment, KATRIN, o en el futuro el International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER) la elevada reactividad de este elemento, conferida fundamentalmente por su desintegración radiactiva de tipo beta, hace que sea capaz de reaccionar con átomos de carbono de las paredes y otros elementos de acero inoxidable presentes en las instalaciones para acabar formando hidrocarburos tritiados, especialmente derivados del metano. Estas moléculas tienen el potencial de interferir gravemente con los experimentos, por lo que

sería deseable monitorizar en tiempo real su presencia y concentración. Se ha propuesto como herramienta no invasiva para esta monitorización la espectroscopía Raman, que ya se utiliza para este mismo propósito con los seis isotopólogos del hidrógeno (H_2, T_2, D_2, HD, HT, DT) en KATRIN. Para que esto sea posible resultará imprescindible un conocimiento detallado del espectro Raman de los diferentes metanos tritiados, que no está disponible hoy en día y cuya obtención es el objetivo principal de esta línea de investigación.

A lo largo de la segunda mitad de 2025 se han llevado a cabo medidas preparatorias encaminadas a optimizar el diseño del experimento. Las muestras de metanos tritiados serán proporcionadas por un laboratorio especializado (Karlsruhe Tritium Laboratory, KIT). Dada la naturaleza radiactiva de los compuestos tritiados, existe una limitación normativa a la cantidad de una especie tritiada con la que se puede trabajar sin necesidad de implementar fuertes medidas de seguridad ("muestra exenta"). Esta limitación hace que sea necesario utilizar células de muestra específicas que minimicen el volumen interno con objeto de maximizar la presión de gas, de la que depende la cantidad de señal que se obtendrá en el registro del espectro, mientras mantienen la compatibilidad con las características ópticas del experimento (diámetro de los haces láser, longitudes focales…). Para ello se ha empezado por diseñar y construir en los talleres mecánicos de nuestro centro varios prototipos de células de pequeño volumen que se han llenado con CD_4, una molécula similar, a las presiones máximas admisibles por normativa para el CT_4, y se ha procedido a registrar espectros rovibracionales de la rama Q de la vibración ν_1 de esta molécula. Esto ha permitido optimizar iterativamente el diseño de la célula (longitud, diámetro interno) y de la configuración óptica del experimento (longitudes focales, diámetros de haz) hasta llegar a un compromiso que se considera que permitirá registrar espectros de los metanos tritiados en condiciones aceptables de relación señal/ruido al tiempo que se respetan los límites normativos impuestos por los organismos de seguridad nuclear. Se espera iniciar las medidas una vez las células definitivas (cuyas partes se han construido en los talleres del centro y se están ensamblando en el KTL siguiendo nuestras especificaciones) estén terminadas y se reciban las muestras de los compuestos tritiados, a lo largo del año 2026.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Simulación multiescala de materiales poliméricos y macromoléculas biológicas.
- Propiedades físicas y nanoestructura de polímeros, mezclas y nanocompuestos de matriz polimérica.
- Física de polímeros: Movilidad y orden en sistemas macromoleculares.
- Aplicación de la luz sincrotrón al estudio de polímeros y materiales nanoestructurados.
- Biofísica.
- Intercaras.

SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

- Relación entre la estructura y las propiedades de polímeros sintéticos, biopolímeros y nanocompuestos.
- Confinamiento en la estructura y la dinámica de la materia condensada blanda.
- Dinámica molecular y propiedades dieléctricas.
- Interrelación estructura-dinámica en materia condensada blanda polimérica.

- Nano y microestructuración de poliméricas.
- Fenómenos de precristalización, cristalización y transiciones de fase en polímeros sintéticos y naturales.
- Estudio de las reacciones de polimerización mediante cálculos mecano-cuánticos.
- Simulación jerarquizada de dinámica macromolecular.
- Sistemas poliméricos reciclables: morfología, estructura y propiedades.
- Dinámica molecular y propiedades viscoelásticas.
- Procesos de extrusión y elongación en poliolefinas y mezclas.
- Microrreología y microfluídica de biofluidos
- Hidrodinámica de proteínas y complejos macromoleculares biológicos.
- Electrónica orgánica.
- Superficies virucidas.

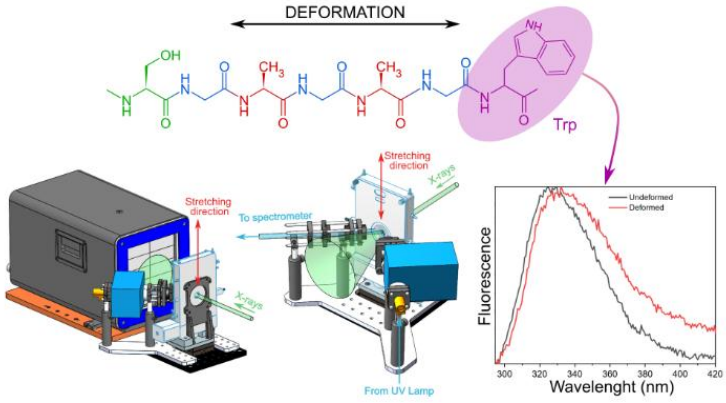
TÉCNICAS UTILIZADAS:

- Dispersión y difracción de rayos X a ángulos grandes (WAXS), pequeños (SAXS), ultra-pequeños (USAXS) y con incidencia rasante (GISAXS), incluyendo el uso de micro- y nano-haces de radiación sincrotrón.
- Calorimetría diferencial de barrido (DSC).
- Dispersión cuasielástica de neutrones (IQNS).
- Microscopía óptica (OM) y electrónicas de barrido y transmisión (SEM, TEM).
- Microscopía de fuerzas atómicas (AFM).
- Espectroscopía Raman.
- Espectroscopía UV-VIS
- Espectroscopía de fluorescencia
- Dispersión de neutrones.
- Espectroscopía dieléctrica de banda ancha.
- Reometría de cizalla en torsión dinámica y continua, de extrusión capilar y extensional.
- Microrreología y microfluídica.
- Análisis mecáno-dinámico en tracción, flexión y compresión: módulo elástico.
- Microscopía electrónica de barrido y transmisión (STEM).
- Cromatografía de separación por tamaños (SEC) y tetradetección y dispersión dinámica de luz láser (DLS).
- Litografía de nanoimpresión (NIL).
- Simulaciones mediante uso de computación de alto rendimiento.
- Algoritmos de aprendizaje automático.
- Espectroscopía de correlación de rayos X (XPCS).
- Micro-espectroscopía de rayos X en transmisión con barrido (STXM).
- Espectroscopía de absorción de rayos X (NEXAFS).
- Dispersión resonante de rayos X blandos (RSoXS).
- Impresión a chorro de polímeros.

LABOR INVESTIGADORA:

Grupo de DINÁMICA Y ESTRUCTURA DE LA MATERIA CONDENSADA BLANDA (SOFTMATPOL)

Materiales sostenibles para aplicaciones avanzadas: Fibroína de seda

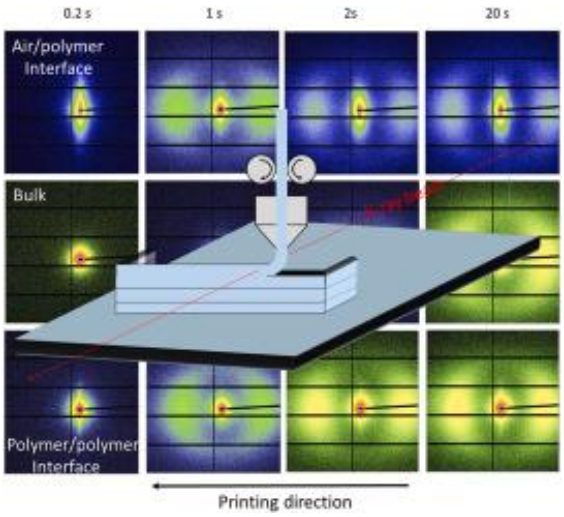


En el marco de un proyecto de investigación de Transición Ecológica y Digital (TED), se ha utilizado una estrategia multimodal que integra ensayos mecánicos, espectroscopía de fluorescencia, análisis estructural y modelización computacional avanzada, para esclarecer el fundamento asociado a los cambios de la fluorescencia emitida por la fibroína de seda cuando ésta es deformada mecánicamente. Ha sido necesario diseñar un dispositivo experimental que se ha implementado en la línea NCD-SWEET del sincrotrón ALBA, que permite realizar experimentos que combinan ensayos de tracción in situ, espectroscopía de fluorescencia y dispersión de rayos X simultáneamente. Los resultados obtenidos no solo contribuyen a la comprensión fundamental de la fotofísica de la fibroína de seda, sino que también sientan las bases para el desarrollo de biomateriales basados en seda con propiedades mecano-ópticas ajustables; con implicaciones en la tecnología de biosensores y materiales inteligentes.

Aplicaciones fotocatalíticas de nanopartículas de polímeros semiconductores

Mediante la metodología para preparar nanopartículas poliméricas que se viene desarrollando en el grupo ha sido aplicada en este caso a un polímero semiconductor, en concreto el poli(3-hexiltiofeno) (P3HT), Se ha podido determinar la relación entre las propiedades ópticas y estructurales de nanopartículas de P3HT y su eficiencia como fotocatalizadores en la degradación de contaminantes presentes en el agua. Nuestros resultados indican que las nanopartículas obtenidas mediante el método de miniemulsión son más eficientes a la hora de inducir la fotodegradación. La mayor cristalinidad, observada mediante experimentos de dispersión de rayos X, y la presencia de un surfactante en estas nanopartículas afectan a sus propiedades fotoquímicas. El tiempo de vida de fluorescencia de las nanopartículas de miniemulsión es más corto que el de las nanopartículas preparadas mediante el método *flash*, lo que favorece la transferencia de carga hacia la superficie de la nanopartícula. Estas cargas, en presencia de agua, producen especies reactivas de oxígeno altamente activas, responsables de la fotodegradación del contaminante. Este trabajo contó con la colaboración del grupo del Profesor Martín-Fabiani de la Universidad de Loughborough en el Reino Unido.

Dispersión de rayos X en modo operando durante impresión 3D de polímeros



Se ha ampliado la investigación de los procesos de cristalización “operando” e “in situ” durante la impresión 3D de distintos polímeros y nanocompuestos poliméricos, con especial énfasis en la aparición de fases eléctricamente polares con potencial aplicación en supercondensadores. Para ello, se empleó una técnica simultánea de dispersión de rayos X a ángulos pequeño y amplio (SAXS/WAXS) utilizando radiación sincrotrón. Se dedicó especial atención a las zonas críticas de la manufactura aditiva, como las regiones de soldadura e interfaz entre líneas, que presentan características estructurales diferenciadas respecto al volumen masivo del material y que desempeñan un papel clave en la estabilidad mecánica del objeto impreso. En la figura se muestra conceptualmente la aproximación esperiemtal utilizada que emplea un haz de rayos X de sincrotrón que incide sobre el polímero depositado por un cabeza inyectora (de la impresora 3D) y qur provoca una dispesión de los rayos X con efectos difractivos.En el fondo se muestran diagramas de difracción a pequeño ángulo en diferentes posicione de la muestra extruida que pueden ser utilizados para caracterizar la cinética de cristalización, la estructura cristalina y la orientación de los cristales entre otros efectos estructurales.

Grupo de BIOFISICA DE SISTEMAS MACROMOLECULARES (BIOPHYM)

Aspectos generales de la investigación.

Durante el año 2025, el grupo BIOPHYM ha consolidado sus líneas de investigación centradas en el diseño de materiales poliméricos con alto valor añadido y bajo impacto ambiental, así como en la caracterización avanzada de sistemas biológicos complejos. Hemos continuado actividades colaborativas en el marco de dos proyectos de investigación de Transición Ecológica y Digital (TED), uno de ellos con la Universidad Rey Juan Carlos y el IMDEA Energía, y el otro con la Estación Experimental del Zaidín del CSIC (Granada) y la Universidad de Sevilla. Ambos proyectos se centran en el ámbito del reciclaje de polímeros y el desarrollo y caracterización de biopolímeros de origen natural. También se han obtenido resultados en el proyecto de estudio de tratamientos para el cáncer de mama metastásico con anticuerpos monoclonales, llevado a cabo bajo un nuevo contrato por parte de la Fundación "Contigo contra el cáncer de mama", en el estudio experimental e "in silico" de anticuerpos monoclonales conjugados (ADC). Además, se continua con el acuerdo de servicio con la empresa internacional Total Energies. Se ha mantenido una intensa actividad colaborativa internacional y nacional, destacando las sinergias con grupos de investigación de centros como POLYMAT, la Universidad Rey Juan Carlos, la Universidad de Alcalá, el CNR (Italia), universidades europeas y del CSIC. La actividad se ha articulado principalmente en torno a dos ejes estratégicos: la sostenibilidad de nuevos polímeros, y el uso de técnicas biofísicas para el desarrollo de sensores y estudios biomédicos.

Polímeros sostenibles para la economía circular.

En esta línea, el grupo ha avanzado significativamente en la comprensión de la relación estructura-propiedad de nuevos polímeros de origen renovable, así como en la búsqueda de

estrategias para el reciclado o en la comprensión teórica de sistemas interesantes como los vitrímeros:

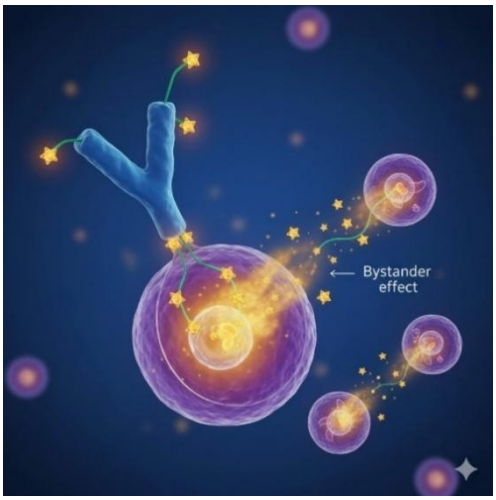
Cinética de cristalización en politioéteres y efecto de la sustitución en poli(δ-valerolactona). En colaboración con POLYMAT (San Sebastián), se ha investigado la cinética de cristalización de homopolímeros de politioéter con triple polimorfismo. El estudio revela cómo pequeñas variaciones en la estructura química de la cadena afectan drásticamente a la movilidad de los segmentos y a la estabilidad de las fases cristalinas, aportando datos fundamentales para el procesado de estos materiales en aplicaciones industriales. También en colaboración con el POLYMAT, se ha realizado un estudio sistemático sobre cómo la sustitución gem-dialquilo en las cadenas laterales afecta a la cristalización de la poli(δ-valerolactona). Este trabajo revela la compleja competición entre los efectos estéricos (que dificultan el empaquetamiento) y la flexibilidad de la cadena. Es un avance fundamental para el diseño de poliésteres biodegradables con cinéticas de cristalización controladas para aplicaciones de empaquetado específico.

Vitrímeros, poliuretanos y Nanoheaters. Se ha profundizado en el estudio teórico de los vitrímeros basados en poliuretanos, polímeros que combinan la procesabilidad de los termoplásticos con las propiedades mecánicas de los termoestables gracias a sus enlaces covalentes dinámicos. Mediante modelado molecular, se han analizado los mecanismos de intercambio de enlaces, fundamentales para el desarrollo de materiales autorreparables y totalmente reciclables. Este trabajo se ha realizado en colaboración con investigadores del POLYMAT y del CNR (Italia), También se ha investigado la integración de nanocalentadores (nanoheaters) en matrices de poliuretano en colaboración con investigadores del ICTP. Estos sistemas permiten una respuesta térmica localizada y eficiente bajo estímulos externos (como campos electromagnéticos o luz), lo que abre puertas a aplicaciones en actuación remota, liberación controlada de fármacos y polímeros con memoria de forma activada a distancia.

Poliésteres de alto peso molecular. Se ha optimizado la síntesis de brasilato de polietileno (PEB) de ultra alto peso molecular (hasta 600 kDa) mediante polimerización por apertura de anillo. Los estudios realizados mediante reología y mecánica han permitido identificar una respuesta "pseudo-elastomérica" en las muestras de mayor peso molecular, relacionada con una densa red de entrelazamientos y la presencia de ramificaciones de cadena larga (LCB). Este material se perfila como un sustituto sostenible y biodegradable para poliolefinas de altas prestaciones, y el estudio se ha realizado en la colaboración con la UAH en el marco de la formación de estudiantes en prácticas.

Biofísica de sistemas macromoleculares.

Este apartado recoge los avances en la aplicación de la física de polímeros al desarrollo de dispositivos inteligentes y al estudio de fluidos biológicos:



Mecanismos de acción en ADCs para cáncer de mama. En el marco de los proyectos "INSiLiCo" y "MoTHER", financiados por la Fundación Contigo contra el Cáncer de la Mujer, hemos publicado un estudio fundamental sobre los Conjugados Anticuerpo-Fármaco (ADCs). Este trabajo es el resultado de una estrecha colaboración multidisciplinar en la que participan grupos de investigación de primer nivel, como el Hospital Ramón y Cajal, el Instituto de Oncología de Madrid (IOB) y el International Breast Cancer Center (IBCC) de Barcelona. Mediante simulaciones computacionales avanzadas, hemos logrado descifrar el "bystander effect" (efecto espectador), revelando cómo el estado de ionización del fármaco y el diseño químico del *linker* condicionan la permeabilidad a través de las membranas celulares. Estos hallazgos son clave para optimizar la próxima generación de terapias de precisión, permitiendo que el fármaco alcance con mayor eficacia a las células cancerosas adyacentes al tumor primario. Dada la relevancia de los resultados para el avance en terapias oncológicas, el trabajo ha tenido una gran difusión en medios de comunicación, contando con una nota de prensa oficial del CSIC y cobertura en diversos portales especializados en ciencia y salud, lo que subraya el compromiso del grupo con la transferencia de conocimiento a la sociedad.

***Sensores de deformación eco-compatibles (Wearable Electronics*).** En una colaboración estratégica con el ICTP, el grupo ha logrado un avance significativo en la fabricación de dispositivos electrónicos sostenibles mediante el desarrollo de una tinta conductora "all-carbon". La innovación reside en el uso de una arquitectura híbrida de carbono que combina nanotubos (CNTs - 1D) y nano-onions (CNOs - 0D). Esta combinación permite que las "nano-onions" actúen como puentes conductores entre los nanotubos, optimizando la red de percolación eléctrica dentro de la matriz elastomérica de SEBS (poliestireno-etileno-butileno-estireno). Un aspecto crítico de este trabajo es el reemplazo de disolventes tóxicos convencionales por 2-metiltetrahidrofurano (2-MeTHF), un disolvente derivado de biomasa (furfural), lo que garantiza un proceso de fabricación con baja huella ambiental. El control exhaustivo de la reología de la tinta ha sido clave para permitir su aplicación mediante técnicas *de dip-coating* en esponjas de poliuretano y *blade-coating* sobre textiles elásticos. Estos sensores presentan una estabilidad cíclica excepcional (soportando más de 10,000 ciclos de compresión y 7,000 de tensión) y una alta sensibilidad (Gauge Factor de 10–12). Gracias a estas propiedades, se han integrado con éxito en:

- *Textiles inteligentes:* Capaces de monitorizar la respiración en tiempo real al detectar la expansión torácica.
- *Monitorización deportiva:* Integración en balones de fútbol para detectar impactos, rotaciones y rebotes, demostrando la robustez mecánica del material.

Microrreología, IA y proyecto MOMENTUM. Se ha mantenido una intensa actividad de recolección y análisis de datos en el marco del proyecto MOMENTUM, centrada en la dinámica de macromoléculas en entornos confinados. Mediante el uso de técnicas de microrreología pasiva combinadas con Inteligencia Artificial, hemos logrado caracterizar biofluidos (lágrimas y soluciones de anticuerpos) en volúmenes extremadamente pequeños. Esta línea es clave para el desarrollo de nuevas herramientas de diagnóstico oftálmico y para asegurar la estabilidad de anticuerpos monoclonales en terapias dirigidas. Como hito estratégico para ampliar nuestras capacidades experimentales, hemos iniciado una nueva línea de trabajo centrada en el diseño y

construcción de un reómetro basado en imagen. Este dispositivo está específicamente concebido para operar con volúmenes de muestra mínimos, permitiéndonos el acceso a experimentos y la determinación de propiedades viscoelásticas que actualmente no están disponibles en los equipos comerciales disponibles. Este desarrollo no solo reforzará nuestra autonomía tecnológica, sino que permitirá explorar nuevos regímenes dinámicos en sistemas biológicos y macromoleculares con una resolución sin precedentes.

Biofilms. Colaboramos con el Centro de Astrobiología CSIC-INTA en el estudio molecular y estructural de polisacáridos obtenidos de algas y biofilms bacterianos procedentes de las aguas extremadamente ácidas de la mina de Río Tinto y de otros entornos fríos extremos, como los drenajes ácidos de minas en Svalbard. Actualmente se está llevando a cabo la investigación sobre la caracterización reológica de biofilms naturales de bacterias y algas de aguas ácidas. Nuestro objetivo es comprender las características viscoelásticas de los biofims sometidos a grandes esfuerzos de cizalla mediante la realización de experimentos de oscilación (LAOS). Los resultados permitirán describir la respuesta de los diferentes biofims a grandes deformaciones, comúnmente presentes en la naturaleza.

CHAPTER 2B – RESEARCH ACTIVITIES

THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY DEPARTMENT

RESEARCH LINES:

- Gravitation and Cosmology.
- Condensed Matter Theory.
- Theoretical Nuclear Physics: Structure and Reactions.
- Theoretical molecular physics applied to the study of astrophysical species and to the characterization of atmospheric pollutants.

RESEARCH SUBLINES:

- Classical and quantum field theory.
- Loop Quantum Gravity
- Loop Quantum Cosmology.
- Nonlocal quantum gravity.
- Gravitacional waves.
- Black hole analogs in condensed matter.
- Strongly correlated and mesoscopic systems.
- Quantum Information.
- Electroweak processes in nuclei.
- Nuclear structure from a selfconsistent correlated mean field approach.
- Three-body techniques in Nuclear Physics.
- Reactions of relevance in Nuclear Astrophysics.
- Theoretical spectroscopy applied to the study of relevant astrophysical and atmospheric non-rigid molecules.
- Formation of volatil organic compounds from organic radicals.
- Photodissociation of organic readicals.

EMPLOYED TECHNIQUES:

- Theoretical and mathematical physics.
- Computational methods.
- Perturbative quantum field theory.
- Monte Carlo algorithms for Bayesian inference.
- Machine-learning algorithms for Bayesian inference.
- Geometric methods in the Hamiltonian formalism of field theories.
- Selfconsistent mean field calculation techniques.
- Numerical methods to solve the Faddeev equations in coordinate space.
- Hyperspherical adiabatic expansion method.
- Highly correlated ab initio calculations and new computational tools.

RESEARCH ACTIVITY:

GRAVITATION AND COSMOLOGY

Loop Quantum Gravity

The Gravitation and Cosmology Group has continued investigating the application of Loop Quantum Gravity to cosmological perturbations in the Early Universe and to perturbations of black hole spacetimes.

In Early Universe scenarios, we have calculated, both analytically and numerically, the effects of quantum geometry on the primordial power spectrum using the two most popular proposals for the quantization of cosmological perturbations within the framework of Loop Quantum Cosmology: the hybrid and the dressed metric appoaches. We have adopted a vacuum state for the perturbations arising from an asymptotic diagonalization of the perturbative Hamiltonian in the ultraviolet sector and such that it leads to a spectrum free of spurious fast oscillations, which would pump power on average. We have verified that the analytic approximations introduced by us work remarkably well, and demonstrated that the effects of quantum geometry effects produce power suppression at scales of the order and below the cosmologically evolved scale of the quantum bounce that occurs in Loop Quantum Cosmology.

We have extended our investigation of Loop Quantum Cosmology to the case of a non-inflationary Ekpirotic bounce. We have innovated with respect to previous literature by introducing a field with a slightly-negative equation of state: this allows us to match the almost scale invariant power spectrum observed in cosmology. Such a field accounts for a small positive cosmological constant, that generates a red-tilt in the perturbations' power spectra. The equations of motion of the scalar perturbations are non-trivially coupled, leading to rich phenomenology that cannot be inferred simply from the single-field theory. We have studied the evolution of scalar and tensor perturbations and compared the results to current observations, showing the viability of this model as a base for further investigations.

Furthermore, we have studied the effects of different Loop regularizations of the quantum Hamiltonian of the background cosmology. We have demonstrated that, with our choice of vacuum state, all regularizations lead to remarkably similar power spectra once the wavelengths are expressed in terms of the quantum bounce wavelength, which is the quantity that encapsulates the information about the effect of the specific details of the regularization on the relevant quantum phenomena.

In the case of black hole perturbations, we have focused our attention on the interior of the black hole and on the most complex of the two possible parities: the polar case. Axial polarity had already been studied by us in previous years. We have been able to construct a complete and consistent Hamiltonian formulation of the perturbations, which relates the perturbative gauge invariants with canonical pairs of physical degrees of freedom and opens the way to describe them in terms of master functions. This Hamiltonian formulation also provides a natural starting point for the quantization of the system composed of the background geometry of the black hole and its perturbations. We have proposed a hybrid quantization of this system within the framework of Loop Quantum Cosmology. The possible effects on the gravitational radiation described by the gauge invariant perturbations will be analyzed in future works.

We have also introduced analytical and numerical methods to address the graph-changing Hamiltonian dynamics of full Loop Quantum Gravity, something that has been impossible to handle until now and which constitutes the main obstacle to advancing the resolution of this quantum theory. We have been able to complete some numerical calculations that indicate that

the approximations that do not allow graph changes introduce significant deviations, which calls their vailidity into question. In particular, we have studied the evolution of the volume, showing a different behavior in the graph changing and graph preserving cases. This could be of great importance for applications in cosmology, where the volume changes with expansion, or in black-to-white-hole quantum transitions, where the transition rate should depend on the volume of the interior region of the hole.

Finally, we have discussed the different behavior of a particle detector in a cosmological background depending on its response function, specifically when this response only depends (non-trivially) on the background. This scenario is conceptually possible, since the background and the particle field can be measured simultaneously and both measurements can be convoluted to obtain an effective detector response with the desired properties. We have shown that it is possible to choose the response function such that the detector indeed measures the number of particles of the conformally scaled field, without los of coherence or traces of cosmological particle production.

Hamiltonian Methods for Field Theories

During this year we have continued with our exploration of Hamiltonian methods for field theories related to general relativity, in particular the study of the recently introduced Husain-Mehmoud (HM) model (an interesting diff-invariant field theory connected with the well known Husain-Kuchař model) and the Carrollian limit of the Holst action for general relativity which is also related to the HK model. We describe both in the following.

Regarding the HM model we have studied in detailed its dynamics. The most striking feature of the model is the apparent absence of a vector constraint generating spatial diffeomorphisms: apparently the model only has a Gauss law. The first explanations of this phenomenon suggested that in this particular case diffeomorphisms are not independent of the internal gauge transformations. However, a careful Hamiltonian analysis shows that this is not the case: the Hamiltonian vector fields that represent the evolution of the system in phase space show that 3-dimensional diffeomorphisms are indeed present together with their Hamiltonian generators. In addition to this, we have been able to prove the existence of an additional symmetry generated by a Hamiltonian constraint, something analogous to the situation in General Relativity. This shows that the dynamics of the HM model is very interesting and is an invitation to study its quantization.

The Carrollian limit of the Holst action has been the object of interest in the recent literature. The Carrollian symmetry can be understood as an interesting simplification of the local Poincaré symmetry of this action and, hence, can be used as an interesting starting point to tackle issues related to the quantization of gravity. An interesting result in this framework is the realization of the fact that the Husain- Kuchař action does not originate in the Cartan-Palatini term but, rather, comes from the Holst term (at variance with the results claimed in the geometrodynamical setting where the HK model seems to come from the Einstein-Hilbert action). At the present moment we are expanding these results to more general Carrollian models.

Nonlocal and complex-poles quantum gravity

In 2025, we have diversified our investment in field theory. On one hand, we have identified for the first time a fractional covariant hermitian d'Alembertian operator, which allows one to construct a wide class of fractional quantum field theories including gravity. These advances extend the research line in nonlocal field theories started in 2010-2012 and will allow us to

continue our journey towards a consistent gravity theory, both at the classical and the quantum level. On the other hand, we clarified in a pedagogical and detailed way the fact that scattering amplitudes in field theories with complex poles (which have applications in QCD and in gravity) require the Anselmi-Piva prescription in order not to violate either Lorentz invariance or the optical theorem. Such violation was known since the 1970s but it was hardly studied.

Gravitacional waves

At the level of scientific production, we have co-coordinated and co-authored the monumental "Blue Book" of the Einstein Telescope (ET), a document detailing the scientific objectives of this European third-generation detector of gravitational waves (https://arxiv.org/abs/2503.12263). In particular, we have coordinated the section on the primordial stochastic gravitational-wave background and co-authored the same and other sections on inflation and standard sirens. This report is not yet published in any journal but its high number of citations (280 in one year) is an indirect indicator of its importance in the community. M. Pieroni has worked on the development of statistically consistent likelihoods for stochastic gravitational-wave background (SGWB) analyses. Moreover, he has contributed to establishing a new criterion for testing the accuracy and quantifying mismodeling in the context of simulation-based inference (SBI). J. Torrado has tackled the problem of characterising computationally-expensive signals in the LISA data, such as super-massive black-hole binary mergers, using his probabilistic machine learning inference framework GPry, producing robustness improvements for said framework along the way.

At the management level, G. Calcagni has continued his involvement in the governance of the LISA Consortium, an organism of 2000 resarchers contributing to the ESA/NASA space mission LISA (launch 2035). He acted as chair of the Membership Committee and has been elected as a member of the Management Team, the executive arm of the Consortium. Moreover, he has contributed to the expansion of the Gravitation and Cosmology Group at IEM thanks to the attraction of senior researchers in gravitational waves that joined us this year (M. Pieroni y J. Torrado).

CONDENSED MATTER THEORY

High-temperature superconductivity in sheared bilayer graphene

During 2025 we have continued our investigation of the superconducting correlations in bilayer graphene with heteroshear. We had previously shown that this system can be tuned to have flat low-energy bands for sufficiently large size of the moiré supercell. In that regime, the interacting system becomes prone to develop broken-symmetry phases, with valley symmetry breaking as the dominant pattern. We have put forward the idea that the strong valley polarization favors a pairing instability in which the electrons with opposite spin projection in the Cooper pairs live in different valleys. The origin of this effect lies in the complementary charge distributions of the states attached to opposite valleys, which leads to a strong reduction of the Coulomb repulsion.

We have seen that, after the onset of valley symmetry breaking, some of the low-energy bands still remain flat in the interacting system. Then, a proper determination of the many-body ground state demands the study of correlation effects not captured by the Hartree-Fock approximation. For that purpose, we have resorted to an exact diagonalization of the many-body Hamiltonian, built from the single-particle states obtained in the Hartree-Fock approach.

We have found that, at small hole-doping of the lowest flat conduction band, the many-body ground states are formed by recursive addition of single-hole states, which allows us to reconstruct a quasi-1D Fermi line in the originally flat band. The other remarkable property of the many-body ground states we have obtained is that they are formed, to first approximation, by a product of Cooper pairs. This is a consequence of the fact that the they can be approached by the tensor product of two many-body states with opposite spin and valley polarization, where the single-particle states in the spin down factor $\Psi\downarrow$ are the partners by valley (inversion) symmetry of the single-particle states in the spin up factor $\Psi\uparrow$.

We have shown that the phenomenon of Cooper-pair condensation is validated by the results for the ground state energy En as a function of the number of particles n. Even (odd) numbers of holes lead consistently to ground states with lower (higher) values of the compressibility. This provides the signature of the condensation of Cooper pairs with emergent quasiparticles above a large energy gap, of the order of 10 meV.

Therefore, we have seen that the sheared bilayer displays a natural effect of enhancing the electron correlations in a 1D moiré pattern. This reflects in the magnitude we have obtained for the gap in the Cooper-pair condensate, much larger than that of twisted bilayer graphene, and in the range of the materials exhibiting high-temperature superconductivity.

Semi-Dirac materials

During the year 2025, our research on two-dimensional semi-Dirac materials focused on the interplay between anisotropic band structures, topology, and collective or spin-dependent transport phenomena. Semi-Dirac systems interpolate between Dirac and Schrödinger physics, exhibiting linear dispersion along one momentum direction and quadratic dispersion along the orthogonal one. This intrinsic anisotropy provides a fertile ground for unconventional boundary states and direction-dependent responses.

A first line of work addressed the role of spin–orbit coupling in topologically non-trivial type-I semi-Dirac systems. We demonstrated that, in the presence of band inversion and Rashba spin–orbit coupling, semi-Dirac nanoribbons host energy- and momentum-dependent edge states that are both direction-selective and spin-resolved. While full two-dimensional topological protection is absent due to a vanishing Chern number, a dimensional-reduction approach shows that the Zak phase along the quadratically dispersing direction governs the emergence of symmetry-protected edge modes at specific momenta. Rashba coupling lifts spin degeneracy and induces spin-textured edge channels whose spatial localization depends on spin and particle–hole character. Transport calculations in two-terminal geometries reveal robust and tunable spin-dependent conductance oscillations, originating from spin precession under the effective Rashba field, and persisting in the presence of moderate disorder.

In parallel, we investigated the plasmonic response of single- and bilayer semi-Dirac materials across topological transitions associated with Dirac cone generation, merging, and band inversion. We showed that these transitions leave clear fingerprints in the collective charge excitations, leading to strongly anisotropic and tunable plasmon modes. In bilayer configurations, an additional plasmon branch emerges whose relative phase can be controlled by rotating one layer with respect to the other. This geometric control enables switching between in-phase and out-of-phase charge oscillations, highlighting semi-Dirac systems as promising platforms for topological plasmonics and interferometric optoelectronic applications.

Floquet engineering in driven quantum materials

A second major research direction concerned the dynamics of two-dimensional quantum materials under time-dependent driving, with particular emphasis on realistic finite-pulse excitations beyond the idealized monochromatic Floquet limit. We developed and applied the t–t′ formalism to study monolayer transition metal dichalcogenides subjected to intense, polarized laser pulses with finite temporal envelopes.

Within this framework, the electronic dynamics are described using an instantaneous Floquet basis that naturally captures the coexistence of the fast driving period and the slower pulse-envelope timescale. Applying this approach to spin–orbit-coupled transition metal dichalcogenides, we demonstrated that finite-pulse driving leads to transient Floquet–Bloch states and dynamical band-structure modifications that depend sensitively on pulse duration, amplitude, and polarization. In particular, we identified pronounced transient valley polarization effects and time-dependent band renormalization, which are directly reflected in the circular dichroism of the driven system.

Our results provide a bridge between ideal Floquet engineering and experimentally relevant ultrafast spectroscopy conditions, offering clear predictions for time-resolved ARPES measurements. More broadly, this work establishes a versatile theoretical framework to explore nonequilibrium valley and spin dynamics in driven two-dimensional materials, with potential implications for ultrafast optoelectronics and valleytronic applications.

THEORETICAL NUCLEAR PHYSICS

Elastic Electron Scattering from Deformed and Oriented ODD-A Nuclei

Interference terms between monopole (C0) and quadrupole (C2) Coulomb form factors that contribute to the cross section of electron scattering from polarized nuclei are studied within the plane wave Born approximation. The nuclear structure is evaluated numerically using a self-consistent deformed Hartree-Fock approximation with Skyrme effective interactions and accounting for pairing correlations. By experimentally exploring the effect of the nuclear response, valuable insights into the sign of the quadrupole deformation can be obtained.

Specifically, we study the changes induced by nuclear deformation in the cross section of electrons scattered by polarized odd-A nuclei, focusing on the effect produced by the interference form factors between C0 and C2 multipoles. To illustrate the potential magnitude of those effects, specific examples with different ground-state spins and parities and with different types of deformation are analyzed. Namely, ^{21}Ne, ^{63}Cu, ^{191}Ir, ^{27}Al, ^{55}Mn, ^{105}Pd, ^{167}Er, ^{177}Hf, ^{181}Ta, and ^{179}Hf.

We find that joint measurements of both the unpolarized and the polarized cross sections allow one to obtain a model-independent signature of the oblate or prolate deformation character of the nucleus. This information is based on the simple observation of whether the cross section is increased or decreased by polarizing the target nucleus. Although the amplitude of this effect could depend on the specific nuclear model considered, the constraints made in this study do not change the conclusions concerning the feasibility of getting observables that exhibit sensitivity to the C0/C2 interference and, therefore, to the sign of the axial deformation in odd-A nuclei.

The study includes nuclei with different atomic and mass numbers. These numbers play an important role in determining the nuclear size and, specifically, the radius of the nuclear charge. The latter exhibits a direct correlation with the first minimum of the cross section, which undergoes compression with increasing radius. This investigation reveals that for the heavier

nuclei under consideration, the quadrupole parameters beta-2 and the density profiles exhibit remarkable similarity, a consequence of the large core involved. This also results in similar outcomes for the C0/C2 interference. In contrast, lighter nuclei exhibit a larger diversity of shapes, leading to a broader range of density profiles and form factors that depend more on the specific characteristics of each individual example considered.

In conclusion, comparison of unpolarized and polarized cross sections becomes a novel tool to discriminate between the oblate and prolate nature of the nuclear shape, providing a deeper understanding of the nuclear deformation.

Confinement of two- and three-body systems by an external field

All along this year we have used the recently developed d-method to investigate two- and three-body systems under the influence of an external confining potential. Within this method, the dimension d is taken as a parameter, which can vary continuously from d=3 to d=2. The effect of the confining potential is then contained in the d-dependent centrifugal barrier. This method is precise and correct in the two limits, i.e., for d=3 and d=2.

In particular, for two-body systems we have investigated wave functions, phase shifts, and elastic cross sections. The two-body interaction is assumed to be short-range. Using a square-well potential, we have derived analytic expressions for scattering lengths and phase shifts. We have also introduced the critical dimension, d_E , which corresponds to the squeezing scenario such that the two-body scattering length is equal to infinity. This is the situation where the Efimov effect can show up after addition of a third particle. We have given explicitly the equivalent continuum wave functions in d and ordinary three-dimensional space, and show that the phase shifts are the same in both methods. Consequently, the d-method can be used to obtain low-energy two-body elastic cross sections in an external field

Following the same scheme, we have also investigated the case of three-body systems, focusing as well on the continuum structures of three short-range interacting particles in a deformed external field. We focus on dimensions close to the critical dimension, $d = d_E$, between 2 and 3, defined by zero two-body energies, where the Efimov effect can occur. We have then designed for this dimension region a schematic, long-distance realistic, square-well based, three-body spherical model, which is used to derive analytic expressions for the wave functions, scattering lengths, phase shifts, and elastic- scattering cross sections. The procedure and the results are universal, valid for all short-range potentials, and for large scattering lengths. We have discussed as well the properties and validity of the derived expressions by means of the simplest system of three identical bosons. We have gound that the derived expressions are particularly useful for very small energies, where full numerical calculations are often not feasible. For energies where the numerical calculations can be performed, a good agreement with the analytic results is found. These model results may be tested by scattering experiments for three particles in an equivalent external deformed oscillator potential. The cross sections all vanish in the zero-energy limit for $d < 3$ with definite d-dependent power of energy.

Three-nucleon correlation functions

Scattering experiments with three free nucleons in the ingoing channel are extremely challenging in terrestrial laboratories. Recently, the ALICE Collaboration successfully measured the scattering of three protons indirectly, by using the femtoscopy method in high-energy proton-proton collisions at the Large Hadron Collider. In order to establish a connection with current and future measurements of femtoscopic three-particle correlation functions, we have analyzed

the scenarios involving nnn and ppp systems using the hyperspherical adiabatic basis. The correlation function is a convolution of the source function and the corresponding scattering wave function. The finite size of the source allows for the use of the free scattering wave function in most of the adiabatic channels except the lowest ones. The scattering wave function has been computed using two different potential models: (i) a spin-dependent Gaussian potential with parameters fixed to reproduce the scattering length and effective range and (ii) the Argonne v18 nucleon-nucleon interaction. Moreover, in the case of three protons, the Coulomb interaction has been considered in its hypercentral form. The results presented here have to be considered as a first step in the description of three-particle correlation functions using the hyperspherical adiabatic basis, opening the door to the investigation of other systems, such as the ppΛ system. For completeness, the comparison with the measurement by the ALICE Collaboration is shown assuming different values of the source radius.

THEORETICAL MOLECULAR PHYSICS APPLIED TO THE STUDY OF ASTROPHYSICAL SPECIES AND TO THE CHARACTERIZATION OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS

The research work carried out in 2025 is part of the project H2020-MSCA-RISE-2019-ATMOS-872081 “Pollutants and greenhouse gases in the atmosphere - understanding gas-gas and gas-solid interactions towards a cleaner atmosphere (ATMOS)”. This project is coordinated from the Institute of Structure of Matter by the Theoretical Chemistry group of the Department of Theoretical Chemistry and Physics in collaboration with the Associated Unit with the University of Huelva.

In this environment, we have organized this year the ATMOS2025 International Congress in Agadir (Morocco) with the participation of the 12 groups that make up ATMOS and six invited external researchers.

ATMOS is an H2020 international network funded by the Marie Curie Action for Research Cooperation (RISE). The main objective is the study of scientific problems related to the elements of atmospheric pollution, with emphasis on the training of graduate students in atmospheric sciences. The network is composed of twelve scientific groups and 31 senior scientists. Within this frame, several students and professors from the groups integrated in ATMOS have visited the IEM-CSIC during 2025.

ATMOS focuses on species abundant in the atmosphere, such as oxygenated volatile organic species (OVOC's), organic radicals and greenhouse effects gases. Basically, the scientific work of the IEM participants refers to the identification and reactivity of organic radicals and OVOCs that present internal rotation. It is assumed that the understanding of processes involving organic compounds in the atmosphere depends on their identification and characterization. Line-by-line quantitative spectroscopic modeling in the infrared (IR) range is necessary for current and future atmospheric observations with large-scale instruments. To understand the effects on the atmosphere, structural and spectroscopic parameters are needed. These studies require a great scientific effort focused on the characterization of known and new species and on the knowledge of chemical evolution, induced photochemical processes and radical cycles. At the IEM, the main tool for molecular characterization are the highly correlated ab initio calculations, as well as the Original Fortran codes for the determination of spectroscopic properties. Part of the work has been maid in collaboration with the laboratories of the Department of Molecular Physics.

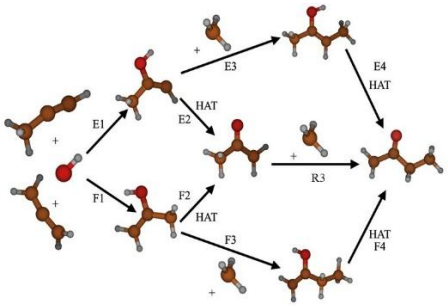


Fig 1

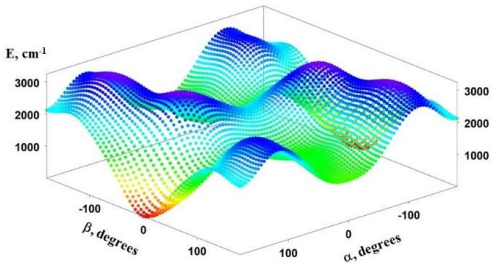


Fig 2

During 2025, spectroscopic and structural properties, with an emphasis on the internal rotation of methyl groups, were calculated for alcohols, ethers, and ketones classified as Volatile Oxygenated Organic Compounds (VOCs). These species contribute to an increase in tropospheric O3. Highly correlated ab initio calculations and original software were used. Acetone and biacetyl, along with their Raman spectra, were studied in collaboration with the Department of Molecular Physics. Methyl ethyl ketone (Fig. 1) and hydroxyacetone (Fig. 2) were studied theoretically. Both their spectroscopic properties and gas-phase formation processes were analyzed. Studies of a wide range of pentenes, ketones, and alcohols were completed.

ATMOS is targeted for spectroscopy, reactivity, and gas-gas and gas-solid interactions involving air pollutants. The modelling of molecular solids for the capture and storage of pollutants is addressed. During 2025, Density Functional Theory has been used to model the capture of organic compounds (nitrophenols) and ammonia in ZIF-8 (Zeolitic imidazolate framework-8).

NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY DEPARTMENT

RESEARCH LINES:

- Experimental Nuclear Physics.
- Nuclear Structure studied at intermediate energies.
- Study of excited states and nuclear resonances.
- Nuclear Structure studied in reactions with stable and exotic nuclei at low, medium and relativistic energies.
- Stellar nucleosynthesis
- Study of exotic hyper-matter, mesonic nuclei and other bound states in the strangeness section of the nuclear Equation-of-State.
- Particle tracking and vertexing methods for high energy nuclear physics experiments.
- Research on machine and deep learning applied to experimental nuclear spectroscopy.
- Computing simulations using FairRoot and Geant4 for nuclear physics experiments at low, intermediate and relativistic energies.
- Surface-Enhanced Spectroscopy (SERS, SEF and SEIRA) of molecular systems
- Nanosensors
- Spectroscopic techniques applied to the study of materials of interest for the Cultural Heritage
- Design of ecomaterials

RESEARCH SUBLINES:

- Experimental studies of light nuclei close to and beyond the driplines.
- Beta decay studies of dripline nuclei.
- Study of the nuclear break up mechanism by multiparticle detection.
- R&D for FAIR (Facility for Antiprotons and Ion Research).
- Study of the structure and dynamics of halo nuclei.
- Direct nuclear reactions.
- Magnetic moment measurements in exotic nuclei using radioactive ion beams.
- Nuclear Instrumentation.
- In-flight spectroscopy of light hypernuclei and exotic hypernuclei.
- Spectroscopy mesonic nuclei.
- R&D in particle tracking and reconstruction in high energy nuclear physics.
- R&D in micro-vertex detectors.
- R&D in data analysis with machine learning, deep learning and foundation models.
- Computing tools in Experimental Nuclear (R3BRoot, FairRoot, WASAFRS).
- Data Analysis tools (ROOT, python, C++).
- Nuclear Physics experiments for GSI-FAIR.
- Nanofabrication and functionalization of plasmonic nanostructures
- Plasmon-assisted spectroscopy characterization of biomolecules on nanostructures
- Detection of pollutants by SERS
- Analysis of complex biological materials by spectroscopic techniques enhanced by nanostructures
- Analysis of colorants and pigments by normal vibrational spectroscopy and surface-enhanced vibrational spectroscopy
- Theoretical calculations of molecular vibrational spectra
- In situ material characterization studies.
- Spectroscopuc análisis of ancient writing

EMPLOYED TECHNIQUES:

- Theoretical and mathematical physics.
- Computational methods.
- Numerical simulations.
- Beta decay studies at ISOL facilities, ISOLDE and REX-ISOLDE@CERN.
- Reaction studies at low energy at the 5MV accelerator CMAM@UAM.
- Reaction studies at relativistic energies, the R3B experiment at GSI-FAIR.
- GEANT4 Monte Carlo simulation of experimental setup and detectors.
- Gamma spectroscopy.
- Analysis of experiments in experimental nuclear physics.
- Electronic and mechanical design of experimental setup.
- Spectroscopy of hypernuclei, and mesonic nuclei in relativistic energy ion collisions at FRS & SuperFRS at GSI-FAIR.
- Track and vertex reconstruction algorithms for data analysis of nuclear collisions.
- Pytorch deep learning architectures for particle tracking, classification and observable estimations.
- Neutron Scattering.
- Fast timing

- Dispersive Raman Spectroscopy
- Fourier-Transform Raman spectroscopy (FTRaman)
- Portable Raman Spectroscopy
- Fourier-Transform infrared spectroscopy (FTIR)
- Infrared Atenuated Total Reflectance (ATR)
- Fluorescence Spectroscopy
- X-Ray Fluorescence (XRF)
- X-Ray Diffraction (XRD)
- Transmission Electron Microscopy (TEM)
- Scanning Electron Microscopy (SEM)
- Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX)
- Optical Spectroscopy (OM)
- Dark-Field Microscopy (DFM)
- Thermal Analysis (DTA/TG)
- Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

RESEARCH ACTIVITY:

MRR-HISTARS (IP: Olof Tengblad, CIE2301005 MICIU-MRR-Next generation EU)

The HISTARS (HIE-ISOLDE Timing Array for Reaction Studies) project aims to develop a dedicated detection system for measuring the lifetimes of excited nuclear states populated in reactions. These lifetimes provide direct access to electromagnetic transition rates, which are key observables in nuclear-structure research. HISTARS combines an inner charged-particle detector for reaction tagging with an external fast-timing γ-ray array based on $LaBr_3(Ce)$ detectors, making use of recent advances in detector technology and digital signal processing to achieve enhanced timing performance. The system is expected to significantly expand the experimental capabilities at HIE-ISOLDE and support a broad program of reaction studies with post-accelerated radioactive beams.

In 2025, several crystals, sensors, and digitizers have been tested. Within HISTARS-IEM-IFIC, progress has been made on the design of the detector support structure, and the corresponding equipment has been acquired. The crystals have been received and paid for, and the PMT tubes have been ordered, with delivery expected in January 2026. In parallel, a market survey is underway for the associated electronics, including digitizers, high-voltage supplies, DAQ components, and cabling.

ASAP-CM - Advanced Strategies and new Approaches for Protontherapy (IP: Olof Tengblad, P2022-BMD-7434 -BIOMEDICINA 2022 COMUNIDAD MADRID) **(María José García Borge, Amanda Nerio, Olof Tengblad)**

Within the framework of the project, the work of Amanda Nerio, a PhD student fully dedicated to these activities, is particularly noteworthy. Her efforts focus on data analysis and on performing simulations for image reconstruction based on proton-irradiated samples.

In parallel, work has been carried out on the optimization and commissioning of the new ion source at the Centro de Microanálisis de Materiales (CMAM), which enables the production of pulsed beams with frequencies ranging from 15.625 kHz to 4 MHz. Following its installation, acceptance tests were performed on the NUC-30 and NUC-45 beamlines.

As part of these activities, Ángel Perea Martínez designed and built an automated target holder that allows the use of different targets in real time through computer control.

On 3 December 2024, the first joint test was conducted between CMAM, the Institute for the Structure of Matter of the CSIC (IEM-CSIC), the Nuclear Physics Group of the Complutense University of Madrid (GFN-UCM), and CIEMAT. This initial test focused on optimizing the beam-pulsing parameters on the NUC-30 line using the reactions ^{63,65}Cu(p,nγ)^{63,65}Zn.

During February 2025, optimization of pulsing parameters continued for proton and alpha beams on the NUC-45 line, using the reactions ^{63,65}Cu(p,nγ)^{63,65}Zn, ^{27}Al(α,α'γ)^{27}Al, ^{27}Al(α,nγ)^{30}P, ^{27}Al(α,γ)^{31}P, and ^{27}Al(α,pγ)^{30}Si. These tests were documented, and part of the work was presented as the Bachelor's Thesis of Pedro Viñals Muñoz.

MRR-ISRS-SPAIN (IP: Teresa Kurtukian Nieto, CIE2301005 MICIN-MRR-Next generation EU)

Design of a prototype for the ISRS (ISOLDE Recoil Separator) a novel high-resolution magnetic separator that is to be installed at HIE-ISOLDE, CERN's high-energy radioactive beam facility.ISRS consists of a storage ring that enables fragment mass identification using Fixed Field Alternating Gradient (FFAG) beam dynamics and multi-function superconducting solenoids that deflect the beam without an iron core. The solenoids are of the CCT (Canted Cosine Theta) type, whose winding is inclined with respect to the axis of circulation of the beam and generates the multipole components of the magnetic field necessary to optimize the transport of the beam. The solenoids are installed in cryostats adapted to the circulation of the ion beam. Analysis of the reaction fragments is performed by coupling the storage ring to a multi-harmonic ion packer (buncher) and a focal plane that identifies the energy and charge of the reaction fragments.

Nucleosísntesis estelar en fases avanzadas de combustión y escenarios explosivos: combustión de oxígeno, núcleos cosmogénicos, nucleosíntesis más allá del hierro. (IP: Teresa Kurtukian Nieto y Luis Acosta, MCIU-AEI- PID2023-147569NB-C21)

Study of fundamental properties of the atomic nuclei and nuclear reactions that allow obtaining inputs of interest for stellar nucleosynthesis. We study quiescent nucleosynthesis, namely fusion reactions within the core of the stars as well as explosive nucleosynthesis, such as the intermediate neutron-capture process or i-process, or the late stages of massive stars such as Core Collapse Supernova (CCSN) explosions, or Binary Neutron Star Mergers (BNSM), where the rapid neutron capture process or r-process mainly takes place.

In particular we aim to study the oxygen burning 16O+16O fusion reaction case, direct and indirect measurements of cosmogenic nuclei 26Al and 10Be cases, measurement of thermonuclear (p,gamma) reaction rates for the production of 44Ti in type II supernova explosions, as well as the nucleosynthesis of trans-iron elements, including r-process seeds, the 6He case, the first (N~50) and last (N~126) waiting points, and the optical potentials for the astrophysical p-process.

Study of single-particles states in fp-shell nuclei through the ^{50}Ca(d, p)^{51}Ca transfer reaction at RIBF-RIKEN (PID2023-150056NB-C42 and PID2020-118265GB-C41, **PhD student Carlos Ferrera González, Andrea Jungclaus)**

The SHARAQ12 experiment was carried out at the RIKEN-RIBF facility (Wako, Japan) in December 2022 and May 2024, with the aim to study the single-particle structure of ^{51}Ca through the ^{50}Ca*(d, p)* ^{51}Ca transfer reaction.

Particle separation and identification of the incoming beam produced at RIBF was performed with the BigRIPS separator in combination with the OEDO beamline, then conducted to a secondary target of CD_2 where the reaction of interest was set to take place, and heavy recoils were eventually identified and stopped at the SHARAQ spectrometer placed downstream to the target. Throughout the beamline, a set of detectors including a CVD diamond, several SR-PPAC tracking detectors and a segmented ionization chamber provided event-by-event timing, position and energy loss information. This enabled beam monitoring based on the mass-to-charge ratio and atomic number of individual ions. The core experimental conditions remained largely consistent between the 2022 and 2024 campaigns. However, key improvements in the latter included an increase in the target thickness (from 260 μg/cm² to 644 μg/cm²) and enhanced beam transmission, both contributing positively to the overall experimental performance.

Surrounding the CD_2 target inside the reaction chamber, the TiNA2 segmented silicon detector array was employed to measure the energy and emission angles of protons released from the one-neutron transfer reaction. Combining the data from TINA2 with the beamline detectors allowed for the unambiguous identification of ^{50}Ca*(d, p)* ^{51}Ca transfer reactions. From these data, a missing-mass excitation energy spectrum was reconstructed, revealing several spectroscopic states whose angular distributions were subsequently extracted.

This analysis enabled the determination of spin-parity assignments for states exhibiting single-particle strength in ^{51}Ca, as well as the extraction of spectroscopic factors within the fp-shell nuclear region. These findings expand the current body of knowledge on the neutron-rich calcium isotopic chain, fulfilling the main objective of the study. The results of this project were summarized in a manuscript submitted to the journal Physical Review C in November 2025.

Experiments NP1912-RIBF193, NP1912-RIBF189: In-beam gamma-ray spectroscopy of ^{136}Te at relativistic energies measured with the HiCARI spectrometer at RIBF (PID2023-150056NB-C42, **PhD student Jaime Acosta, Dr. Andrea Jungclaus)**

During the fall of 2020 and spring of 2021, a series of in-beam experiments employing an array of HPGe detectors called HiCARI were carried out at the RIBF facility in Japan. From the fragmentation of a 238U beam at 345 MeV/u on a primary Be target, a relativistic cocktail beam composed of several nuclear species was produced and transported through the BigRIPS spectrometer. A secondary target was placed at the end of BigRIPS, causing different reactions (knockout reactions, Coulomb excitation…) which left the nuclei in excited states. The gamma-rays emitted following the decay of these states were detected in the HiCARI array in coincidence with the outgoing ions, leading to Doppler-corrected energy spectra from which transition energies, excited-state half-lives and excitation cross sections could be extracted.

A description of the data analysis along with our first results were published in an article for the Physical Review C journal in June 2025 (https://doi.org/10.1103/mysq-byyv). A thorough analysis of 136Te - populated both from 137Te via one-neutron knockout and through inelastic scattering on two different targets (Be and Au) – was subsequently performed. The results were included in the PhD thesis of the student Jaime Acosta, and a new article is currently in progress.

The main results consist of the measurement of new transitions in 136Te and their placement in the level scheme, with the corresponding spin and parity assignment, as well as the measurement of excited-state lifetimes through lineshape analysis. The achieved results not only expand our knowledge of 136Te - an important nucleus from the perspective of shell-model studies of nuclear structure - but also highlight the potential of high-resolution detectors in in-beam spectroscopy experiments.

Exploring quadrupole and octupole collectivity beyond ^{78}Ni through B(Eλ) measurements of ^{86,88,90}Se at RIBF-RIKEN (PID2023-150056NB-C42, **PhD student Carlos Ferrera González, Andrea Jungclaus)**

The in-beam γ-ray spectroscopy experiment NP1912-RIBF190 was conducted in November 2020 at the RIKEN-RIBF facility (Wako, Japan) as part of the HiCARI project, a temporary setup of HPGe detectors. Three cocktail secondary beams, produced at RIBF and centered on ^{85}As,^{87}As, and ^{90}Se in the BigRIPS spectrometer, were directed at relativistic energies onto two secondary targets (bismuth and beryllium). These interactions generated a broad range of nuclear reaction channels, which were identified using the ZeroDegree spectrometer located downstream of the reaction chamber.

Thus far, the data analysis has focused on the inelastic excitations of even–even Se nuclei, aiming to extract reduced transition probabilities B(Eλ) for excited nuclear states. Two methods based on the analysis of Doppler-corrected γ-ray spectra have been employed: the first involves a direct extraction from the corresponding half-life and energy of the excited states, while the second relies on the measurement of angular cross sections to perform a Coulomb excitation analysis.

IS633: β-decay as a probe of the 2^+ isospin doublet of ^{8}Be (Maria Jose Garcia Borge, Olof Tengblad, Daniel Fernandez Ruiz)

The existence of an isospin 2^+ doublet in ^{8}Be, composed of the excited 2^+ states at 16.6 MeV and 16.9 MeV, has been experimentally observed since the 1950s. A curious phenomenon observed during these experiments is that the feeding rate to these states through reactions does not correspond to pure isospin (T) states. In the 1960s, Marion proposed that both states have a configuration of an independent particle coupled to a compact core, 16.6 MeV (^{7}Li + p) and 16.9 MeV (^{7}Be + n), respectively, and due to isospin coupling rules, a nucleon coupled to ^{7}Li or ^{7}Be cannot form a well-defined isospin state. Therefore, both states contain T = 1 and T = 0 components.

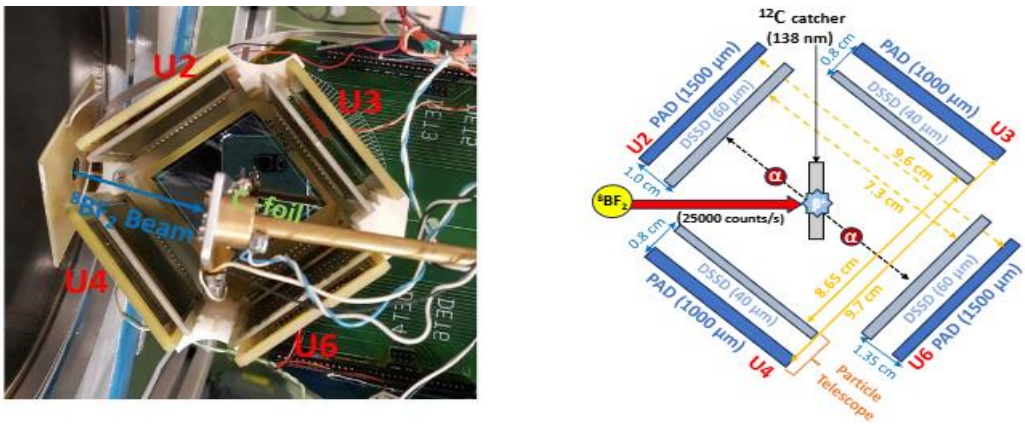
F. Barker developed this idea further and added the premise that both levels are so close in energy and so isolated from the rest that they only influence each other, and other levels do not exert any influence. Based on this, he proposed a simple doublet model in which the wave function of each state can be decomposed into a T = 0 component and a T = 1 component: $|16.6\rangle = \alpha^2\,|T=0\rangle + \beta^2\,|T=1\rangle$ $|16.9\rangle = \beta^2\,|T=0\rangle - \alpha^2\,|T=1\rangle$ where α and β are the mixing coefficients. Based on later analysis, Barker proposed that these coefficients are identical, which would indicate that the mixing of both components is complete (or equivalently, that there is an identical contribution of T = 0 and T = 1).

Later experiments appear to indicate that the model is correct; however, there is no conclusion regarding the mixing coefficients. A common factor in these experiments is that reactions were used to populate the states. In contrast, beta decay has not been used as a probe. The main advantage of beta decay is that it has two possible decay modes: Fermi (which does not change isospin) and Gamow–Teller (which changes isospin). For the specific case of the decay of ^{8}B to

^{8}Be, the Fermi process can only occur if T = 1 components are present, and the Gamow–Teller process will be concentrated in the T = 0 component (which is supported by theoretical calculations in the Shell Model). In this case, knowing the Fermi and Gamow–Teller ratios is equivalent to knowing the state mixing.

The main limitation of the decay is that the dominant decay branch is the one that goes to the excited state at 3 MeV, which represents almost 88% of the beta intensity. Only 10% goes to the doublet.

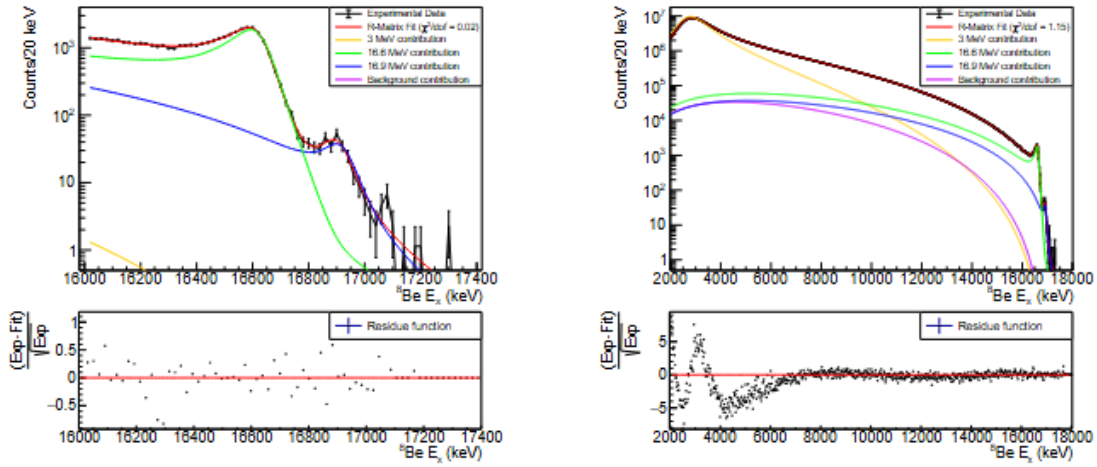
Our group, together with our collaborators from the MAGISOL group, carried out experiment IS633 at the IDS station within the CERN/ISOLDE laboratory with the objective of investigating the isospin 2^{+} doublet of ^{8}Be through the β^{+}/EC decay of ^{8}B. A molecular beam of $^{8}BF_2$ at 50 keV was implanted into a carbon foil of 30 mg/cm². When the ^{8}B nucleus decays (by electron capture (EC) or β^{+} decay), the excited states of ^{8}Be are populated. Since all excited states of ^{8}Be are unbound, they break into two alpha particles or into a proton and ^{7}Li, depending on the populated level. This process occurs much faster than gamma decay and therefore all the information about the levels is contained in the alpha-alpha particle pair. A system of four particle telescopes (DSSDs of 60 µm or 40 µm backed by 1500 µm) was used to detect the breakup fragments, allowing detailed spectroscopy.



Right: Scheme of experiment IS633: the $^{8}BF_2$ molecules are implanted into a carbon foil of 31 µg/cm², ^{8}B decays into ^{8}Be, which in turn breaks emitting two alpha particles detected through a system of four particle telescopes. Left: Final setup used to perform the experiment.

The statistics of the excitation spectrum obtained in this experiment is two orders of magnitude higher than in the previous experiment, which allowed a clear observation of the isospin doublet for the first time. The beta intensity spectrum obtained confirms that the doublet (or at least the Fermi and Gamow–Teller intensities that feed it) is independent of other levels, which is a direct confirmation of Barker's model.

To obtain the mixing coefficients, we performed an R-matrix fit. The fit originally used only three resonances corresponding to the levels at 3, 16.6 and 16.9 MeV. However, to achieve a satisfactory fit, an additional background level (BKG) had to be added to model the influence of higher-energy levels. With these levels, a satisfactory fit was achieved, yielding a mixing coefficient of $\alpha^2/\beta^2 = 1.47$, larger than Barker's results.



Left: R-matrix fit to the excitation spectrum region around the isospin doublet. Right: Fit to the complete excitation spectrum. In both cases, all resonances are shown. Below, the residual functions are shown, indicating the quality of the fit.

As support for the R-matrix results, the data were reanalyzed using the beta-recoil method, in which information about the beta decay is extracted from the small asymmetries in the energy distribution between the two final particles. Although less precise quantitatively, this method allows us to see how the Fermi and Gamow–Teller components evolve qualitatively. The results indicate that the Gamow–Teller process dominates the entire spectrum outside the doublet. Inside the doublet, the Fermi component increases rapidly in intensity, although the Gamow–Teller component remains slightly larger, confirming our R-matrix results.

Our results have served as the basis for multiple conference presentations. This year we have prepared an article for Physical Review Letters (PRL), which is currently under review.

Studying the structure of ^{11}Li through transfer reactions (Olof Tengblad, Angel Perea, Maria Jose Garcia Borge, Daniel Fernandez Ruiz)

The nucleus ^{11}Li was the first nucleus classified as a "halo nucleus", a type of nucleus, typically light and close to the drip line, that exhibits an unusually large spatial extension, deviating from the standard formula for the radius $r = r_0 A^{1/3}$. Despite being a very studied nucleus, there is no consensus on the excited states of ^{11}Li. A limitation of these experiments is that they attempt to populate the excited states of ^{11}Li through excitation of the ground state. The problem with this approach is that the ground state is quite complicated and its wave function has s, p, and d wave contributions. Therefore, there are many different reaction channels besides excitation to the first excited state that contaminate the data.

Our group proposes a new approach. Instead of traditional methods, we aim to directly populate the excited states of ^{11}Li using the two-neutron transfer reaction ^{9}Li(t,p)^{11}Li. This approach takes advantage of the simpler structure of ^{9}Li, avoiding the complications associated with the complex ground state structure of ^{11}Li and offers a more direct way to investigate its excitation spectrum. A problem with this method is that tritium is unstable and has a short half-life, so a conventional target cannot be fabricated. This forces us to perform the reaction in inverse kinematics, that is, using ^{9}Li as the projectile on a tritium target.

Experiment IS690 was carried out by our group at the XT03 (SEC) beamline of the HIE-ISOLDE post-accelerator at the ISOLDE-CERN facility, with the purpose of clarifying the excited structure of ^{11}Li by directly populating resonant states through the ^{9}Li(t,p)^{11}Li reaction. A ^{9}Li

beam, post-accelerated to 7 MeV/u in the HIE-ISOLDE accelerator, impinges on a tritium target (^{3}H absorbed in a Ti foil of 1 μm with a ratio of 0.47/1). The resulting reaction products are detected using a particle detector system based on silicon detectors. The detector configuration consists of the following elements:

• Five particle telescopes formed by two DSSDs W1-60 mm detectors in front and silicon PADs MSX25-1500 mm behind, arranged in a pentagon covering angles from 37° to 84°.

• Two circular silicon detectors (CDs), each S3-1000 mm, forming a telescope and covering the forward direction from 6° to 32°.

• An additional CD (S5-300 mm) covering the backward direction from 100° to 145°.

• Between the S5 and the pentagon we placed a holder for five targets that can be changed using an external lever. Each target is used to measure different channels. The targets are: a gold target to measure elastic scattering, the tritium target already mentioned, an empty target used to let the beam pass and perform intensity measurements, a titanium target with the same properties as the tritium target used to measure background channels, and a deuterated plastic target used to measure the ^{9}Li(d,p)^{10}Li channel.

The analysis of the experimental data is ongoing. So far, we have been able to observe the deuteron scattering channel in the data from the deuterium target with good clarity, and we are working with the tritium target data. The main problem is that the (t,p) channel has a very small cross section and therefore high statistics are required to observe it clearly.

Our preliminary results were presented last year as a poster at the XVI CPAN DAYS conference, where we won the award for best poster. This year we presented the results at the international nuclear physics conference (INPC) in South Korea. Our presentation is the basis of a proceedings article that will be published soon. Preliminary results were also presented as a poster at the IReNA-CeNAM 2025 conference, *Frontiers in Nuclear Astrophysics Meeting*, at Ohio University in May 2025.

IS690-B: Exploring the resonances of ^{13}Be via transfer reactions (María José García Borge, Olof Tengblad, Sebastián Gómez García)

The IS690-B experiment is the continuation of experiments carried out at ISOLDE-CERN on the XT03 (SEC) beamline of the HIE-ISOLDE post-accelerator, aimed at studying reactions of light neutron-rich nuclei. Data taking was successfully completed in October 2025. The main goal of this new campaign is the study of the excited structure of the unbound nucleus ^{13}Be.The resonant nucleus ^{13}Be is key to understanding the structure of the two-neutron halo nucleus ^{14}Be, whose core is also deformed. The excited structure of ^{13}Be has been studied using invariant-mass and missing-mass techniques in experiments performed at RIKEN and at GSI at relativistic energies.

As in the first experiment of the campaign with the ^{11}Li nucleus, the properties of the excited states of ^{13}Be obtained from these two methods are found to differ. Following the technique of the previous experiment, the objective is the transfer of two neutrons from ^{11}Be via (t,p) reactions.The same type of detectors as in the IS690 experiment were used, with the addition of a new-generation array of GAGG(Ce) scintillators [$Gd_2Al_2Ga_3O_{12}$:Ce] in order to measure nuclear de-excitations. The same targets were used except for the gold target, which was replaced by an aluminum target with a hole to check beam alignment. In addition, a stable ^{22}Ne beam was used to verify the proper functioning of the data acquisition system.

The ongoing analysis has been able to identify the reactions ^{11}Be(d,d)^{11}Be*, ^{11}Be(d,p)^{12}Be*, ^{11}Be(p,p)^{11}Be*, and ^{11}Be(d,t)^{10}Be* with the deuterated CD_2 target (similar reactions were observed with the stable ^{22}Ne beam). For the target of interest, the tritium target, we were able to

observe the ^{11}Be(t,t)^{11}Be channel, and there are indications of the production of ^{11}Be(t,p)^{13}Be. Part of these results were presented in a contributed talk at the XVII CPAN Days conference in Valencia in November 2025.

WASA@FRS: DeepHyp & DeepHyp 5º - Deep learning techniques for the study of exotic hypernuclei (CAM-Talento ref: 2019-T1/TIC-13194 & 2023-5A/TIC-28925) **(C. Rappold, S. Esrig López)**

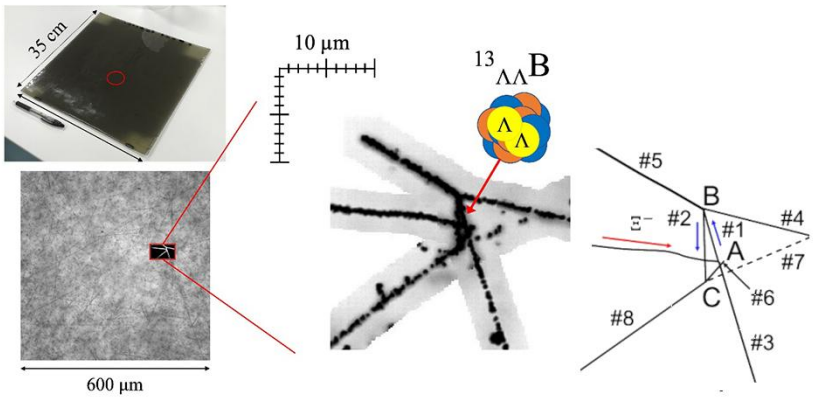
Within the WASA@FRS collaboration, experimental campaigns took place successfully in the first trimester of 2022, completing the S447 experiment on hypernuclear spectroscopy and the S490 experiment on eta-prime nuclei at the GSI-FAIR facility in Germany. In 2019, the central part of the WASA detector was transported to GSI-FAIR. In the S447 experiment, the WASA central detector system is combined with the Fragment Separator (FRS) at GSI. Fragments emitted forward from hypernuclear decay are measured by the second half of the FRS (S2-S4) with excellent momentum resolution. Meanwhile, light particles from hypernuclear decay are measured by the WASA detectors. The DeepHyp project focused first on preparing the S447 experiment and is now concentrating on analyzing the resulting data. New analysis methods based on deep learning aim to improve hypernuclear spectroscopy. The main objective is to address the current hypertriton lifetime puzzle and confirm the nnΛ observation. Preparing the experiment was a main part of the DeepHyp project plan for 2021. The commissioning run took place in January-February 2022, followed by data taking in March 2022. Geant4 simulations of the realistic experimental apparatus were finalized, and more realistic efficiencies for particle tracking and event reconstruction were estimated. The ion optics of S2-S4 were optimized for high fragment acceptance with an expected resolving power of 5200. New deep learning algorithms are being developed for track finding using graph neural networks. We have started R&D on a new silicon microvertex detector for precise estimation of the interaction vertex in nuclear collisions. Data analysis is ongoing, with the first tasks focused on detector calibrations of the full setup. Particle identification has allowed us to observe pions, protons, and fragments within the WASA detection system and the FRS S2-S4 high-resolution spectrometer. After particle identification and the development of a graph neural network model for track reconstruction in the WASA detector system, we obtained the first indications of the production and observation of the 3ΛH hypernucleus and the Λ hyperon. The signals were observed in their respective invariant mass spectra. The signal strengths were still weak, and further improvements in signal-background discrimination were necessary.

Our data analysis work with collaborators from HENP-RIKEN on nuclear emulsions from the J-PARC E07 experiment continued. To analyze a large amount of image data efficiently, we introduced an object detection technique using the deep learning model Mask R-CNN to detect decayed hypertritons. The ongoing analysis has led to the identification of hundreds of 3ΛH and 4ΛH decay topologies. After extensive work calibrating the track-range-to-energy relation, we reported precise measurements of the Λ binding energy in 3ΛH and 4ΛH. New AI development is now directed toward unsupervised learning to analyze all emulsion plates by segmenting and discriminating charged particle tracks throughout the full volume of the emulsion stacks.

NewHyp - New developments based on machine learning techniques in the search for hypernuclear signals in the 6Li-12C and 12C-12C collisions of the WASA-FRS HypHI experiment (AEI ref: CNS2022-135768) **(C. Rappold)**

Multimessenger observations in astrophysics have become key to constraining the nuclear equation of state and the properties of neutron stars. The stellar properties of a neutron star are largely determined by baryonic interactions. Constraints from experimental heavy-ion observations show remarkable consistency with astrophysical measurements and provide complementary information at intermediate densities. In this context, the production of exotic hypernuclei in ion-induced reactions is expected to add precise observables at higher densities than those reached in previous experiments.

The project applies machine and deep learning techniques to study hypernuclei produced in nuclear collisions of 6Li+12C and 12C+12C at 2 GeV/u in the WASA-FRS experiment. The current data analysis shows evidence of hypernuclei produced in ion-induced reactions. However, the signal strength was insufficient to determine a hypernuclear lifetime. Within the project, machine learning methods were developed to improve the data analysis and its signal-to-background ratio. We improved this ratio from 1:5000 to 2.5:1, enabling a more precise estimate of the lifetimes of 3ΛH and 4ΛH hypernuclei. This result was cross-checked by reconstructing the Λ hyperon signal and shows that we now have a better estimate of the lifetime observable than in our 2009 experiment. Another development in machine learning was performed for data compression of digitized waveforms of detector signal amplitudes. Effective compression and decoding were achieved with an autoencoder model, and future deployment on FPGAs is anticipated. Moreover, collaboration with RIKEN on analyzing nuclear emulsions from the E07 experiment at J-PARC led to the unambiguous discovery and identification of the 13ΛΛB hypernucleus. It is the second hypernucleus uniquely identified in history, as shown in the figure below. This discovery was enabled by our AI techniques for searching specific vertex topologies in the large dataset of nuclear emulsion images.



AI for hypernuclear event search (Programa Momentum ref: MMT24-IEM-2) (C. Rappold, L. Acosta Sanchez, D. Calonge González)

The main goal of this research is to advance the study of hypernuclear events in ion-Induced reactions and nuclear emulsions through the application of Artificial Intelligence (AI). The work will focus on two key experimental datasets: the WASA-FRS experiment at GSI-FAIR in Germany and the E07 emulsion experiment at JPARC in Japan. Novel deep learning techniques will be developed to analyze nuclear collisions at 2 GeV/u and the E07 emulsion data, thereby improving the detection of hypernuclear signals. Additionally, innovative AI methods for hypernuclear spectroscopy experiments will be employed to enhance the separation of background contributions from hypernuclear signals during invariant mass reconstruction and emulsion data analysis. The project also seeks to refine the determination of interaction points in collision events. The development of machine learning classifier to improve the signal-to-background ratio has been completed. After training and testing 14 machine learning methods, a

Boosted Decision Tree (BDT) based on XGBoost was identified that provides strong separation of the hypernuclear signal from background events yielding an improvement of more than 12000. The result was carefully checked to ensure that no biases were introduced in the signal selection and that the classifier genuinely enhanced the signal strength. The initial work on primary vertex determination using deep learning was successful. Eearly deep learning models were not sufficiently efficient because of the sparse representation of detector hit patterns. A new architecture based on embedding layers and a transformer was developed and a vertex position precision of 450 μm with 100% efficiency was achieved. Next, the research aims to improve observation efficiency for various hypernuclei, as well as potentially unknown double-strangeness hypernuclei by leveraging segmentation models and graph neural networks. The overall aim is to address unresolved questions regarding the lifetime and binding energy of the hypertriton. Furthermore, the research seeks to demonstrate that these cutting-edge experimental approaches will pave the way for the first-ever observation of proton-rich hypernuclei.

R&D on digital electronics for Timestamp and Analog-Digital Convertor with FPGA chips (CAM: Programa INVESTIG2023 ref: INV23-IEM-M2-14) **(C. Rappold, L. Pardi)**

In our research in experimental nuclear physics, we are building a micro-vertex detector system using micro-strip silicon sensors coupled with front- and back-end electronics. The detection system aims to measure the interaction point of nucleus-nucleus collisions at high energy. The current development is being realized jointly with the ALIBAVA System and IFIC-CSIC. We worked on improving the digital electronics of the detector. We developed new FPGA code for the back-end electronics to enhance data-rate capability, integrate the White Rabbit timestamp, and implement a local trigger board that synchronizes data acquisition across the four silicon tracker stations. Additionally, we improved synchronized data acquisition for the three back-end boards to ensure seamless integration with the MBS data acquisition system at GSI-FAIR. We collaborated with the Experiment Electronics Department at GSI-FAIR for this purpose, and they provided the necessary code to include in our data acquisition software. This allows the inclusion of the new detector array in the GSI-FAIR DAQ for future WASA-FRS collaboration experiments at FRS and SuperFRS.

Relevant Resonant States of ^{11}B in the Study of ^{11}Be β^-p^+ Decay: (JAEPR23038, **D. Movilla Quintero (PhD student), B. Olaizola**)

There has been significant interest in the structure of light neutron-rich nuclei unbound states, and specifically, states near the light particle drip line. Moreover, it has been suggested that β^--delayed proton emission (β^-p^+) is a process available in some neutron-rich nuclei. Even though this decay seems anti-intuitive, it is allowed for nuclei in which their neutron separation energy is $S_n < 782$ keV. As an example, ^{11}Be, which is a halo nucleus, satisfies this condition due to $S_n = 501.6$ keV. Therefore, the process of interest in this case is $^{11}\text{Be} \rightarrow {}^{10}\text{Be} + p^+ + \beta^-$.

Recent experiments suggest that this process is sequential via narrow resonance in ^{11}B, which may explain why theoretical calculations do not yet agree with what is observed experimentally. Therefore, it is not clear what the actual underlying mechanism of this decay is and which theoretical model describes it. The resonant states near the thresholds could be influenced by the neutron and proton emission lines. The theoretical calculations take the values of energy, spin-parity, width and partial widths of the states near the proton emission threshold. In fact, additional experiments are needed to evaluate the characteristics of the proposed resonant state in ^{11}B and

those closer to it. Moreover, analyzing the neutron emission spectrum in ^{11}B is relevant because of its behavior as an open quantum system above the light particle thresholds.

A ^{10}B(d,p) experiment was performed at HELIOS (Argonne) to look in depth at the intermediate states of ^{11}B, especially those close to the light particle emission lines. The alpha, neutron and proton emission channels are currently being analyzed.

S1723: Shape coexistence in even-even neutron-rich iron isotopes via angular correlations (Bruno Olaizola Mampaso, Daniel Movilla Quintero) (JAEPR23038)

One of the major deviations discovered in recent years beyond the independent particle layer model is the existence of inversion islands. It has been experimentally demonstrated that they tend to appear in shell closures on magic numbers. In addition, quite a few studies have begun to investigate the "non-magic" region of N=40, which represents the boundary between the negative-parity pf-shell and the positive-parity sdg shell. Measurements of B(E2) values and E(2^+) in the region show increased collectivity through the N=40 shell gap, with the clear exception of ^{68}Ni, and deformation and shape coexistance have been identified in the area, combined with theorethical calculations suggest inversion levels.

This project investigates $^{62\text{-}64\text{-}66}$Fe nuclei in order to obtain relevant information on the spin-parity and energy of the 0_2^+ states, that directly induces the possibility of shape coexistance due to favorable energy states due to collectivity effects. Thus, experiment S1723-2022 was perfomed at GRIFFIN (TRIUMF) with the aim of analysing these nuclei with high-precision angular correlation calculations, obtaining reliable results on the spin-parity of the excited levels in these nuclei, that can give additional information to this topic via rotational bands / nucleus deformation.

IS709: Exploring shape coexistence across N=60 in $^{100}Sr_{62}$ using IDS (PIE-20235AT018, **Bruno Olaizola Mampaso, Jesús Sánchez Prieto)**

The region around N≈60 with Z≤40 has generated considerable interest as it features the most abrupt shape transition known to date in the nuclear chart, when crossing from N=58 to N=60. This transition is closely linked to shape coexistence, a phenomenon where two or more states with different intrinsic shapes coexist within the same nucleus at low excitation energy and within a narrow energy range. Specifically, the sharp change arises from the inversion of two distinct quantum nuclear configurations, each corresponding to different nuclear shapes. These shifts are interpreted as quantum phase transitions, indicating a fundamental transformation in nuclear properties. This phase transition emphasises the importance of nuclear deformations and the variety of shapes present in neutron-rich nuclei such as strontium.

The IS709 experiment at the ISOLDE Decay Station (IDS) aims to investigate the phenomenon of shape coexistence across the N=60 region in Sr isotopes, with particular emphasis on Sr. Excited nuclear states were populated via β and β–n decay of Rb beams and studied with 13 Clover HPGe detectors optimised for γ–γ angular correlation measurements, allowing a precise determination of transition multipolarities and spin assignments. In parallel, the SPectrometer for Electron DEtection (SPEDE) was employed to measure internal conversion electrons, providing direct access to E0 transition strengths, which jointly enable the identification of excited 0 states.

IS622: Cu decay into neutron-rich Zn isotopes: shell structure approaching ^{78}Ni: (RYC2021-031494-I, **B. Olaizola)**

This experiment aims to study neutron-rich Zn isotopes near ^{78}Ni to explore the evolution of proton and neutron shell gaps. Neutron-rich Zn isotopes, particularly A=74 to A=79, are pivotal for understanding nuclear structure as they bridge gaps in our knowledge of the nuclear shell model, especially near the neutron-drip line. Recent discoveries challenge established concepts of magic numbers, suggesting the potential for new physics in isotopes far from stability, including phenomena like shape coexistence.

The research focuses on the β decay of Cu isotopes to Zn, aiming to refine the level scheme and measure lifetimes of transitions, thereby shedding light on collectivity and shell evolution near N=50. The experimental setup includes the ISOLDE Decay Station with advanced detection equipment for precise measurements. Key motivations are the structural insights into odd-even Zn isotopes and the resolution of discrepancies in experimental data for even-even Zn isotopes. This research could significantly impact our understanding of nuclear structure and astrophysics, particularly regarding the r-process in nucleosynthesis.

This experiment has already generated a wealth of data that is being analyzed by a number of students, as shown by the Master Thesis defended in previous years. A fraction of the data was just published (Olaizola *et al.* Physics Letters B 866 (2025) 139551 2) and several more manuscripts will be submitted this years.

S1765 Study of the octupole deformation of n-rich Ba isotopes with GRIFFIN: (RYC2021-031494-I, **B. Olaizola, N. Díaz-Marta Pareja**)

This experiment tried to locate where octupole ("pear-shaped," reflection-asymmetric) deformation becomes strongest in neutron-rich barium near Z=56 and N~88–90, a region where models disagree and data are sparse (with recent Ba results already challenging theory). We populated $^{147–152}$Ba through beta decay of $^{147–152}$Cs at TRIUMF and measured level schemes, spin/parities (via angular correlations), and especially lifetimes of low-lying 2+ and 3- states to quantify quadrupole collectivity (B(E2)) and constrain octupole correlations (and future B(E3) work), including the even-even vs odd-A evolution toward possible static octupolarity. A parallel motivation was improving beta-delayed neutron information (half-lives and Pn) for these neutron-rich Cs isotopes, which affects r-process freeze-out modeling and delayed-neutron data relevant to reactor decay heat.

N. Díaz-Marta Pareja analyzed a part of these data as her Master Thesis.

Design of nanosensors for pollutant detection (Santiago Sánchez Cortés)

The design of sensors based on nanostructures continued to be one of the main objectives of the experimental work of our group during the year 2023. These sensors require the synthesis of nanostructures with advanced optical properties. The interaction of light of an appropriate wavelength with nanoparticles (NPs) leads to a high enhancement of the local electric field, which is the fundamental principle on which molecular detection by Raman and fluorescence enhanced by nanostructures is based. In recent years we have developed various methods for the synthesis of nanoparticles with interesting applications in spectroscopy and catalysis. Among these nanoparticles are silver nanostars, which present specific morphological properties leading to high intensification of the electromagnetic field. The use of metal nanostars was generalized to the design of all the SERS sensors highly efficient in the detection of numerous substances of environmental and biological interest, as well as pigments with interest to the Cultural Heritage.

Furthermore, the design of nanosensors often involves modifying the physicochemical properties of nanoparticles through functionalization. This functionalization can be achieved by the self-assembly of organic molecules onto the nanostructures, increasing the sensitivity and selectivity of the fabricated nanostructures and resulting in high-performance surfaces that combine the physical properties of the metal with the chemical properties of the self-assembled organic molecules. During 2025, we continued in the use of the functionalization of nanoparticles with assembly macromolecules. This research was conducted within the framework of the collaboration between our group and researchers from PJ Safarik University in Kosice, Slovakia, and the company Saftra Photonics. This company has licensed the patent developed by our group for the detection of glyphosate and other pollutants from the group of persistent organic pollutants (organochlorines, perfluorinated compounds, etc.).

One of the lines of research that has been most extensively developed in the last year has been the study of nanoparticle aggregation phenomena, giving rise to interesting plasmonic effects such as the effect on plasmon hybridization in closely spaced Ag nanoparticles, resulting in points of high intensification or hot spots. These effects have been tested in the detection of contaminant molecules such as fungicides used in the treatment of fruits and vegetables and neonicotinoid pesticides, with the aim of optimizing the spectroscopic signal derived from these analyses.

Plasmonic effects and biomolecule analysis (Santiago Sánchez Cortés)

The excitation of plasmons in nanostructured metals, mainly silver and gold, can be used in the study of biomolecules. This type of analysis allows a characterization of biomolecules at physiological concentrations, which allows their characterization at concentrations similar to the biological media where they are found.

The plasmonic effects analyzed were the following: a) localized surface plasmon resonance (LSPR); b) interparticle hybridization of plasmons, manifested through nanoparticle aggregation processes; and c) the intensification of the electric field induced fundamentally in the points of maximum field intensification located in interparticle spaces or gaps, and in tips generated in fabricated nanoparticles bearing an anisotropic morphology. This last effect is responsible for the SERS (Surface-enhanced Raman Scattering) technique.

These effects present a promising application in the field of biophotonics. During 2025, different metal substrates have been used to carry out the study of the adsorption of peptides on nanoparticles. The adsorption of peptides allows the biofunctionalization of surfaces with the aim of designing biological sensors capable of detecting the presence of pathogens.

During 2025, research continued on the use of plasmonic nanoparticles for the analysis of complex biological systems. Progress was made in the study of different fungal species and the modification of their Raman spectra under varying conditions. Initial results were very promising in the application of SERS to identify different fungal species. Advances were also made in the study of polyphenolic molecules present in plant tissues, such as oak galls. These substances will be used in the biofunctionalization of nanoparticles for molecular detection. In this area, machine learning techniques have begun to be applied to AI algorithms for processing the complex spectra derived from the analysis of these highly complex biological materials.

Progress has been made in the development of plasmonic sensors for the detection of volatile organic compounds. These sensors involve the development of nanostructures that allow for the immobilization and subsequent detection of gaseous molecules at low concentrations. These systems have been applied to the study of volatile molecules emitted by fungi, which are sulfur-containing in nature. This analysis is being complemented by others performed using gas

chromatography coupled with mass spectrometry to establish a comparison between the analytes detected by each of these techniques.

Finally, progress has been made in the line of research on plasmonic catalysis, a lesser-known effect of plasmonic nanoparticles in which a transfer of heated carriers occurs from the metal to the adsorbate, which can induce chemical transformations in the molecules adsorbed onto the metallic nanostructures. These processes have been applied to neonicotinoid pesticides, molecules that undergo degradation in the presence of silver nanoparticles.

Spectroscopic techniques applied to the study of cultural heritage (Santiago Sánchez Cortés, María Vega Cañamares Arribas)

The investigation of iron gall inks present in ancient manuscripts has continued during 2025 in order to make a discrimination of the different types of inks used in the same document or similar documents, where different inks used by several people can be analyzed. The main objectives of this work were: a) discrimination of iron gall inks in manuscripts written at the same time through the use of Raman, infrared and XRF spectroscopy; b) identification and assignment of the Raman spectral markers of similar writings and their correspondence with the chemical structure of the components; c) evaluation of the effect of aging on the spectral signals in order to find temporary spectral markers, which can contribute to knowing the approximate age of the writings and the possible subsequent modifications made to the manuscripts over time. This work is being completed with the manufacture of iron gall inks in our laboratory following the recipes found in ancient manuscripts, for later comparison with inks from the historical manuscripts. These studies are being carried out thanks to collaborations with the Ca`Foscari University of Venice, Patrimonio Nacional of Spain and the Academy of Fine Arts of Vienna. For example, studies have been conducted on the inks found in 17th-century documents related to Spanish Golden Age theater plays, and research has also been carried out to determine the authenticity of some 15th-century texts about which there were doubts.

A new line of research has been initiated, applying machine learning methods to process the massive amounts of data resulting from the study of ink in historic documents. The aim is, firstly, to identify the different molecular components present in the inks and, secondly, to perform a comparative analysis of the distribution of these components in order to relate them to the degradation of inks and paper in manuscripts. This approach allowed us to identify different families of inks based on the molecular markers found and their state of degradation, further relating these parameters to the metal composition of the inks.

The application of Raman and FTIR (Fourier Transform Infrared) spectroscopy to the analysis of materials contained in inks found in Egyptian burial chambers has been another task undertaken by our group this year. This type of study is highly challenging, as it must be carried out in situ using portable instrumentation capable of being introduced into the burial chamber. Raman spectroscopy has been used to analyze the pigments contained in these inks. However, the high organic content of these substances has greatly complicated this application. The DRIFT (Diffuse Reflection Infrared Fourier Transform) technique has allowed for the *in situ* characterization of these inks, although the most intense signals in this case originate from filler and binding materials. However, DRIFT spectra have provided important information about the content of materials such as calcite, gypsum, animal glue, waxes, and oils. These materials exhibit different signals at different points, allowing us to distinguish the work of different scribes on the studied panels. This research is being carried out in collaboration with researchers from the Institute of Languages and Cultures of the Mediterranean and the Near East (CSIC). Within this collaborative framework, a new line of research called Experimental Archaeology has been

initiated, which aims to reconstruct the inks used by scribes some 3,500 years ago in Luxor. Finally, analyses have been performed on ostraca—rock fragments used in the rewriting of funerary texts—held in museums in the United Kingdom and France to compare the inks of these texts with those found on the wall texts of the burial chambers studied in Egypt.

The study of underwater heritage and the effect that nanoplastics have on its deterioration is a line that was continued during 2025 in the group thanks to the collaboration with the Center for Humanities and Social Sciences of the CSIC. Work has begun studying the deterioration of some ceramic pieces found in 16th century shipwrecks using spectroscopic techniques (Raman and FTIR).

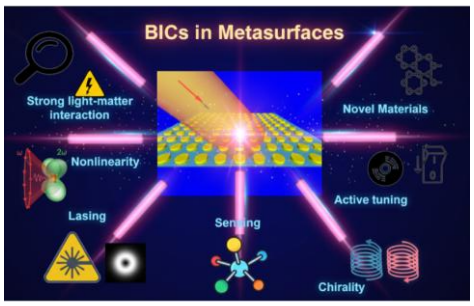
A fruitful collaboration has begun with other research centers in Spain within the application of spectroscopic techniques in Historical Heritage materials, among others, researchers from the Andalusian Heritage Institute, the National Accelerator Center (CNA) of the University of Seville and the Institute of Heritage Sciences of Galicia have been contacted. These collaborations cover research on different fronts: analysis of dyes in textile fibers, analysis of ferrogallic inks in ancient manuscripts, analysis of pigments in paintings, etc.

Optical properties of metasurfaces: bound states in the continuum (José A. Sánchez Gil, Ramón Paniagua Domínguez)

We have continued our ongoing work on planar periodic arrays (metasurfaces) of resonant dielectric and plasmonic subwavelength structures with special emphasis on bound states in the continuum (BICs). BICs have attracted much interest lately in photonics for their (theoretically) infinite Q factor. These states are leaky modes that in a certain limit of some parameter space cannot couple to any radiation channel. In order to trap light in such nearly-zero-linewidth electromagnetic modes, a common approach is to exploit metasurfaces: outgoing specular channels can be suppressed by tuning the parameters of the system in various manners, leading to symmetry-protected BICs. On the basis of a generalized coupled electric/magnetic dipole theory for infinite arrays and other numerical methods, a variety of scenarios has been investigated. Our theoretical work has been developed in the framework of MICIN Project LIGHTCOMPAS. Furthermore, we have explored:

- Circularly polarized photoluminescence emission, with dissymmetry factors gPL over 0.1, from achiral organic dye molecules by leveraging quasi-BICs and surface lattice resonances (SLRs) in intrinsic Si chiral metasurfaces. We find that the gPL associated These findings illustrate the relevance of the emitter's layer thickness in optimizing the emission of circularly polarized light. They also elaborate on the robustness of chiral quasi-BICs by comparing the gPL of SLRs and quasi-BICs, offering insights into chiral light-matter interactions and advancing the design of circularly polarized light-emitting devices. In collaboration with the group of J. Gómez Rivas (Surface Photonics, Technical University of Eindhoven). Also related to the emission of circularly polarized light, and in collaboration with researchers from the Institute of Materials Research and Engineering at A*STAR, Singapore, we have studied the possibility of dynamically modifying the light emission amplified by resonant cavities. In this work, the cavities were infiltrated with an optically active medium (specifically a two-dimensional perovskite) and another medium whose optical response can be modified by applying an external voltage (specifically a liquid crystal). Thanks to the anisotropy of the liquid crystal, it is possible to obtain spin-orbit couplings, which allow the polarization of the emitted light to be manipulated according to the orientation of the liquid crystal molecules, controlled by the voltage. C. Dong, M. R. Chua, R. M. Veetil, …, and R. Paniagua-Domínguez, **Advanced Optical Materials** 14 (5), e03022 (2026).

- Cloaked quasi-BICs: we have demonstrated that dark and asymmetric qBICs arise in the optical domain in Si tilted nanodisk metasurfaces, due to the spectral overlap of in-plane and out-of-plane dipolar resonances. Calculations confirm the asymmetric character of these qBICs, demonstrating that the cloaked qBIC largely enhances near-fields and emerges in the extinction only when absorptive losses are present in the nanodisks. The rich phenomena associated with such cloaked qBICs make them highly suitable for tuning or switching nano-optical devices (between on/off qBIC states with negligible reflection), offering promising applications for enhanced light–matter interactions at the nanoscale. In collaboration with the group of A. García-Martín, IMN (CSIC). L. Hidalgo-Arteaga, et al.**, Laser & Photonics Reviews** 19, 2500799 (2025).
- A key property governing these interactions, the partial local density of optical states (PLDOS). We employed a THz near-field microscope with dual local probes to directly excite and detect quasi-BICs in finite metasurfaces that possess inversion symmetry, corresponding to a symmetry-protected BIC in their infinite counterpart. We observed a strong enhancement of the PLDOS associated wit these modes. As the metasurface size increases, the quasi-BIC evolves into a true BIC, with the quality factor diverge while the PLDOS saturates. This establishes an upper limit for enhanced light-matter interaction by BICs. Our findings pave the way for on-chip metasurfaces with maximum light-matter interaction strengths. In collaboration with the group of J. Gómez Rivas (Surface Photonics, Technical University of Eindhoven). J. Ji, J. A. Sánchez-Gil, D. Peeters, W. Holman, T. X. Hoang, D. van Mechelen, J. Gómez Rivas, **Nat. Commun.** 16, 11597 (2025).



- We have published a thorough Perspective on the physics and applications of BICs. Their unique properties make BICs or quasi-BICs highly promising for a wide range of applications, including optical sensing, high-resolution imaging, electromagnetically induced transparency, lasing and strong coupling, nonlinear optical processes, chirality, and the enhancement of spontaneous emission from quantum emitters. In this Perspective, we reviewed these emerging mechanisms for the excitation, control, and spectral tuning of quasi-bound states in the continuum in all-dielectric metasurfaces, highlighting current trends and outlining future directions in the field (see figure): A. Barreda, A. García-Martín, J. A. Sánchez-Gil, **APL Photonics** 10, 100902 (2025).

Physical behavior at nanoscales (Carlos Cabrillo García, Ricardo Fernández Perea)

Within our research on the adsorption of molecular hydrogen at cryogenic temperatures, in 2025 we have advanced in the experimental study and theoretical analysis of metastable behaviors in hydrogen adsorption. The appearance of metastability in hydrogen physisorption in porous materials, that is, hysteresis in isothermal adsorption/desorption cycles, is not a common phenomenon and, in particular, had never been observed in the case of carbonaceous materials. The few reported cases in nanostructured carbons turned out to be caused by some type of chemisorption by metallic impurities present in the material. From the perspective of its practical application for hydrogen storage and management, physisorption is clearly preferable given its low energy barrier for hydrogen release. On the other hand, hysteresis itself is very interesting from a practical point of view, since it would allow for both lower operating pressures for the same load (high pressure only during fuel loading) and better management of heat flows in the system. In recent years, we have focused again on a nanostructured material composed mainly of bundles of double-layered carbon nanotubes. In 2023 and early 2024, we completed an initial scientific article describing the metastable behavior of hydrogen adsorption and carrying out a

structural study of the system as well as a microscopic study of the dynamics of the processes involved using neutron scattering techniques (published in the journal Carbon). In 2025, we have refined the analysis of a second battery of neutron scattering measurements. From these results, we have been able to understand the phenomenon at the microscopic level by comparing the measurements with numerical experiments. More specifically, two main mechanisms have been identified give rise to metastability: one static and the other dynamic and collective. On one hand, the topology of the interstices where H_2 is adsorbed is such that there are more accessible paths to reach the interior of the beams than to exit them. On the other hand, the expansion of the interstices themselves when a sufficiently high load level is reached causes the channels between them to become populated with molecules that "fluidize" the passage between interstices, accelerating filling. During desorption, these passages between interstices empty first, narrowing the channel and significantly increasing the energy barriers to desorption. These studies are being carried out in collaboration with the Quantum Beams and Sustainable Materials research group led by Prof. Felix Fernández Alonso at the Materials Physics Center in San Sebastian.

In recent years, in collaboration with Prof. Leonor Chico's group at the Complutense University of Madrid, we have studied the surprising electronic structure of single wall carbon nanotubes in their collapsed state. In particular, we have shown that such systems represent a particularly useful example of what are known as one-dimensional Moire superlattices, exhibiting all the characteristics of their two-dimensional counterpart, the celebrated twisted bilayer graphene (TBG). These one-dimensional Moire superlattices involve a superlattice of electronic charge accumulation (eventually of electrons "frozen" in nanotubes of suitable chirality) in the "islands" of the Moirian pattern. The adsorption of molecular hydrogen is strongly influenced by charge excesses. In particular, areas with excess positive charge strongly increase adsorption, as demonstrated in graphite intercalations with potassium. Since charge Moire patterns appear in any type of flattened nanotube, we are developing a new line of research in collaboration with Prof. Felix Fernández's group on the consequences that these charge superlattices may have on hydrogen physisorption in collapsed carbon nanotubes.

Finally, also in collaboration with Prof. Felix Fernández's group, we have initiated a new line of research on solid-solid transitions, both in and out of thermodynamic equilibrium, again in a carbonaceous material, namely, corannulene. Corannulene can be understood as a C60 fullerene cap with hydrogens in the boundary. The main interest here is on its potential in energy storage aplications by making recourse of the latent heat between the various solid phases.

MOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT

RESEARCH LINES:

- Molecular physics of astrophysical systems, atmospheres, and plasmas.
- Molecular Fluid Dynamics.
- Laser Spectroscopy.
- Theoretical Molecular Physics.

RESEARCH SUBLINES:

- Astrophysical ices.
- Spectroscopic characterization of cold plasmas of astrophysical relevance.

- Generation, processing and study of interstellar dust analogs.
- Raman Spectroscopy in supersonic gas jets.
- Raman Spectroscopy in gas microfluidics.
- Energy transfer by inelastic molecular collisions.
- Spectroscopic parameters of molecules of relevance in collisional, atmospheric and combustion processes.
- Atomistic modelling and experimental characterisation of clay and ice mineral phases of astrophysical interest.
- Computational modeling of the adsorption of nitrocompounds on metal organic materials MOFs.
- Quantum Control of Alignment and Orientation in Isolated Molecules and Ultracold Dipolar Gases.

EMPLOYED TECHNIQUES:

- IR spectroscopy and mass spectrometry applied to low temperature, low pressure systems.
- Computational methods: Gaussian, SIESTA, CASTEP, CRYSTAL, CP2K, Suite Materials Studio.
- Plasma generation of cold complex plasmas in low pressure RF gas discharges.
- Mass spectrometry of neutrals and ions. Langmuir probes.
- Visible and near UV emission spectroscopy. Polarimetry.
- Linear and non-Linear (Stimulated) Raman Spectroscopy.
- Supersonic gas jets.
- Confined gas jets in millimetric channels
- Raman-Raman double resonance spectroscopy.
- Difference frequency laser spectroscopy.

RESEARCH ACTIVITY:

MOLECULAR FLUID DYNAMICS

During 2025 we have continued studying CO_2 out-of-equilibrium at high temperature, along with the application of Raman spectroscopy to gas microfluidics, and the spectroscopic characterization of atmospheric pollutants, within the framework of our ongoing projects. All these studies are based on experiments in subsonic and supersonic gas jets, probed by means of quantitative Raman spectroscopy. Supersonic gas jets are an extraordinarily fertile medium in fluid dynamics, where the study of the inelastic intermolecular collisions, which are the fundamental mechanism of energy transfer in gases, is feasible. In turn, subsonic gas jets allow the measurement of molecular spectral properties under conditions that are incompatible with, or difficult to achieve, in conventional cells. To this end, the laboratory of Molecular Fluid Dynamics is equipped with two diagnostic instruments for gas and liquid jets diagnostics by Raman spectroscopy, which have been developed over the past thirty years., and are unique worldwide in their performance and flexibility.

We have continued studying the rotational and vibrational relaxation of CO_2 in supersonic jets using Raman spectroscopy. The relaxation of CO_2 plays a key role in the radiative balance within

Earth's atmosphere, as well as those of Venus and Mars, the entry of spacecraft into these planets, or the synthesis of fuels using cold CO_2 plasmas. Despite this relevance, experimental data on the underlying elementary processes remain scarce. We have carried out new experiments on hot supersonic jets of CO_2 diluted to 10% in He, in order to complete the body of experimental data on inelastic CO_2 collisions. From the time evolution of the rotational and vibrational populations along the jets, we have been able to determine the rate coefficients between internal levels due to inelastic collisions, and from these, other magnitudes of the flow such as relaxation times or bulk viscosity. This work constitutes the PhD Thesis of Carlos Álvarez Nicolás, defended at the Faculty of Physical Sciences of the Complutense University of Madrid in May 2025.

In addition, we have continued studying the intrinsic intensities (polarizability transition moments) of the Raman vibrational bands of carbon dioxide for high-temperature applications. We carried out new measurements of the Raman spectra of the $^{13}CO_2$ and $^{16}O^{13}C^{18}O$ isotopologues at temperatures up to 570 K. In total, we determined the polarizability transition moments of 25 hot fundamental bands and 5 overtones of $^{13}CO_2$, and 7 hot bands of $^{16}O^{13}C^{18}O$, most of them measured for the first time. This work will be published in a paper, currently in press in the prestigious Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer.

Finally, in the microfluidics line, we have continued experiments in the cell with a 1x15 mm^2 internal channel, where the same window, at 45º, is used for both the excitation and collection of the Raman scattering. We improved the setup by installing a back pressure regulator at the cell outlet, which has allowed us to work with rarefied flows at pressures below atmosphere. We have carried out experiments with N_2 flows at a velocity of 11 cm/s, with flow rates of 10 sccm and 2 sccm, and pressures of 100 mbar and 20 mbar, respectively, while forcing a thermal gradient between the two channel walls separated by 1 mm. Despite stray light due to reflections from windows and walls, we succeeded in recording the rotational Raman spectra of N_2 within such small channels, and to retrieve from them the flowing gas temperature, with a spatial resolution of ~100 microns. The Knudsen number of the flow at 20 mbar is Kn ~ 0.0015, corresponding to a gas flow in the slip regime. At such rarefied flow regime, thermal discontinuities occur at the walls, jeopardizing its description by the Navier–Stokes equations of the continuum model. These experiments will be completed with further measurements in CO_2 and H_2 flows.

MOLECULAR PHYSICS OF ASTROPHYSICAL SYSTEMS AND PLASMAS

Astrophysical ices

We continue our participation in the Ice-Age Early Release Program working group “Tracing the building blocks of life with the James Webb Space Telescope”, particularly within the laboratory astrophysics section. The analysis of JWST ice spectra obtained toward the dense cloud Chamaeleon I has highlighted the need to determine infrared optical constants and infrared absorption strengths of ternary ice mixtures of H_2O, CO_2, and CO in the IR range, in order to correctly interpret the observations. During 2024, we began a systematic study of ices composed of pure species as well as binary and ternary mixtures of H_2O, CO_2, and CO. In 2025, we have published a study in which we provide, for the first time, infrared optical constants for ternary H_2O:CO_2:CO mixtures and binary H_2O:CO_2 mixtures with proportions similar to those observed in ices present in cold dense clouds. In addition, this study also reports optical constants and infrared band strengths for pure H_2O, CO_2, and CO ices, helping to resolve discrepancies found in the literature for these quantities. This work, published in the journal Astronomy & Astrophysics, was carried out in collaboration with members of the Ice-Age project.

Also in collaboration with members of the Ice-Age team, we have contributed to the development of a machine-learning–based program, named AICE, which allows for the rapid and straightforward identification of ice compositions in observational spectra. The need for this tool is evident, as the high sensitivity and spectral resolution of JWST enable the observation of ice features toward hundreds of sources at different stages of the star formation process, while a detailed analysis of ice composition can be a lengthy and complex task. The AICE program, described in a recent publication in Astronomy & Astrophysics, learns through comparison with an extensive database of experimentally produced ices of known composition.

In addition, during 2025 a study carried out in collaboration with the AQUILA scientific team at Atomki was published. The work is based on experiments performed at the European HUN-REN ATOMKI facility, which was described in the 2024 report. Hydroxylamine (NH_2OH) ices were irradiated and destruction cross sections induced by cosmic rays were obtained, together with information on the destruction chemistry and the formation of new species. This work was published in early 2025 in the journal Astronomy & Astrophysics.

Finally, during the seconf half of 2025 we initiated the study of ices containing sulfur-bearing species, in particular OCS and H_2S, in mixtures with H_2O and CO_2. The aim of this work is to provide information that contributes to understanding the still unresolved problem of sulfur depletion in dense interstellar clouds. In these regions, the sum of all detected sulfur-bearing species accounts for less than 1% of the cosmic abundance of this element. One possible explanation for these "missing sulfur" observations is that sulfur is predominantly locked in condensed species or incorporated into refractory material within dust and ice grains. Our experiments aim to determine the destruction cross sections of OCS and H_2S, as well as to study their destruction chemistry and identify the new species that are formed.

Infrared spectroscopy of molecular ions of astrophysical relevance

In the frequency difference infrared spectroscopy laboratory, we have recorded high-resolution infrared spectra of the ν_1 band of the $HOCS^+$ ion and the ν_2 band of the $HSCO^+$ isomer. The first observation of the vibration-rotation spectrum of the latter was a combination band that we performed in 2024 in collaboration with members of the ILINK+ "SENTINEL" project at the University of Cologne. In this case, it is the detection of the fundamental C=O stretching band at 2200 cm^{-1}. It is worth noting that this molecule had previously been impossible to detect by other renowned research groups. Both isomers are "almost linear" asymmetric tops with a very large rotational constant A_0. This causes a perturbation of the rotational levels in the ground state, which interact with the low-energy bending modes through an unusual vibration-rotation term, and complicate the analysis of the spectrum using the Watson Hamiltonian. We are currently working on a global model that will allow us to fit all experimental data, including both pure rotation and vibration-rotation frequencies. We have also recorded a very high-quality spectrum of the ν_2 band of the $HOCO^+$ ion in collaboration with members of the Institute of Fundamental Physics (IFF-CSIC), with the aim of detecting it through observations with the JWST.

Generation, Characterization and processing of interstellar dust analogs

The impact of N_2 addition to cold plasmas of Ar/C_2H_2 has evinced how it influences drastically in the neutral and ion plasma composition. N_2 increase induces the appearance of nitrile species (HCN, HC_3N…), a remarkable global decrease of cations in favor of those containing N, such as NH_4^+ or N_2H^+, and a high predominance of nitrile ions, whereas the pure hydrocarbon ones practically disappear. For the lower N_2 proportions studied, it is worth noticing that the relative concentrations of $C_{2n}H^-$ and $C_{2n+1}N^-$ (n=1-5) anions obtained are strongly consistent with the

column densities of these anions in the atmospheres of evolved stars like IRC+10216. These anions are the only ones detected till now in the space, including the ionosphere of Titan, Saturn's satellite, studied with the Cassini-Huygens mission.

Moreover, the remarkable increase with N_2 of the global anion concentration and global cation decrease in the afterglow confers a strong electronegative character to the plasma. Besides, the role of C_2H^- as main anion polymerization precursor has been verified. These findings were shown in a plenary talk in ICPIG and were submitted to Plasma Sources Sci. Technol.

In 2024, a multi-diagnostic study focused on the growth of carbonaceous nanoparticles in capacitively coupled Ar/C_2H_2 plasmas was successfully completed. This work employed a technique based on differential polarimetry that allows the determination of nanoparticle size distributions with space–time resolution. Two synchronized CMOS cameras have since been installed, increasing the versatility of the technique. The recent incorporation of the associated researcher Dr. Verónica González and the student Ginés Haro has significantly strengthened this research line, improving not only the quality of the technique but also enabling the exploration of different growth conditions for the controlled generation of cosmic dust analogues.

It was also demonstrated that inductively coupled plasma discharges can produce carbonaceous materials with a high sulfur content. This is of interest for observational astrophysics, which aims to estimate the sulfur abundance in refractory materials in the interstellar medium. During the present year, structural and sulfur analyses content of this material are carried out under different ion bombardment conditions, showing asymmetric atomic sputtering. In addition, these materials were irradiated with electrons in the ice laboratory, providing a systematic analysis of the evolution of their infrared spectra under electronic processing that simulates cosmic-ray interactions.

Dynamics of elementary chemical reactions

Following the study of angular momentum correlation effects in reactive collisions of F+HD in the very low-energy regime (< 1 meV), we have undertaken, in collaboration with V. Sáez-Rábanos (UPM) and the Department of Physical Chemistry of the Complutense Unit (CSIC Associated Unit), an investigation of differential reaction cross sections as a function of rotational excitation in the same energy region corresponding to the orbiting resonance domain. This reaction constitutes a prototype for most theoretical developments, and until now the extremely low collision energies have posed a challenge for the experimental detection of orbiting resonances, which are associated with the van der Waals well in the entrance channel. However, recent results from the group of Xueming Yang (Dalian Institute of Chemical Physics) are progressively approaching the relevant energy region, and it is expected that in the near future these resonances may be observed, precisely in the differential reaction cross sections.

Atomistic Modeling and Experimental Characterization of Mineral Phases, Astrophysically Relevant Ices, and the Adsorption of Atmospheric Contaminants on Metal-Organic Frameworks

Computational modeling simulations or quantum mechanical calculations have been performed through theoretical calculations on both workstations and supercomputers, enabling the theoretical characterization of the structures and infrared spectra of amorphous silica with phosphorous analogs. Within the field of astrophysics and earth science, a series of simulations have also been conducted on the phosphine, phosphorous oxide and other phosphorus derivatives in astrophysical and earth environments, with related publications currently accepted.

Additionally, a theoretical study has been carried out on the adsorption properties of atmospheric pollutant molecules that have not been sufficiently investigated in this field, particularly nitro derivatives such as nitrophenol and nitroanthracene, and their interaction with metal-organic frameworks (MOFs). The results of these studies have been published in Molecules and the Journal of Computational Chemistry.

LASER SPECTROSCOPY

The work carried out in the Laser Spectroscopy Laboratory during 2025 has followed two clearly differentiated experimental lines, both using the technique of stimulated Raman spectroscopy. On the one hand, systematic measurements of collisional broadenings and shifts in the first lines of the pure rotational Raman spectrum of the HD molecule perturbed by collisions with H_2 have been performed. On the other hand, and with the aim of determining the optimal working conditions for the high-resolution Raman spectroscopic study of tritiated methanes, $CT_{4-x}H_x$, planned to begin during 2026, extensive preparatory measurements have been conducted on tetradeuterated methane, CD_4. These measurements have led to new sample cell designs optimized for future experiments.

The first line of work —the measurement of pressure broadening and shifting of spectral lines in the HD–H_2 collisional system— is part of the objectives of project PID2021-123752NB-I00, "Advanced Raman Diagnostics: Microfluidics, Molecular Collisions and Non-Equilibrium Processes" which began in September 2022 and is currently in an extension phase until August 31, 2026. This specific objective seeks to obtain broadening and shift coefficients for the rotational Raman spectrum lines of the HD molecule when subjected to perturbations by collisions with H_2. The HD–H_2 system is of interest in astrophysical environments, particularly in planetary atmospheres and comets, since the concentration of HD is an indicator of the concentration of deuterium (D_2), and the D/H concentration ratio provides information about the environment in which the body was formed. For example, the D/H ratio in the gas giants of the Solar System differs from that found in comets, which in turn show significant differences depending on their origin (Oort Cloud, Kuiper Belt, etc.). A detailed knowledge of the HD spectrum and its variations with pressure, temperature, and collisional species is critical for the experimental spectroscopic determination of its concentrations in such environments.

High-resolution Raman spectroscopy measurements of the pure rotational spectral lines S(0), S(1), and S(2) of the HD molecule in HD–H_2 mixtures have been carried out in the laboratory. For each of these spectral lines, the line profile was systematically measured at several mixture pressures (no fewer than seven) ranging from 25 to 800 mbar. These measurements were repeated at various temperatures (77, 195, and 298 K for S(0) and S(1); 195 and 298 K for S(2)). Given the narrowness of the lines, associated with the low frequencies of the rotational transitions, obtaining detailed spectral profiles required the use of scan rates as slow as 1 MHz/s. From the analysis of the experimental data, broadening (γ_0) and shift (δ_0) coefficients were extracted for the three lines at all studied temperatures. It is worth noting that although previous data for this type of coefficient in the HD–H_2 system existed from infrared (IR) spectroscopy, this is the first measurement carried out using Raman spectroscopy, which provides access to transitions different from those observed in the IR spectrum. A comparison of our experimental results with those obtained through computational methods by the group of our collaborator P. Wcisło is currently underway, and a publication in the *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* is expected shortly.

The second line of work has been developed within the framework of project PID2024-157577NB-I00, "Raman Spectroscopy as a Diagnostic Tool in Nuclear Physics," active since

September 1, 2025. The objective of this line is to obtain and interpret high-resolution Raman spectra of the family of tritiated methane molecules, $CT_{4-x}H_x$. It has been observed that in facilities where nuclear physics experiments involving the use of large quantities of tritium are conducted—for example, the Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment (KATRIN), or in the future the International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER)—the high reactivity of this element, mainly due to its beta radioactive decay, enables it to react with carbon atoms in the walls and other stainless-steel components of the facilities, ultimately forming tritiated hydrocarbons, especially methane derivatives. These molecules have the potential to seriously interfere with the experiments, making it desirable to monitor their presence and concentration in real time. Raman spectroscopy has been proposed as a non-invasive tool for this monitoring, as it is already used for the same purpose with the six hydrogen isotopologues (H_2, T_2, D_2, HD, HT, DT) at KATRIN. For this to be possible, a detailed knowledge of the Raman spectrum of the different tritiated methanes—currently unavailable—is essential, and obtaining it is the main objective of this research line.

During the second half of 2025, preparatory measurements were carried out to optimize the experimental design. The tritiated methane samples will be provided by a specialized laboratory (Karlsruhe Tritium Laboratory, KIT). Due to the radioactive nature of tritiated compounds, regulatory limits exist on the amount of a tritiated species that can be handled without implementing strict safety measures ("exempt sample"). This limitation makes it necessary to use specific sample cells that minimize internal volume in order to maximize gas pressure—on which the signal intensity in the recorded spectrum depends—while maintaining compatibility with the optical characteristics of the experiment (laser beam size, focal lengths, etc.). To this end, several small-volume prototype cells were designed and built in our center's mechanical workshop. These were filled with CD_4, a similar molecule, at the maximum pressures permitted by regulations for CT_4, and rovibrational spectra of the Q-branch of the ν_1 vibration of this molecule were recorded. This made it possible to iteratively optimize the cell design (length, internal diameter) and the optical configuration of the experiment (focal lengths, beam diameters) until a compromise considered sufficient to record spectra of tritiated methanes under acceptable signal-to-noise conditions while complying with the regulatory limits imposed by nuclear safety authorities was reached. Measurements are expected to begin once the final cells (currently being assembled at KTL according to our specifications) are completed and the tritiated compound samples are received, during 2026.

MACROMOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT

RESEARCH LINES:

- Multiscale simulation of polymeric materials and biological macromolecules.
- Physical properties and nanostructure of polymers, blends and polymer-based nanocomposites.
- Polymer Physics: Order and mobility in macromolecular systems.
- Application of the synchrotron light to the study of polymers and nanostructured materials.
- Biophysics.
- Interfaces.

RESEARCH SUBLINES:

- Structure–property relationships in synthetic polymers, biopolymers, and nanocomposites.
- Confined structure and dynamics in Soft Matter.
- Molecular dynamics and dielectric properties.
- Structure-dynamics -relationships in soft and polymeric condensed matter.
- Nano- and microstructuring of polymers.
- Pre-crystallization phenomena, crystallization and phase transitions in synthetic and natural polymers.
- Study of polimerization reaction by quantum mechanical calculation.
- Hierarchical simulation of molecular dynamics.
- Recyclable polymer systems: morphology, structure, and properties.
- Molecular dynamics and viscoelastic properties.
- Extrusion and elongational processes in polyolefins and blends.
- Microrheology and microfluidis of biofluids.
- Hydrodynamics of proteins and biological macromolecular complexes.
- Organic electronics.
- Virucidal Surfaces.

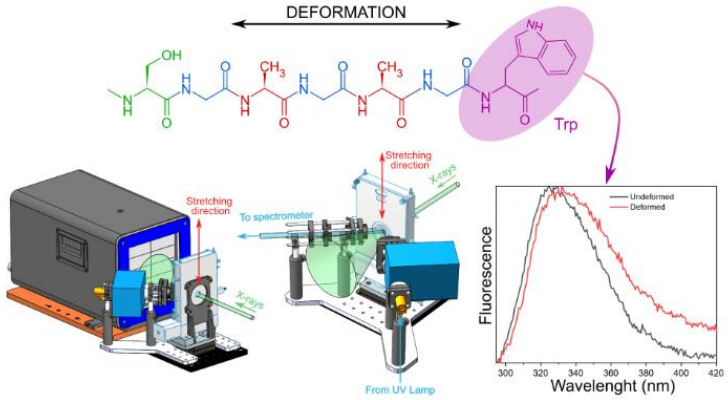
EMPLOYED TECHNIQUES:

- Scattering and diffraction of X-rays at Wide (WAXS), Small (SAXS), and Ultra-Small (USAXS) Angles and with grazing incidente (GISAXS) including micro- and nano-beam with synchrotron radiation.
- Scanning Diferential Calorimetry (DSC).
- Incoherent quasielastic neutron scattering (IQNS).
- Optical microscopy. Scanning and transmission electronic microscopy (SEM and TEM).
- Raman Spectroscopy.
- UV-VIS Spectroscopy.
- Fluorescence Spectroscopy.
- Neutron Scattering.
- Broad band dielectric spectroscopy.
- Shear rheometry in continuous dynamic torsion, capillary extrusion and elongational rheometry.
- Passive Microrheology (DLS assisted) and microfluidics.
- Microrheology and microfluidics.
- Dynamic mechanical analysis under flexural and tensile deformations: elastic modulus.
- Size exclusion chromatography (SEC) and and tetradetection, and dynamic light scattering (DLS).
- Nanoimprint lithography (NIL).
- X Photon Correlation Spectroscopy (XPCS).
- Scanning transmission X-ray spectro-microscopy (STXM).
- Simulations using high performance computing.
- Machine learning algorithms.
- Atomic force (AFM) microscopies.
- Near Edge X-ray Absorption Fine Structure (NEXAFS)
- Resonant Soft X-ray Scattering (RSoXS) Theoretical and mathematical physics.
- Deposition of polymers by Ink-jet.

RESEARCH ACTIVITY:

Group of DYNAMICS AND STRUCTURE OF SOFT AND POLYMER MATTER (SOFTMATPOL)

Sustainable materials for advanced applications: Silk fibroin



In the context of a research project on Ecological and Digital Transition (TED), a multimodal strategy has been employed, integrating mechanical testing, fluorescence spectroscopy, structural analysis, and advanced computational modeling to elucidate the basis of the fluorescence changes exhibited by silk fibroin when mechanically deformed. It was necessary to design an experimental set-up implemented at the NCD-SWEET beamline of the ALBA synchrotron, enabling simultaneous in situ tensile testing, fluorescence spectroscopy, and X-ray scattering experiments. The results not only contribute to a fundamental understanding of the photophysics of silk fibroin, but also lay the groundwork for the development of silk-based biomaterials with tunable mechano-optical properties, with implications for biosensor technology and smart materials.

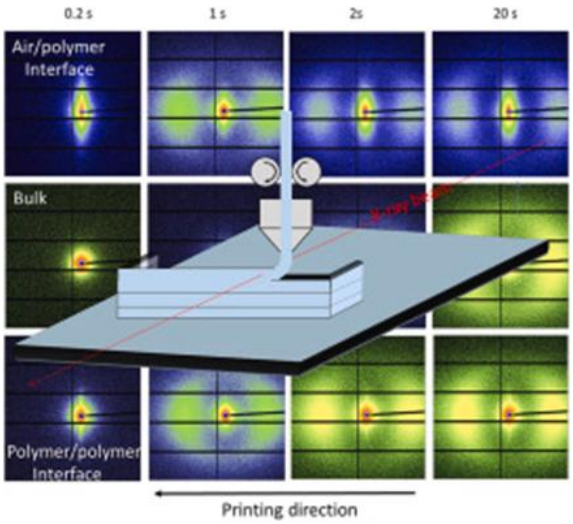
Photocatalytic applications of semiconducting polymer nanoparticles

Using the methodology for preparing polymer nanoparticles that has been developed within the group, we have applied it in this case to a semiconducting polymer, specifically poly(3-hexylthiophene) (P3HT). We were able to determine the relationship between the optical and structural properties of P3HT nanoparticles and their efficiency as photocatalysts for the degradation of waterborne pollutants.

Our results indicate that the nanoparticles obtained through the miniemulsion method are more efficient at inducing photodegradation. The higher crystallinity, observed through X-ray scattering experiments, and the presence of a surfactant in these nanoparticles influence their photophysical properties. The fluorescence lifetime of the miniemulsion nanoparticles is shorter than that of the nanoparticles prepared using the flash method, which favours charge transfer toward the surface of the nanoparticle. These charges, in the presence of water, generate highly reactive oxygen species, which are responsible for the photodegradation of the pollutant.

This work was carried out in collaboration with Professor Martín-Fabiani's group at Loughborough University in the United Kingdom.

Operando X-ray scattering during 3D printing of polymers



The research to investigate the operando and in situ crystallization processes occurring during the 3D printing has been extended tovarious polymers and polymer nanocomposites, with particular focus on the formation of electrically polar phases with potential application in supercapacitors. A simultaneous Small- and Wide-Angle X-ray Scattering (SAXS/WAXS) technique using synchrotron radiation was employed for this purpose. Special attention was given to the critical regions in additive manufacturing, such as the welding zones and interline interfaces, which exhibit structural features distinct from those of the bulk material and play a key role in determining the mechanical stability of the printed object. The figure conceptually illustrates the experimental approach used, in which a synchrotron X-ray beam impinges on the polymer deposited by the 3D printer's extruder head. The interaction between the beam and the material produces X-ray scattering with diffractive features. In the background, small-angle scattering patterns obtained at different positions along the extruded filament are shown. These patterns can be used to analyze the crystallization kinetics, crystalline structure, crystal orientation, and other structural phenomena occurring during the printing process.

Group of BIOPHYSICS OF MACROMOLECULAR SYSTEMS

General aspects of the research.

During 2025, the BIOPHYM group consolidated its research lines focused on the design of polymeric materials with high added value and low environmental impact, as well as on the advanced characterization of complex biological systems. Collaborative activities were continued within the framework of two research projects on Ecological and Digital Transition (TED), one involving Universidad Rey Juan Carlos and IMDEA Energía, and the other involving the Estación Experimental del Zaidín (CSIC, Granada) and the University of Seville. Both projects focus on polymer recycling and on the development and characterization of biopolymers from natural sources. In addition, significant results were obtained in a project devoted to the study of treatments for metastatic breast cancer using monoclonal antibodies, carried out under a new research contract and a donation from the "Contigo contra el Cáncer de Mama" Foundation, addressing the experimental and in silico study of antibody–drug conjugates (ADCs). Furthermore, the service agreement with the international company Total Energies has been maintained.

An intense national and international collaborative activity was sustained, highlighting synergies with research groups from institutions such as POLYMAT, Universidad Rey Juan Carlos, University of Alcalá, the CNR (Italy), several European universities, and CSIC centers. The activity has been mainly structured around two strategic axes: the sustainability of new polymers and the use of biophysical techniques for sensor development and biomedical studies.

Sustainable polymers for the circular economy.

Within this line, the group has made significant progress in understanding the structure–property relationships of new polymers from renewable sources, as well as in developing recycling strategies and in the theoretical understanding of advanced systems such as vitrimers.

Crystallization kinetics in polythioethers and substitution effects in poly(δ-valerolactone). In collaboration with POLYMAT (San Sebastián), the crystallization kinetics of polythioether homopolymers exhibiting triple polymorphism have been investigated. The study reveals how small variations in the chemical structure of the chain drastically affect segmental mobility and crystalline phase stability, providing fundamental data for the processing of these materials in industrial applications. Additionally, in collaboration with POLYMAT, a systematic study was conducted on how gem-dialkyl substitution in the side chains affects the crystallization behavior of poly(δ-valerolactone). This work reveals the complex competition between steric effects, which hinder chain packing, and chain flexibility. It represents a fundamental advance for the design of biodegradable polyesters with controlled crystallization kinetics for specific packaging applications.

Vitrimers, polyurethanes, and nanoheaters. Theoretical studies on polyurethane-based vitrimers have been further developed. These polymers combine the processability of thermoplastics with the mechanical properties of thermosets thanks to the presence of dynamic covalent bonds. Through molecular modeling, the mechanisms of bond exchange—crucial for the development of self-healing and fully recyclable materials—have been analyzed. This work was carried out in collaboration with researchers from the POLYMAT and the CNR (Italy). In parallel, the integration of nanoheaters into polyurethane matrices was investigated in collaboration with researchers from ICTP. These systems enable localized and efficient thermal responses under external stimuli, such as electromagnetic fields or light, opening up new possibilities in remote actuation, controlled drug release, and remotely activated shape-memory polymers.

High-molecular-weight polyesters. The synthesis of ultra-high-molecular-weight polyethylene brassylate (PEB), reaching up to 600 kDa, was optimized via ring-opening polymerization. Rheological and mechanical studies revealed a “pseudo-elastomeric” response in the highest-molecular-weight samples, associated with a dense entanglement network and the presence of long-chain branching (LCB). This material emerges as a sustainable and biodegradable alternative to high-performance polyolefins. The study was carried out in collaboration with the University of Alcalá within the framework of student training programs.

Biophysics of macromolecular systems.

This section summarizes advances in the application of polymer physics to the development of smart devices and to the study of biological fluids.



Mechanisms of action in ADCs for breast cancer. Within the framework of the "INSiLiCo" and "MoTHer" projects, funded by the Contigo contra el Cáncer de la Mujer Foundation, we have published a fundamental study on antibody–drug conjugates (ADCs). This work is the result of a close multidisciplinary collaboration involving leading research groups such as Hospital Ramón y Cajal, the Instituto de Oncología de Madrid (IOB), and the International Breast Cancer Center (IBCC) in Barcelona. Using advanced computational simulations, we deciphered the "bystander effect," revealing how the ionization state of the drug and the chemical design of the linker determine membrane permeability. These findings are key to optimizing the next generation of precision therapies, enabling more efficient targeting of cancer cells adjacent to the primary tumor. Due to the relevance of these results for advances in oncology therapies, the work received broad media coverage, including an official CSIC press release and dissemination through several specialized science and health portals, underscoring the group's commitment to knowledge transfer to society.

Eco-compatible strain sensors (wearable electronics). In a strategic collaboration with ICTP, the group achieved a significant breakthrough in the fabrication of sustainable electronic devices through the development of an all-carbon conductive ink. The innovation lies in the use of a hybrid carbon architecture combining carbon nanotubes (CNTs, 1D) and carbon nano-onions (CNOs, 0D). This combination allows the nano-onions to act as conductive bridges between nanotubes, optimizing the electrical percolation network within the SEBS (styrene–ethylene–butylene–styrene) elastomeric matrix. A critical aspect of this work is the replacement of conventional toxic solvents with 2-methyltetrahydrofuran (2-MeTHF), a biomass-derived solvent obtained from furfural, ensuring a low environmental footprint manufacturing process. Careful control of ink rheology enabled its application via dip-coating onto polyurethane sponges and blade-coating onto elastic textiles. These sensors exhibit exceptional cyclic stability (withstanding more than 10,000 compression cycles and 7,000 tensile cycles) and high sensitivity (gauge factor of 10–12). Thanks to these properties, they have been successfully integrated into:

- *Smart textiles: capable of monitoring respiration in real time by detecting thoracic expansion.*
- *Sports monitoring systems: integration into soccer balls to detect impacts, rotations, and rebounds, demonstrating the mechanical robustness of the material.*

Microrheology, artificial intelligence, and the MOMENTUM project. Intensive data acquisition and analysis activities were carried out within the MOMENTUM project, focused on macromolecular dynamics in confined environments. Using passive microrheology techniques combined with artificial intelligence, we characterized biofluids (tears and antibody solutions) in extremely small volumes. This line of research is crucial for the development of new ophthalmic diagnostic tools and for ensuring the stability of monoclonal antibodies in targeted therapies. As a strategic milestone to expand our experimental capabilities, we initiated a new research line centered on the design and construction of an image-based rheometer. This device is specifically conceived to operate with minimal sample volumes, enabling access to experiments and the determination of viscoelastic properties that are currently unattainable using commercially available instruments. This development will not only strengthen our technological autonomy but

will also allow exploration of new dynamic regimes in biological and macromolecular systems with unprecedented resolution.

Biofilms. We collaborate with the Center of Astrobiology CSIC-INTA in the molecular and structural study of polysaccharides obtained from algae and bacteria biofilms from the extreme acid mine waters from the Rio Tinto and other cold extreme environments as acid mine drainage in Svalbard. Research is being carried out on the rheological characterization of the bacteria and algae natural biofilms. We aim to understand the viscoelastic characteristics of biofilms subjected to large shear forces by performing Large Amplitude Oscillatory Shear (LAOS) experiments. The results will describe the response of biofilms to large strains commonly encountered in nature.

CAPÍTULO 3 – PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

CHAPTER 3 – RESEARCH PROJECTS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

El tejido cuántico del universo gravitatorio: loops, gravedad cuántica no local y ondas gravitacionales.

Code or Reference: PID2023-149018NB-C41.

Funding Institution: MICIU.

Main Researchers: Guillermo A. Mena Marugán and Gianluca Calcagni.

Duration: December 2024-December 2028.

Objectives: Consequences of the quantum nature of spacetime. Predictions of Loop Quantum Gravity and non-local quantum gravity. Gravitational-wave phenomenology of these theories, with reference to the future interferometers LISA and Einstein Telescope.

REDONGRA, Red Española de Física de Ondas Gravitacionales.

Code or Reference: RED2024-153735-E (Redes Estratégicas).

Funding Institution: MICIU.

Main Researchers: Carlos Fernández Sopuerta. *IEM IP*: Guillermo A. Mena Marugán.

Duration: May 2025-April 2025.

Objectives: Promote and coordinate the research on gravitational wave physics in Spain.

Estudios teóricos sobre estructura y reacciones de núcleos exóticos.

Code or Reference: PID2022-136992NB-I00.

Funding Institution: MICINU

Main Researchers: Eduardo Garrido Bellido.

Duration: September 2023 – September 2027.

Objectives: Beta-decay of exotic nuclei. Lepton scattering from nuclei. Three-body systems, structure and reactions.

Pollutants and greenhouse gases in the atmosphere - understanding gas-gas and gas-solid interactions towards a cleaner atmosphere (ATMOS).

Code or Reference: H2020-MSCA-RISE-2019-ATMOS-872081.

Funding Institution: European Commission.

Main Researcher: María Luisa Senent Diez.

Duration: April 2020-April 2024.

Objectives: Collaborative study of pollutants: identification, reactivity and capture. ATMOS represents a network of 12 institutions.

Astrofisica molecular: los limites de la complejidad quimica en nubes interestelares, envolturas circunestelares y atmosferas de exoplanetas

Code or Reference: PID2023-147545NB-I00.

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Innovación.

Main Researcher: Marcelino Agúndez. (Research team: María Luisa Senent Diez)

Duration: September 2024-August 2026.

*Objective*s: The study of non-rigid molecules of astrophysical using highly correlated ab initio methods focused to their astrophysical detection.

WhitOut SpaceTime.

Code or Reference: Grant ID# 63683 from the John Templeton Foundation (JTF).

Funding Institution: Templeton Foundation.

Main Researchers (Coordinators): Francesca Vidotto, Flaminia Giacomini.

Duration: December 2025-August 2028.

Objectives: Interface of quantum gravity, quantum information, and philosophy of physics. Predictions of loop quantum gravity for black holes and cosmology. Quantum reference frames. Gravity-mediated entanglement experiments.

Aprendizaje automático en simulaciones cuánticas con átomos de Rydberg

Code or Reference: AIA2025-163435-C44

Funding Institution: Agencia Estatal de Investigación

Main Researcher: Sigmund Kohler. (Research team: Rafael Alejandro Molina Fernández)

Duration: December 2025-December 2027.

*Objective*s: Study the implementation of quantum machine learning in Rydberg atoms platforms.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Estudios experimentales de nucleos exoticos

Code or Reference: PID2022-140162NB-I00

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Inovación

Main Researcher: Olof Tengblad, Bruno Olaizola

Duration: September 2023-August 2026

Objectives: This project aims to generate basic knowledge by studying the fundamental properties of the atomic nuclei. By doing so we will increase the understanding of the nuclear structure, of the interplay between the constituents of the atomic core, and to understand the origin of the elements in the universe.

ASAP-CM Advanced strategies and new approaches for protontherapy

Code or Reference: ASAP-CM P2022/BMD-7434

Funding Institution: Comunidad de Madrid

Main Researcher: O. Tengblad y M. J. G. Borge

Duration: September 2023 - August 2026

Objectives: The project aims to develop strategies to enhance the effects of radiotherapy by identifying the genes involved in radioresistance and the use of nanoparticles and immunotherapy, as well as investigating the use of very high rate radiation (FLASH) in proton therapy.

EURO-LABS

Code or Reference: EU grant 101057511

Funding Institution: European Union

Main Researcher: M. J. G. Borge

Duration: September 2022 – August 2026

Objectives: Fostering the sharing of knowledge and technologies across scientific fields;

To create synergies and collaborations between the RIs of the Nuclear and High Energy communities;

Building up a super community of sub-atomic researchers and the associated technical staff;

Enhancing Europe's potential for successfully facing the upcoming new challenges of the coming decades.

MRR-ISRS-SPAIN

Code or Reference: CIE2301005

Funding Institution: MICIN-MRR-Next generation EU

Main Researcher: T. Kurtukian Nieto

Duration: September 2023 – December 2026

Objectives: Design of a prototype for the ISRS (ISOLDE Recoil Separator) a novel high-resolution magnetic separator that is to be installed at HIE-ISOLDE, CERN's high-energy radioactive beam facility.

MRR-HISTARS

Code or Reference: CIE202301006

Funding Institution: MICIN-MRR-Next generation EU

Main Researcher: O. Tengblad

Duration: September 2023 – December 2026

Objectives: Design and construction of a fast-timing array of detectors for use in medium energy reaction experiments at the Miniball facility at HIE-ISOLDE.

Estudios de coincidencias ultra-rápidas de núcleos exóticos con implicaciones para la investigación multidisciplinar

Code or Reference: RYC2021-031494-I

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Inovación

Main Researcher: Bruno Olaizola

Duration: January 2023-December 2027.

Objectives: The experimental study of the structure of neutron-rich exotic nuclei. We also study exotic decay modes, such as the emission of protons by neutron-rich nuclei or the possibility of quasi-free neutrons decay into dark matter.

Explorando la coexistencia de formas a través de N=60 en Sr-100 usando IDS

Reference: PIE-20235AT018

Funding Institution: 80% CSIC – 20% IEM

Main Researcher: Bruno Olaizola

Duration: September 2023 – September 2026

Objectives: Study of the unique nuclear phenomenon of shape coexistence in exotic, neutron-rich Sr isotopes. In a series of experiment using fast timing, conversion electron spectroscopy and gamma-gamma angular correlations, the 0^+ character of states in the isotopic chain will be firmly established.

Study of shape coexistance in exotic nuclei

Reference: JAEPR23038

Funding agency: CSIC

Principal Investigator: Bruno Olaizola

Duration: December 2024 – November 2028

Objectives: Study of the unique nuclear phenomenon of shape coexistence in exotic, neutron-rich Fe isotopes. Through a series of experiments using gamma-gamma angular correlations, the 0^+ character of the states in the isotopic chain will be firmly established.

NewHyp - New developments based on machine learning techniques in the search for hypernuclear signals in the 6Li-12C and 12C-12C collisions of WASA-FRS HypHI experiment

Reference: CNS2022-135768

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Inovación - Consolidación Investigadora - 2022

Main Researcher: Christophe Rappold

Duration: July 2023 – December 2025

Objectives: Identify and reconstruct 3ΛH, 4ΛH, nnΛ, 9ΛB in 6Li-12C and 12C-12C collisions. Development deep learning techniques for improving signal-to-background ratio of hypernuclear signals. Development new backend electronics for silicon detectors and improvement of DAQ with data compressor method for flash ADC based on machine learning.

DeepHyp 5º - Deep learning techniques for the study of exotic hypernuclei

*Reference:*2023-5A/TIC-28925

Funding Institution: Comunidad de Madrid

Main Researcher: Christophe Rappold

Duration: February 2024 - February 2025

Objectives: Analysis of WASA-FRS and JPARC E07 experiments for study of hypernuclei by means of machine learning algorithm. Improvement of the primary vertex determination with AI. Segmentation model for nuclear emulsion images for search hypertriton and double strangeness hypernuclei. Development of tracking trigger for micro-vertex system.

AI for hypernuclear event search

Reference: MMT24-IEM-2

Funding Institution: CSIC - Programa Momentum

Main Researcher: Christophe Rappold, Luis Acosta Sanchez

Duration: December 2024 – December 2028

Objectives: Enhancement the signal-to-background ratio of the hypernuclear signal with AI implementation of deep learning techniques. Segmentation and track recognition in nuclear emulsion using AI techniques. Reconstruction 3ΛH, 4ΛH, nnΛ, and 9ΛB in 6Li-12C and 12C-12C collisions data. Study the decay of double-strangeness hypernuclei. Development a tracking algorithm based on a transformer model for a foundational model of event topology. Optimal design of a Cherenkov detector array for the WASA central detector.

R&D on digital electronics for Timestamp and Analog-Digital Convertor with FPGA chips

Reference: INV23-IEM-M2-14

Funding Institution: Comunidad de Madrid - Programa INVESTIGO2023

Main Researcher: Christophe Rappold

Duration: October 2024 – October 2025

Objectives: FPGA programming with high-level language for the integrated readout electronics of silicon sensors that will be connected to the data acquisition system of the GSI-FAIR research center.

Nucleosísntesis estelar en fases avanzadas de combustión y escenarios explosivos: combustión de oxígeno, núcleos cosmogénicos, nucleosíntesis más allá del hierro.
Reference: PID2023-147569NB-C21

Funding Institution: Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.
Main Researcher: Luis Acosta y Teresa Kurtukian Nieto.
Duration: September 2024 – August 2027.

Objectives: Study of fundamental properties of the atomic nuclei and nuclear reactions that allow obtaining inputs of interest for stellar nucleosynthesis. In particular we aim to study the oxygen burning 16O+16O fusion reaction case, direct and indirect measurements of cosmogenic nuclei 26Al and 10Be cases, measurement of thermonuclear (p,gamma) reaction rates for the production of 44Ti in type II supernova explosions, as well as the nucleosynthesis of trans-iron elements, including r-process seeds, the 6He case, the first (N~50) and last (N~126) waiting points, and the optical potentials for the astrophysical p-process.

LUNABRAIN-CM Diagnóstico y Tratamiento de Enfermedades Cerebrovasculares mediante Tecnologías de Imagen y Terapia Multimodal Avanzadas

Reference: TEC-2024/TEC-43

Funding Institution: Comunidad de Madrid.

Main Researcher: Bruno Olaizola, Luis Acosta

Duration: January 2025 – December 2028.

Estudios contemporáneos experimentales y teóricos de la estructura nuclear de núcleos exóticos.

Reference: PID2023-150056NB-C42
Funding Institution: Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades
Main Researcher: Andrea Jungclaus.
Duration: September 2024 – August 2027.

Objectives: The experimental and theoretical study of the structure of exotic nuclei. The experimental work is mainly employing the technique of gamma-ray spectroscopy while the theoretical studies are based on the beyond mean field approach

Plasmon-driven nanosensors for the detection of volatile organic molecules in different domains: Biological materials, Microplastics and Cultural Heritage

Reference: PID2023-146214OB-I00

Funding Institution: Agencia Estatal de Investigación, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

Main Researcher: Santiago Sánchez Cortés.

Duration: September 2024- December 2027.

Objectives: Development of sensor chips based on plasmonic effects generated by nanostructures and with special engineered properties to be effectively applied in label-free multiplexing molecular sensing of volatile compounds VOCs (volatile organic compounds) with interest in several domains: a) volatile biomarkers molecules with applications in the food industry; b) volatile molecules produced by plastics and microplastics; c) volatile compounds regarding the Cultural Heritage.

Explorando interaccion y fuerzas luz-materia en redes complejas de particulas (LIGHTCOMPAS).

Code or Reference: PID2022-137569NB-C41.

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Innovación.

Main Researchers: Antonio García-Martín/José A. Sánchez Gil.

Coordinator: José A. Sánchez Gil.

Duration: September 2023-August 2026.

Objectives: The aim of the present proposal is the development (based on previously acquired experience and knowledge) of new theories, conceptual models, computational tools, and experimental activities, able to explain and understand the rich phenomenology that emerges from the interaction of light with complex systems exhibiting various optical responses, including the optical forces exerted on them. Complexity may arise from a peculiar arrangement (arrays of nano- and micro-structures), a singular response (non-reciprocal, reactive or thermally activated) or a unique illumination (structured or fluctuating radiation). The response emerging from these interactions will be analyzed in cutting-edge experimental work, not only from the project teams, but also from other international groups. These subject matters are nowadays at the forefront of Physics in general, and Optics/Photonics and Condensed Matter in particular.

Brain-Inspired Meta-Optics (BIMO) - Beca Leonardo de Investigación Científica y Creación Cultural 2024**.**

Code or Reference: LEO24-2-15926-FYQ-FIS-243.

Funding Institution: Fundación BBVA.

Main Researchers: Ramón J. Paniagua Domínguez.

Duration: April 2025-October 2026.

Objectives: The proposal aims at developing a new technology to realize optical NC. Contrary to electronics-based approaches, this can enable faster processing and, most importantly, near zero power consumption upon operation. This is of critical importance to tackle the challenge of simultaneously meeting the increasing demands in computing power (end of Moore era) and lowering the carbon footprint of this power-hungry technology (green economy era). Specifically, the project aims to develop the theoretical models and first practicable designs to realize an optical neuromorphic computing architecture with: (1) neural densities comparable to that of electronics; (2) obtaining a true synaptic response with a non-linear activation function

and in-memory computing; (3) achieving systems that are retrainable and adaptive (exhibiting synaptic and structural plasticity). These combined goals have remained elusive in previous optical implementations of neuromorphic computing systems.

Towards Tunable Nanoporous Assemblies – Emerging Opportunities for Carbon-based Molecular Materials.

Code or Reference: PID2023-146442NB-I00.

Funding Institution: Ministerio de Ciencia e Innovación.

Main Researchers: Felix Fernandez-Alonso).

Duration: Septemberr 2024-August 2027.

Objectives: The ambition of the proyect is to generate new scientific knowledge and to develop novel research methodologies ultimately aimed at a detailed understanding at the fundamental level of a new class of tunable nanoporous media of a molecular (carbon-based) nature. Our primary objective is to elucidate the fundamental physicochemical mechanisms underpinning the emergence of extrinsic (and, therefore, tunable) nanoporosity in these materials.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Pollutants and greenhouse gases in the atmosphere - understanding gas-gas and gas-solid interactions towards a cleaner atmosphere (ATMOS)

Code or Reference: H2020-MSCA-RISE-2019-87208.

Funding Institution: EUROPEAN COMMISSION. Horizon 2020 Research and Innovation Framework Programme.

Main Researcher: Mª Luisa Senent Díez.

Duration: April 2020-January 2026.

Objectives: Collaborative effort on scientific problems related to atmosphere pollution elements, with an emphasis on training graduated students in atmospheric sciences, in state-of-the art experimental and theoretical studies of gas phase molecular systems, and their interactions with solids.

Diagnóstico Raman avanzado: Microfuídica, colisiones moleculares y procesos fuera del equilibrio

Code or Reference: PID2021-123752NB-I00.

Funding Institution: MICINN (Ministerio de Ciencia e Innovación).

Main Researcher: Guzmán Tejeda Gala y José M. Fernández Sánchez.

*Duration:*September 2022-August 2025.

*Objectives:*Experimental study of inelastic intermolecular collisions involving small molecules that play important roles in atmospheric, astrophysical, and combustion processes, and development of non-intrusiveRaman diagnostics in rarefied gas microflows.

Caracterización estática y dinámica de CO_2 atmosférico: una contribución a mejores modelos climáticos

Code or Reference: TED2021-129619B-I00.

Funding Institution: MICINN (Ministerio de Ciencia e Innovación).

Main Researcher: José M. Fernández Sánchez.

Duration: December 2022-June 2025.

Objectives: Quantitative characterization of vib-rotational Raman spectrum of CO_2 for remote sensing by Raman-LIDAR, and relaxation of hot $CO_2$by inelastic collisionswith N_2 and O_2.

SÓlidos y PLasmas en AStrofísica de laboratorio (SOPLAS)

Code or Reference: PID2023-146415NB-I00.

Funding Institution: Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Main Researchers: José Luis Doménech and María Belén Maté.

Duration: 01/09/2024 – 31/12/2027.

Objectives: To understand how matter makes the entire journey from small isolated molecules to stars and planetary systems and, eventually, to life. We will use experimental and theoretical methods to help i) understand the observations made from state of the art telescopes, and ii) refine models of chemical evolution in the Universe.

SENTINEL: Sulfur ChEmistry iN The INterstELlar medium

Code or Reference: ILINK23017.

Funding Institution: CSIC.

Main Researchers: Izaskun Jiménez Serra.

Duration: 01/01/2024 – 31/12/2025.

Objectives: Investigation of the sulfur depletion problem using an interdisciplinary approach where astronomical observations, cutting-edge instrumentation, laboratory high level experiments, theoretical work and models will be used.

Espectroscopía Raman como herramienta diagnóstica en Física Nuclear

Code or Reference: PID2024-157577NB-I00.

Funding Institution: MICIU (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades).

Main Researcher: Guzmán Tejeda Gala y Raúl Z. Martínez Torres.

*Duration:*September 2025-August 2028.

Objectives: Application of Raman spectroscopy, one of the most powerful diagnostic tools of Molecular Physics, to several current problems in the realm of Nuclear Physics. In this way we expect to contribute to better, safer and more accurate nuclear experiments: production of gas and liquid jets as windowless targets for nuclear astrophysics, and their characterization by Raman spectroscopy; and the characterization by high-resolution Raman spectroscopy of tritiated methanes, for accurate monitoring in tritium facilities.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Procesado ecológico de seda regenerada mediante estructuración a escala múltiple: de los fundamentos a las aplicaciones.

Code or Reference: TED2021-129845B-I00

Funding Institution: AEI, MICINN.

Main Researcher: Mari Cruz García Gutiérrez, Aurora Nogales Ruiz

*Duration:*1/12/2022-30/11/2024 (extension until 30/09/2025).

Objectives: Investigation of natural silk processing methods aimed at obtaining certain functionalities by means of nanostructuring.

Micro y nanoprocesado avanzado de materiales polímeros: Interrelaciones entre la estructura, las propiedades y las aplicaciones

Code or Reference: PID2022-138635NB-I00

Funding Institution: AEI, MICINN.

Main Researcher: Aurora Nogales Ruiz, Mari Cruz García Gutiérrez

Duration: September 2023-August 2026.

Objectives: Study of the relationships between structure, properties and applications in functional polymers subjected to advanced processing.

Ciencia inclusiva con TeatrIEM: Teatro con-Ciencia.

Code or Reference: FCT-23-19120

Funding Institution: FECYT

Main Researcher: Mari Cruz García Gutiérrez

*Duration:*1/10/2024-30/09/2025.

Objectives: Dissemination of science through theater and encouragement of STEM careers in adolescents.

Por una tecnología fotovoltaica amigable de bajo impacto ambiental.

Code or Reference: TEC-2024/ECO-72

Funding Institution: Comunidad de Madrid.

Main Researcher: Carlos del Cañizo

Other Participants: Jaime J. Hernández Rueda

Duration: January 2025-December 2028.

Objectives: The project aims to improve the environmental and social profile of photovoltaic technology throughout its life cycle, addressing crucial scientific and technological challenges.

Experiments and modelling applied to the rheology of polymers with complex molecular topology.

Code or Reference: PIE202250E035

Funding Institution: CSIC

Main Researcher: Juan Francisco Vega

Other Participants: Javier Ramos and Andrés Cardil

Duration: 1st march 2022 – 29th February 2027

Objectives: Understanding of the viscoelastic properties of polymers and the relationship with the molecular architecture.

Design of the viscoelastic properties of artificial tears by combining experiments, high-performance computing, and artificial intelligence. Momentum Contract.

Code or Reference: OTR12845

Funding Institution: CSIC

Main Researchers: Javier Ramos and Itxaso Calafel (EHU/POLYMAT)

Other Participants: Carlos García García

Duration: 20th November 2024 – 19th December 2028

Objectives: This project addresses the study of the viscoelactic properties of biopolymeric solutions with main objective of advancing the design of artificial drops through a multidimensional approach.

Circularidad de los residuos plásticos de automoción: reciclado mecánico (CIRCLAPAR).

Funding Institution: MICINN

Main Researchers: Rafael García y Rafael van Rieken (ESCET/URJC)

Other Participants: Javier Ramos and Juan Francisco Vega

Duration: 1st December 2022 – 30th September 2025

Objectives: Mechanical recycling of polymeric residues from automotive industry.

Nuevos polímeros bacterianos: aprovechando los recursos eco-renovables (BACTOPOL).

Funding Institution: MICINN

Main Researchers: Daniel Pérez Mendoza y Juan Sanjuan Pinilla (EEZ/CSIC)

Other Participants: Javier Ramos and Juan Francisco Vega

Duration: 1st December 2022 – 30th June 2025

Objectives: Obtention and characterization of new biopolymers obtained form sustainable resources.

PROYECTOS CON LA INDUSTRIA / PROJECTS WITH INDUSTRIAL COMPANIES

Molecular characterization of commercial polyolefins.

Code or Reference: Services Agreement Nº 4502415558

Company: Total Energies One Tech Belgium

Main Researchers: Juan Francisco Vega

Other Participants: Javier Ramos and Andrés Cardil

Duration: 1st May 2025 – 30th April 2026

Budget: 95.0 k€

Objectives: Rheological characterization and computational analisys of polymeric samples

Misiles moleculares contra el cáncer de mama: complejos conjugado-antígeno y efecto "bystander".

Code or Reference: Research Agreement Nº OTR13083

Company: Fundación Contigo contra el cáncer de la mujer

Main Researchers: Juan Francisco Vega and Javier Ramos

Other Participants: Virginia Souza-Egipsy

Duration: 1st December 2024 – 30th November 2026

Budget: 85.0 k€

Objectives: In-silico and experimental study of antibody-drug conjugates used in HER2+ breast cancer therapies

CAPÍTULO 4 – COOPERACIÓN CIENTÍFICA

CHAPTER 4 – SCIENTIFIC COOPERATION

CONGRESOS Y REUNIONES - *Congresses and Meetings*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

XII Reunión de la División de la Materia Condensada, GEFES2025 (*National congress***)**, Oviedo, 29th-31st of January 2025.

- *Rashba spin-orbit coupling in 2D semi-Dirac materials* (Poster), Marta García Olmos, Yuriko Baba, Rafael A. Molina, Mario Amado, and Alexander López.

XII Tux Workshop on Quantum Gravity (*International non-UE congress***)**, Tux (Austria), 10th-14th of February 2025.

- *Vacuum State and Relation between the Inflationary and Planck Scales* (Invited contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Maciej Kowalczyk.
- *My Recollections of Jurek: Life and Science (Invited contribution),* Jesús Fernando Barbero González.
- *Perturbative Gauge-Invariants in the Schwarzschild Interior for Hybrid Quantization* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Andrés Mínguez Sánchez.

Three-body femtoscopy meeting (*International non-UE congress)***,** Prague (Czech Republic), 4-6th of March 2025.

- *Correlation function of three nucleons* (Invited talk), Eduardo Garrido.

APS Global Physics Summit 2025 (*International non-UE congress***)**, Anaheim (USA), 16-21st of March 2025.

- *The route of shear to Ising superconductivity in bilayer graphene* (Oral contribution), José González and Tobias Stauber.

DPG Spring Meeting 2025 (*International non-UE congress***)**, Regensburg (Germany), 16-21st of March 2025.

- *Non-flat bands and chiral symmetry in magic angle twisted bilayer graphene* (Oral contribution), Miguel Sánchez, José González, and Tobias Stauber.
- *Nematic versus Kekulé phases in twisted bilayer graphene under hydrostatic pressure* (Oral contribution), Miguel Sánchez, Israel Díaz, José González, and Tobias Stauber.

FAU^2 Focus Workshop on Quantum Gravity across Scales: From Physics at the Planck Scale to Effective Theories (*Interational non-UE congress***)**, Erlangen (Germany), 20th-25rh of May 2025.

- *Darboux Transformations in (the Interior of) Nonrotating Black Holes* (Plenary Talk), Guillermo A. Mena Marugán and Andrés Mínguez Sánchez.

The Quantum Information Structure Spacetime (QISS) Conference 2025 (*Interational non-UE congress***),** Perimeter Institute, Waterloo (canada), 14th–17th of April 2025.

- *Moderation of discussion session*, Francesca Vidotto.

12th LISA Cosmology Working Group Workshop (*International EU congress***)**, Tallinn (Estonia), 2nd-6th of June 2025.

- *LISA: mission and Consortium update* (Plenary talk), Gianluca Calcagni.
- *Simulation-Based-Inference for SGWB reconstruction* (Plenary talk), Mauro Pieroni.

Lee's Fest: Quantum Gravity and the Nature of Time (*Interational non-UE congress***),** Perimeter Institute, Waterloo (canada), 2nd–6th of June 2025.

- *Spinfoams and the Discreteness of Time* (Invited Oral contribution), Francesca Vidotto.

Helgoland 2025: 100 Years of Quantum Mechanics (*Interational non-UE congress***),** Helgoland (Germany), 9th–14th of June 2025.

- *Participant*, Francesca Vidotto.

PhD Day Serrano (*National congress***)**, Madrid, 12th of June 2025.

- *Spin-dependent transport through edge states in 2D semi-Dirac materials* (Poster), Marta García Olmos.

Time in Quantum Theory 2025 (*Interational non-UE congress***),** Genova (Italy), 17th–20th of June 2025.

- *Discrete Quantum Time: from theory to experiments* (Invited Oral contribution), Francesca Vidotto.

14th Iberian Gravitational Waves Meeting (*International EU congress*), Madrid (Spain), 23rd-25th of June 2025.

- *Accelerating LISA inference with Gaussian Processes* (Contributed talk), Jesús Torrado.

Gravitational Wave Probes of Physics Beyond Standard Model 4 (*International EU congress***)**, Warsaw (Poland), 23rd-26th of June 2025.

- *Simulation-Based-Inference for SGWB reconstruction* (Plenary talk), Mauro Pieroni.

Quantum Technologies for Young Researchers Workshop 2025 (*National congress***)**, Madrid, 8th-11st of July 2025.

- *Spin-dependent transport through edge states in 2D semi-Dirac materials with Rashba spin-orbit coupling and band inversion* (Poster), Marta García Olmos, Yuriko Baba, Rafael A. Molina, Mario Amado, and Alexander López.

24th International Conference on General Relativity and Gravitation (GR24) *(International non-UE congress)*, Glasgow (UK), 14th-18th of July 2025.

- *Perturbative Gauge-Invariants in the Schwarzschild Interior for Hybrid Quantization* (Oral contribution), Andrés Mínguez Sánchez and Guillermo A. Mena Marugán.

Enabling Future Gravitational Wave Astrophysics in the Milli-Hertz Regime (*International EU congress***)**, Munich (Germany), 14th-25th of July 2025.

- *SBI and acceleration sampling with Machine Learning* (Plenary talk), Mauro Pieroni.

XI Conference of The Polish Society on Relativity *(International non-UE congress)*, Wrocław (Poland), 21st-25th of July 2025.

- *Some Reflections on Hamiltonians and* GR (Plenary talk), Jesús Fernando Barbero González.

Encuentros Relativistas Españoles y Portugueses *(International non-UE congress)*, Alicante (Spain), 21st-25th of July 2025

- *Attendance, President of SEGRE,* Jesús Fernando Barbero González.

Topological Matter School 2025 (*International non-UE congress***)**, Puebla (Mexico), 17th-22th of August 2025.

- *Spin-dependent transport through edge states in 2D semi-Dirac materials* (Poster), Marta García Olmos, Yuriko Baba, Rafael A. Molina, Mario Amado, and Alexander López.

Quantum Chaos 2025 (*International non-UE congress***)**, San Sebastián (Spain), 18th-22th of August 2025.

- *From integrability to chaos in quantum Liouvillians* (Invited talk), Rafael A. Molina.

29th Colloquium on High-Resolution Molecular Spectroscopy *(UE congress)*, Köln (Germany), 25th-29th of August 2025.

- *Highly correlated ab initio calculations applied to the characterization of astrophysical species* (Invited talk), María Luisa Senent.
- *Theoretical spectroscopic study of isoprene and amylene* (Poster), Sinda Brahem, Dorsaf Missaoui, Kahina Sidi Said, Samira Dalbouha, Ounaies Yazidi, Faozi Najar, Nejmedin Jaïdane, and Maria Luisa Senent.
- *High-resolution spectroscopic insight into methyl formate dehydrogenation: detection and characterization of CH2OCHO and CH3OCO radicals* (Oral contribution), Rosemonde Chahbazian, María Luisa Senent, Miguel Carvajal-Zaera, and Olivier Pirali.

Jerzy Lewandowski Memorial Conference (*Interational non-UE congress***)**, Warsaw (Poland), 15th-19th of September 2025.

- *A Hamiltonian Formalism for Perturbed (Interiors of) Nonrotating Black Holes* (Plenary Talk), Guillermo A. Mena Marugán, Michele Lenzi, Andrés Mínguez Sánchez, and Carlos F. Sopuerta.
- *Some Reflections on Hamiltonians and GR* (Plenary talk), Jesús Fernando Barbero González.
- *Participant,* Francesca Vidotto.

Escuela-Congreso 100 años de revolución cuántica (*International non-UE congress***)**, Medellín (Colombia), 2nd of October 2025.

- *Quantum Hall-superconductor nanostructures* (Invited plenary talk), Yuriko Baba.

ATMOS 2025 Greenhouse Gasses and Pollutants, Spectroscopy, Reactivity and Gas-Gas and Gas-Solid Interactions. Theoretical and experimental techniques *(International non-UE congress)*, Agadir (Morocco), 6th-11st of October 2025.

- *Highly correlated ab initio calculations applied to the characterization of atmospheric species* (Oral contribution), María Luisa Senent.
- *Ab initio characterization of C2H4N2 isomers: structures, electronic energies, spectroscopic parameters and formation pathways,* (Oral contribution), Oko Godwin, Natalia Inostroza, Diego Mardones, Luca Bizzocchi, Edgar Mendoza, Maria Luisa Senent, and Miguel Carvajal.
- *Theoretical spectroscopic study of isoprene and amylene* (Oral contribution), Sinda Brahem, Dorsaf Missaoui, Kahina Sidi Said, Samira Dalbouha, Ounaies Yazidi, Faozi Najar, Nejmedin Jaïdane, and Maria Luisa Senent.
- *The Far-Infrared spectrum of dimethyl peroxide (CH3OOCH3) and two S-analogs (CH3OSCH3, CH3SSCH3). A theoretical study* (Oral contribution), Dorsaf Missaoui, Sinda Brahem, Faouzi Najar, Ounaies Yazidi, and María Luisa Senent.
- *Theoretical spectroscopic study of Methyl Ethyl Ketone ($CH_3–CO–CH_2–CH_3$) using highly correlated ab initio methods* (Oral contribution), Samira Dalbouha, Victoria Guadalupe Gámez, Munnerah Mogren Al Mogren, and María Luisa Senent.
- *Theoretical spectroscopic characterization of 2-Methyl-Propanal (Highly correlated ab initio calculations and variational procedure)* (Oral contribution), Rahma Boussassi, Ayad Bellili, and María Luisa Senent.
- *ZIF-8 vs. Copper Squarate: A theoretical insight into adsorption mechanisms* (Oral contribution), Celia Adjal, Nabila Guechtouli, Vicente Timón, Dalila Hammoutene, and María Luisa Senent.

LISA Spain Meeting 2025 (*National congress***)**, Madrid (Spain), 23rd-24th of October 2025.

- *LISA Consortium status* (Plenary talk), Gianluca Calcagni.
- *From the Interior to the Exterior of a Nonrotating Black Hole: Extension of a Vacuum State* (Oral contribution), Guillermo A. Mena Marugán and Alvaro Torres-Caballeros.
- *A Hamiltonian Approach to Black Hole Master Functions* (Oral contribution), Michele Lenzi, Guillermo A. Mena Marugán, Andrés Mínguez Sánchez, and Carlos F. Sopuerta.

Workshop on Complex Quantum Matter (*International non-UE congress***)**, Evora (Portugal), 27-31st of October 2025.

- *The route of shear to Ising superconductivity in bilayer graphene* (Invited talk), José González.

TeV Particle Astrophysics 2025 (TeVPA 2025) Conference (*International EU congress*), Valencia (Spain), 3rd-7th of November 2025.

- *Participant as convener of the Gravitational Wave sessions*, Mauro Pieroni.

When quantum field theory meets quantum information *(International non-UE congress)*, Universidad Carlos III de Madrid (Spain), 15th-17th of December 2025.

- *Participants*, Fernando Barbero, Francesca Vidotto, Antonio Vicente Becerril, Antoine Dierckx de Casterlé, Jacopo Taddei.

IX Cosmological Olentzero Workshop / José's Fest (*Interational non-UE congress***)**, University of the Basque Country (UPV/EHU), Bilbao (Spain), 18th-19th of December 2025.

- *Participant*, Francesca Vidotto.

International workshop on Detection Systems and Techniques for fundamental and applied physics, DeSyT-2025, Catania, Italia, febrero 2025

- *Silicon Strip Detectors: more than 20 years achieving worth knowledge regarding weakly bound and exotic nuclei* (Ponencia invitada) Luis Acosta

Photoptics 2025 (NanoPlasMeta25), *(International non-UE congress*), Porto (Portugal), February 22nd-24th of 2025,

- *Superchiral light emerging from quasi-Bound States in the Continuum in metasurfaces of Si nanorod dimers* (Contributed talk), B. Castillo López de Larrinzar, J.L. Pura, M. Liang, A. García-Martín, J. Gómez-Rivas, J. A. Sánchez-Gil.
- *Brewster quasi-BICs in out-of-plane symmetry broken Si nanodisk metasurfaces* (Invited talk), J. A. Sánchez-Gil, L. Hidalgo-Arteaga, D.R. Abujetas, B. Castillo López de Larrinzar, A. García-Martín.

NUSTAR Annual Meeting 2025 GSI, (*International non-UE congress*) Darmstadt (Germany), February 24-28, 2025,

- *Participant (online),* C. Rappold

Special Colloquium in Memoriam Gottfried Münzenberg GSI, (*International non-UE congress*) Darmstadt, February 27, 2025

- *Participant (online),* C. Rappold

FAST25 Workshop, Fast timing for nuclear structure and applications (*Interational UE congress*) Madrid (Spain), 12-14 March 2025,

- *Fast-Timing Study of Nuclear Shape Deformation in 100Sr across N=60* (Oral contribution) J. Sánchez-Prieto

HiCARI Analysis Workshop 2025 (*Interational non-UE congress*) Manchester (United Kingdom), 17-19 March 2025

- *Participant,* C. Ferrera González

International Iron Gall Ink Meeting 2025 Towards a sustainable preservation, *(International congress*), Lisboa (Portugal), 8th -9th May of 2025,

- *Raman and Surface-Enhanced Raman scattering analysis of iron gall inks employed in historic manuscripts: Effect of aging on the spectral markers* (Invited Lecture) M.V. Ojeda, S. Sanchez-Cortés, Z. Jurasekova.

GOLD 2025, *(International non-UE congress*), San Sebastián (Spain), May 11th-14th of 2025,

- *Bound states in the continuum in plasmonic nanodisk metasurfaces: exciton-polariton condensation* (Contributed talk), R. P. Argante, A. M. Berghuis, J.L. Pura Ruiz, S. Murai, J. Gómez Rivas, J. A. Sánchez-Gil.

ATSOA2025 (International Accelerator School) CERN (Switzerland), 12 – 15 May 2025,

- *Participants*, D. Movilla Quintero, J.L. Correa Laorden, S. Gómez García

IReNA-CeNAM 2025: Frontiers in Nuclear Astrophysics Meeting (International non-UE congress) Ohio University, Athens, Ohio, USA, 19-23 May 2025

- *Gathering worth knowledge in nuclear astrophysics from Ibero American countries: the IANNA network* (Ponencia invitada) Luis Acosta.
- *Exploring the excited structure of 11Li via 9Li(t,p) reaction in inverse kinematics* (Poster) S. Gómez García

INPC2025 (International Nuclear Physics Conference) **(***Interational non-UE congress***)** Daejeon (Korea), 25 – 30 May 2025,

- *(Invited presentation*) B. Olaizola Mampaso

CEN 2025, *(International non-UE congress*), Cantoblanco (Spain), 10th-13th June of 2025,

- *Bound states in the continuum and superchiral near-fields in si metasurfaces* (Contributed talk), J.L. Pura, M. Liang, B. Castillo López de Larrinzar, A. García-Martín, J. Gómez-Rivas, J. A. Sánchez-Gil.

European AI for Fundamental Physics Conference (*Interational non-UE congress***)** Cagliari (Italy), 16 – 20 June 2025:

- *Track Inference of the Ion-optics of WASA-FRS based on machine learning models,* (oral contribution & poster) D. Calonge, S. Escrig, C. Rappold, for the WASA-FRS/Super-FRS Experiment Collaboration

ELS XXI, *(International non-UE congress*), Milazzo (Italy), 23rd-27th June of 2025,

- *Organic Exciton-Polariton Condensation in Metasurfaces* (Invited talk), L. Hidalgo-Arteaga, D.R. Abujetas, B. Castillo López de Larrinzar, A. García-Martín, J. A. Sánchez-Gil.

R3B Collaboration meeting (*International non-UE congress*) York (UK), July 7 – 11 2025.

- *Participants,* C. Rappold, O. Tengblad

Open Questions and Research Tools in Nuclear Astrophysics: A combined Summer School and Hackathon Event (International Summer School) Beaver Island, Michigan (USA) 21 – 25 July 2025

- *Participant, S. Gómez García*

OEDO/SHARAQ Workshop 2025 (*Interational non-UE congress*) RIKEN-RIBF, Wako (Japan), 24 July 2025

- *Status of SHARAQ12* (On-line oral contribution) C. Ferrera González

SuperFRS Experiment collaboration meeting 2025 *(International non-UE congress)* Waldorf, (Germany) 16 – 19 September 2025

- *Participants,* Christophe Rappold, David Calonge, Samuel Escrig.

European Nuclear Physics Conference 2025 *(International non-UE congress)*, Caen (France), 21 – 26 September 2025

- *Results on light hypernuclei in the WASA-FRS and E07 emulsion experiments* (Oral contribution), C. Rappold for Emulsion-ML Collaboration & WASA-FRS / SuperFRS Experiment Collaboration
- *New developments in the analysis of the hypernuclear experiment WASA-FRS with machine learning*, (Oral contribution) D. Calonge, C. Rappold, for the WASA-FRS/Super-FRS Experiment Collaboration

The 15th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP2025), *(International non-UE congress)*, Tokyo (Japan), September 29th to October 3rd, 2025:

- *Current results on light hypernuclei in the WASA-FRS HypHI experiment* (Oral contribution), C. Rappold
- *Application of Machine Learning for the discrimination of hypernuclear signals in the WASA-FRS experiment* (Poster), D. Calonge

IEEE IPC 2026, *(International non-UE congress*), Singapore (Singapore), 9th-13th November of 2025,

- *Optical metasurfaces for imaging, sensing and beyond* (Invited Tutorial talk), R. Paniagua - Dominguez.

Primeras Jornadas Internacionales de Espectroscopía, *(International congress*), San Miguel de Tucumán (Argentina), 10th – 12th November of 2025,

- *Espectroscopía óptica de superficie intensificada por nanoestructuras plasmónicas para la detección molecular, el análisis de biomoléculas y el diagnóstico del Patrimonio Cultural* (Plenary Lecture) S. Sanchez-Cortés.

EMMI Workshop on anti-matter, hyper-matter and exotica production, (I*nternational non-UE congress*), Salerno (Italy), November 10 – 14, 2025:

- *Hypernuclear Studies through Machine Learning* (Invited talk), C. Rappold

XVII CPAN DAYS, (*National congress*) Valencia (Spain), 19 – 21 November 2025:

- *Applying Machine Learning to the WASA-FRS experiment analysis* (Oral Contribution), D. Calonge.
- *Halo nuclei as open quantum systems* (Oral contribution), D. Movilla Quintero.
- *Studying the structure of light exotic nuclei through inverse-kinemarics reactiosn* (Oral Contribution) S. Gómez García

VI Jornadas Anuales de la Plataforma PTI-PAIS (*National congress*), Madrid, 2nd December of 2025.

- *Colaboraciones del grupo TEAMPATRI-IEM con grupos de la PTI-PAIS y otros análisis externos* (Invited Lecture) S. Sanchez-Cortes, Ana Crespo.

ISOLDE Workshop and Users Meeting 2025 (*Interational non-UE congress*) CERN, Meyrin (Switzerland), 3-5 December 2025,

- *Exploring shape coexistence acrross N=60 in Sr isotopes using IDS* (Oral contribution) J. Sánchez-Prieto

S**olenoidal Spectrometer Worksho**p 2025 9–12 de diciembre de 2025, Santiago de Compostela.

- *Design and Optimization of a Nested and Tilted Superconducting Solenoid with Multifunction Quadrupole/Dipole for the ISOLDE Superconducting Recoil Separator* (invited speaker) Teresa Kurtukian Nieto

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Planetary Sciences and Exploration of the Solar System congress (CPESS-8) (National), Málaga, May 26 – 29, 2025.

- *Porosity and Infrared refractive indices of H_2O: CO_2 ices* (Oral), B. Maté, R. J. Peláez, C. Millán, J. Ortigoso, M. Domingo, R. Luna, N. Pinto, A. Estacio, and V. J. Herrero.

78th International Symposium on Molecular Spectroscopy (International non-UE), Urbana-Campaign (USA), June 23 – 27, 2025.

- *$HOCS^+$ and $HSCO^+$ spectroscopy* (Oral Contribution), José Luis Doménech, Valerio Lattanzi, Weslley G. D. P. Silva, Sven Thorwirth, Stephan Schlemmer, Oskar Asvany.
- *High-Resolution Spectroscopy of Helium Containing Cations: CH^+-He_n (n=1,4) and HHe_2^+* (Oral contribution), Thomas Salomon, Oskar Asvany, Weslley G. D. P. Silva, Carla Schladt, Carlo Baddeliyanage, José Luis Doménech, Tamás Szidarovszky, Attila Császár, Stephan Schlemmer.

XXXVI ICPIG, Aix-en-Provence (International non-UE), France, July 2025.

- *Multi-diagnostic of dust growth in a capacitive Ar/C_2H_2 plasma* (Poster), J. Peláez, V. J. Herrero, M. Jiménez-Redondo, B. Maté and I. Tanarro.
- *Ion chemistry in C_2H_2/Ar cold plasmas: the dramatic effects of N_2 addition* (Plenary Lecture), I. Tanarro, R. J. Peláez and V. J. Herrero.

18th Iberian Joint Meeting on Atomic and Molecular Physics (IBER2025) (UE), Vigo, Spain, July 21– 24, 2025.

- *Infrared optical constants and band strengths of 10 K H_2O, CO_2 and CO porous ice mixtures* (Oral), B. Maté, R. J. Peláez, J. Ortigoso, N. Pinto, A. Estacio, I. Tanarro, J.L. Doménech and V. J. Herrero.

29th Colloquium on High-Resolution Molecular Spectroscopy (International non-UE), Cologne (Germany), August 25 – 29, 2025.

- *$HOCS^+$ AND $HSCO^+$ SPECTROSCOPY* (Poster), J. L. Doménech, W.G.D.P. Silva, V. Lattanzi, S. Thorwirth, S. Schlemmer and O. Asvany.

Build it up: laboratory perspectives on planet formation (International non-UE)**,** Strbské Pleso, Eslovaquia, Septemebr 23 – 25, 2025

- *Infrared optical constants of astrophysical ices* (Invited plenary talk), Belén Maté.

ATMOS 2025: Greenhouse Gases and Pollutants (International non-UE), Agadir, Morocco, October 6 – 10, 2025.

- *Experimental polarizability transition moments of $^{12}CO_2$ and $^{13}CO_2$ from Raman intensities* (Oral contribution), C. Alvarez, G. Tejeda, J. M. Fernández.

- *Collisional relaxation of CO_2 at high temperature* (Oral contribution), C. Álvarez, G. Tejeda, J. M. Fernández.

Astrochemistry on Grain Surfaces: The Journey of Dust, Ice, and Sulphur in Space (International non-UE), Madrid, October 13 – 16, 2025.

- *Chemistry induced by the destruction of OCS in ice mixtures under electron bombardment* (Invited talk), Belén Maté, Ramón J. Peláez, Victor J. Herrero, Isabel Tanarro, José Luis Doménech, Juan Ortigoso.

i-LINK+ workshop, Sulfur Chemistry in the interstellar medium (International non-UE), Madrid (Spain), December 1 – 2, 2025.

- *Status of the Madrid-Garching-Cologne collaboration* (Oral presentation), José Luis Doménech.

The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (International non-UE), Honolulu, USA. December 15 – 20, 2025

- *Chemistry induced by the destruction of OCS and H_2S ices under UV irradiation and electron bombardment* (Oral presentation), V. J. Herrero, B. Maté, R. Peláez, I. Tanarro and J. L. Doménech.
- *Stability of sulfur containing compounds in refractory materials and in ice mantles* (Oral presentation), Belén Maté, Victor J. Herrero, Ramón J. Peláez, Isabel Tanarro, José Luis Doménech, Juan Ortigoso.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

III Workshop on Materials for Photocatalysis, Energy and Clean Environment (IIIWmpece) (*International non-UE congress***)** Sevilla (Spain) 20-21st of February.

- *Tuning photophysical properties of semiconducting polymer nanoparticles for improved photocatalytic* (Oral Contribution), Jose Sena-Fernández, Aitana Hurtado, Esther Rebollar, Timothy J. Murdoch, Juan Francisco Vega, Ignacio Martín-Fabiani, Tiberio A. Ezquerra, Aurora Nogales
- *Tuning photophysical properties of semiconducting polymer nanoparticles prepared from aged precursor solution for improved photocatalytic activity* (poster), Aitana Hurtado-Mendoza, Jose Sena-Fernández, Esther Rebollar, Juan Francisco Vega, Aurora Nogales.

Annual European Rheology Conference - AERC 2025 (*International congress*), Lyon (France) *14-17th of April 2025*

- *Rheological insights into artificial tears: Shear and extensional properties* (Poster), J. F. Vega, M. Fernández, A. Cardil, J.A. Rodríguez Agudo, J. Haeberle.
- *Replicating the human tear film: microrheological study of complex fluids* (Oral contribution), A. Cardil Tornos, J. Ramos, M. Fernández, I. Calafel, A. Acera, J.F. Vega.

European Polymer Conference 2025: MacroLight (EUPOC 2025) (*International non-UE congress***),** Bertinoro (Italy), 11-15th of May 2025

- *Coloring and wettability control of silk fibroin films by multiple-scale structuring* (Oral contribution), A. Alegre, J. J. Hernández, T. A. Ezquerra, I. Rodríguez, M.C. García Gutiérrez.
- *Scalable Manufacturing of Functionalized Fresnel Lens-Based Solar Concentrators* (poster), Jaime J. Hernández, Almudena García-Sánchez, Guido Vallerotto, Paz Cumia, José A. Santiago, Alejandro García-Cañas, Ignacio Antón, César Domínguez and Isabel Rodríguez.

Ferrol Discussion Meeting on Polymer Physics, *(National congress)*, Ferrol (Spain) 12-15th of May 2025

- *Probing structure development during 3-D printing while "operando" using scattering methods with X-ray synchrotron radiation* (Invited Contribution), T.A. Ezquerra.
- *Irreversible adsorption and crystallization in ferroelectric polymer thin films* (Invited Contribution), Esther Rebollar, Gonzalo Santoro, Oscar Gálvez, Aurora Nogales.
- *Pequeños volúmenes, dinámicas rápidas: Una aproximación microrreológica a sistemas biológicos* (Oral contribution), J.F. Vega.
- *Data driven approach to polymer research: "Polymer Informatics"* (Oral contribution), J. Ramos.

3rd COST NanoSpace Joint Scientific Meeting. (*UE*) Kaunas (Lithuania), May 13-15th of May 2025,

- *Laboratory simulation of circumstellar carbon and silicon carbide dust grains* (Invited talk), G. Santoro.

III PhDay Serrano (*Local congress*), Madrid (Spain) 16th of June 2024

- *Tears dry on their own: a microrheological study* (Poster), A. Cardil, M. Fernández, I. Calafel, I. Martínez-Soroa, A. Pérez Sarriegui, J. Ramos, A. Acera, J. F. Vega.
- *Tuning photophysical properties of semiconducting polymer nanoparticles prepared from aged precursor solution for improved photocatalytic activity* (Poster), Aitana Hurtado-Mendoza, Jose Sena-Fernández, Esther Rebollar, Juan Francisco Vega, Aurora Nogales.

European Polymer Congress - EPF25 *(International congress)*, Groningen (The Netherlands) 22-27th of June 2025

- *Viscoelastic insights into human tears and artificial teardrops* (Oral contribution), J.F. Vega, A. Cardil, J. Ramos
- *Combining experimental and computational rheology to determine complex macromolecular architectures* (Oral contribution), A. Cardil, O. Lhost, A. Sigwald, J.F. Vega.
- *Graphene as internal nanoheater for dynamic polyurethane adhesives: A pathway to recyclable multilayer packaging* (Invited Talk), A. Cardil, J.F. Vega, H. Seyler, S. Quiles-Díaz, H. Salavagione, M. Gómez-Fatou, A. Flores.

I Encuentro Español de Jóvenes Investigadores en Fotocatálisis *(National Congress)* Alcoy 1-2nd of July.

- *Tuning photophysical properties of semiconducting polymer nanoparticles prepared from aged precursor solution for improved photocatalytic activity* (Oral Contribution), Aitana Hurtado-Mendoza, Jose Sena-Fernández, Esther Rebollar, Juan Francisco Vega, Aurora Nogales.

Gordon Research Conference: Silk Proteins and the Transition to Biotechnologies (*Interational non-UE congress***)**, Bryant University, Smithfield, Rhode Island (USA), 6-11th of July 2025.

- *Functional silk fibroin films through multiscale structuring* (Oral contribution), A. Alegre, J. J. Hernández, T. A. Ezquerra, I. Rodríguez, M.C. García Gutiérrez.
- *On the nature of fluorescence modification induced by deformation in regenerated silk fibroin* (Póster), M.C. García Gutiérrez, G. Santoro, O. Toledano, I. Horcajo, E. Rebollar, T. Ezquerra, J. Sena-Fernández, E. Solano.

XII Congreso de Jóvenes Investigadores en Polímeros - JIP 2025 *(National congress)*, Bilbao (Spain) 14-17th of July 2025

- *Studying the viscoelastic properties of the human tear film: microrheology of complex polymer solutions* (Oral contribution), A. Cardil.

10th International Discussion Meeting on Relaxation in Complex Systems. (International Non-Ue Congress) Barcelona (Spain) 22-25th of July

- *Irreversible adsorption and crystallization in ferroelectric polymer thin films* (Invited talk), Esther Rebollar, Gonzalo Santoro, Oscar Gálvez, Aurora Nogales.

Eleventh International Symposium on Engineering Plastics (EP'2025) *(International non-UE congress)*, Harbin, (China), 3-6th of August 2025.

- *Crystallization effects during fuse filament fabrication of polymers while "operando" using scattering methods with X-ray synchrotron radiation* (Invited talk), T.A. Ezquerra, O Gálvez, E Rebollar, A Nogales, MC García-Gutiérrez.

Poly-Char 2025 *(International non-UE Congress)*, Reduit (Mauritius), 1st-5th September 2025.

- *Nanocomposites inks composed of an elastomer and biobased carbon nanoforms for flexible conductors* (Oral Contribution). H. J. Salavagione, S. S. Nemala, B. Bernardino, R. M. R. Pinto, V. Lopes, P. Alpuim, I. Çaha, E. Sotgiu, M. A. Gómez-Fatou, J. F. Vega, A. Capasso.

I Reunión de Jóvenes Investigadores en Reología- JIRheo 25 *(National congress)*, Madrid (Spain) 11-12th of September 2025

- *Líneas de investigación en reología del grupo BIOPHYM* (Poster), J.F. Vega, J. Ramos
- *Propiedades mecánicas de los biofilms en ambientes extremos: importancia microbiológica* (Poster), V. Souza-Egipsy, M.A. Aguilera, J.F. Vega.
- *Estudiando las propiedades del film lagrimal humano: microrreología de disoluciones poliméricas complejas* (Oral contribution), A. Cardil, M. Fernandez, I. Calafel, I. Martínez-Soroa, A. Pérez Sarriegui, J. Ramos, A. Acera, J.F. Vega.
- *BoB-GUI: Interfaz para crear bases de datos de propiedades reológicas* (Poster+Flash contribution), C. García, J. Ramos, J.F. Vega.
- *Propiedades reológicas de polímeros mediante experimentos de torsión dinámica y reometría extensional* (Oral contribution), M. Alcón Villaraco, M. Fernández, J.F. Vega.
- *Estudio microrreológico de disoluciones de polisacáridos para el diseño de lágrimas artificiales* (Poster+Flash contribution), J. Hernández Blanco, A. Cardil, J.F. Vega.
- *Crystallization, mechanical properties and rheology of high-molecular weight polyethylene brassylate* (Oral contribution), C. Rentero, V. Souza-Egipsy, J.F. Vega, V. Sessini, M.E.G. Mosquera.

42nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (*International congress*) Bilbao (Spain) 22-26 September 2025

- *Fabrication of a Novel Semi-Translucent BIPV Module Providing High Power Density and Active Daylight Management* (Oral contribution), Almudena García-Sánchez, Guido Vallerotto, Jaime J. Hernández, Alejandro García-Cañas, Steve Askins, Ignacio Antón, Isabel Rodríguez, César Domínguez.

V Encuentro Internacional sobre Ciencias y Humanidades (Donostia International Physics Center) San Sebastián (Spain) 14/10/2025

- *Genialidad innata o adquirida: una visión muy, muy personal* (Invited talk), T.A. Ezquerra.

9º Seminario de Jóvenes Investigadores en Polímeros - SEJIPOL2025 (*National congress),* Madrid (Spain), 28th of October

- *Microrheology of complex polymer solutions to mimic natural tears* (Oral contribution, winner), A. Cardil, M. Fernández, I. Calafel, I. Martínez-Soroa, A. Pérez Sarriegui, J. Ramos, A. Acera, J. F. Vega.

VIII Reunión Nacional de Grupos de Fotocatálisis II Reunión Nacional Red InterPhot y Conexión Fotocatálisis *(National congress)* Madrid (Spain) 13-14th of November.

- *Semiconducting polymer nanoparticles prepared from aged precursor solution for photocatalytic water treatment* (Oral contribution), Aitana Hurtado-Mendoza, Jose Sena-Fernández, Esther Rebollar, Eduardo Solano, Juan Francisco Vega, Aurora Nogales.

Madrid Symposium on Polymers - MADPOL 2025 *(International congress),* Alcalá de Henares (Spain), 12-14th of November

- *Combining experimental and computational rheology to determine complex macromolecular architectures* (Oral contribution), A. Cardil, A. Sigwald, O. Lhost, J.F. Vega.

12th IOPTICA Scientific Seminars *(Local congress),* Madrid (Spain), 16th of December

- *Studying the properties of the human tear film: microrheology of complex biofluids* (Oral contribution), A. Cardil.

ESTANCIAS DE INVESTIGADORES EN EL INSTITUTO
Visitors

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

- **Amal Dalbouha,** UIZ Agadir, Morocco, 1st of January-11st of December 2025.
- **Kahina Sidi Said,** USTHB, Algeria, 4th of March-22th of August 2025.
- **Ayad Bellili,** USTHB, Algeria, 18th of March-5th of April 2025.
- **Rahma Boussassi,** USTHB, Algeria, 18th of March-5th of April 2025.
- **Andrea Begnoni,** Ph.D. student, 1st of May – 30th of June 2025
- **Samira Dalbouha,** UIZ Agadir, Morocco, 14th of July-3rd of September 2025.

- **Moustapha Belmouden,** UIZ Agadir, Morocco, 14th of July-3rd of September 2025.
- **Saloua Lahoum,** USTHB, Algeria, 31st of July-31st of December 2025.
- **Rahma Boussassi,** USTHB, Algeria, 3rd-23th of August 2025.
- **Ayad Bellili,** USTHB, Algeria, 3rd-23th of August 2025.
- **Jonas el Gammal,** Postdoc, U. of Insubria, 13rd-17th of October 2025.
- **Mirko Pitzalis,** U. Cagliari, Italy, 1st of October – 31st of December 2025.
- **Nadia Djebra,** USTHB, Algeria, 7th-21st of November 2025.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

- **Daniele Gonçalves Mesquita,** Universidad Federal de Pelotas (Pelotas/Brasil) 01 de Enero de 2025-31 Marzo de 2025. Estudio de Centelleadores plásticos de Perovskita BaZrO3 dopada con Tierras raras
- **Dra. Oumaima Douass,** Pre-doctoral Researcher. Université Abdelmarek Essaadi, Tetouan (Morocco), 1st January- 15th July of 2025.
- **Mr. Francisco José Gómez Fernández,** Tesis Fin de Máster. Universidad Europea, 1st February-31st December of 2025.
- **Mr. Rafael Sierra Alonso**, Prácticas extracurriculares, Universidad Autónoma de Madrid, 3rd February-30 April of 2025
- **Dr. Federico Puliga, Researcher,** Università di Bologna (Italy), 11th -18th September of 2025.
- **Dra. Veronica Zuffi, Researcher,** Università di Bologna (Italy), 11th -18th September of 2025.
- **Profa. Belén Hernández,** Full Professor, Université Sorbonne Paris Nord, Paris (France), 2nd -5th November of 2025.
- **Dr. Baptiste Amouroux,** Associated Professor, Université Sorbonne Paris Nord, Paris (France), 2nd -5th November of 2025.
- **Prof. Felix Fernandez-Alonso,** Materials Physics Center EHU, Spain, 17-21th of November 2025
- **Prof. Jaime Gómez Rivas,** Technical University of Eindhoven, The Netherlands, 16th-22th of December 2025.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

- **Virginia Souza-Egipsy Sánchez,** University Center in Svalbard. UNIS, Longyearbyen, Norway, 7th - 11th of July 2025.

CONFERENCIAS DE INVESTIGADORES INVITADOS
Invited Researchers Conferences

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Dra. Laura Ortiz Martín.

Universidad Politécnica de Madrid (Spain).

Quantum Key Distribution Networks: From Fundamental Protocols to Next-Generation Infrastructure.

14th of January 2025.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Dra. Deseada Díaz Barrero.

Tritium Laboratory of Karlsruhe (Karlsruhe Institute of Technology) Karlsruhe, Germany.

El Laboratorio de Tritio de Karlsruhe (TLK) y los experimentos con grandes cantidades de tritio: KATRIN y Fusión Nuclear.

18th of February 2025.

Prof. Philip Varghese.

Director of the Center for Aeromechanics Research at University of Texas at Austin.

Oden Institute and Department of Aerospace Engineering & Engineering Mechanics, UT Austin.

Raman Scattering Measurements in High Temperature Systems.

17th of March 2025.

VISITAS DE INVESTIGADORES A CENTROS INTERNACIONALES - *Visits to Foreing Institutions*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Gianluca Calcagni

- U. Roma 3, Rome, Italy, 19th -25th of January 2025.
- Estonia Academy of Sciences, Tallinn, Estonia, 1st -6th of June 2025.

Rafael Alejandro Molina Fernández

- Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (CNRS), Strasbourg, France, 10th-20th of July 2025.
- Università degli studi di Firenze, Florence, Italy, 1st-9th of September 2025.

María Luisa Senent Diez

- Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad UIZ Agadir (Marruecos), Spain, 26th of April-15th of May 2025.
- Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad UIZ Agadir (Marruecos), Spain, 29th of September-24th of October 2025.

Mauro Pieroni

- Imperial College London, London, UK, 26th - 30th of May 2025.
- Imperial College London, London, UK, 28th of July – 1st of August 2025.
- Imperial College London, London, UK, 27th of October – 1st of November 2025.
- Imperial College London, London, UK, 8th - 12th of December 2025.
- Sissa (International School for Advanced Studies), Trieste, Italy, 15th - 19th of December 2025.

Jesús Torrado Cacho

- RWTH-Aachen University, Aachen, Germany, 21st of January to 14th of April, 5th-19th of May, and 23rd of May to 22nd of June 2025.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Santiago Sánchez Cortés.

- Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari. Università degli Studi di Bologna (Italy), 13th – 19th February, 18th -26th February, 8th -15th June, 14th -19th June of 2025.
- Universidad Nacional de Tucumán (Argentina), 10th-20th November of 2025
- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso (Chile), 20th – 30th November of 2025

Ramon Paniagua-Dominguez.

- Insitute of Materials Research and Engineering, Agency for Science, Technology and Research (A*STAR), 21st April – 22nd June of 2025, Singapore (Singapore)

Luis Acosta.

- IJCLab, Orsay, Francia: Participación en el experimento ISI46: Is the Spectroscopic Factor constant? 30/11/2025-04/12/2025
- HIE-ISOLDE CERN, Ginebra Suiza: Participación en el experimento IS690 “11Be+3H @ 5.4 MeV/u” en línea SEC (mounting, beam time + calibrations). 08/09/2025-23/10/2025;
- Laboratorio TRIUMF, Vancouver, Canadá: Participación en el experimento S2384 “Detailed spectroscopy of 12Li using the (d,p) reaction with ACTAR TPC”. 16-30/07/2025;
- Laboratori Nazionali di Legnaro, Istituto Nazionali di Fisica Nucleare, Legnaro, Italia: Participación en el Experimento LNL_24.034 "Indirect Measurement of the 11C(α,p)14N Reaction via the Trojan-Horse Method for the Supernova Nucleosynthesis and Neutrino Mass Hierarchy". 6-11/07/2025;
- GSI Helmholtzzentrum Für Schwerionenforschung, Darmstadt, Alemania: Participación en el experimento G-24-00249 "Unveiling the structure of neutron-rich Z=9 isotopes: the case of 25F” de la Colaboración R3B. 03-11/06/2025;

- GSI Helmholtzzentrum Für Schwerionenforschung, Darmstadt, Alemania: Participación en el Experimento S122 “ASY-EOS II” de la Colaboración R3B. 19-28/03/2025;

D. Calonge.

- GSI-FAIR: Participación y preparación experimento R3B – S249: 26/05/2025 - 12/06/2025

C. Rappold.

- GSI-FAIR: Participación y preparación experimento R3B – S249: 02/06/2025 – 10/06/2025
- GSI-FAIR: Participación experimento FRS – S027: 16/06/2025 – 22/06/2025

B. Olaizola Mampaso

- ISOLDE-CERN: Supervisión del experimento IS709: 20/08/2025 - 10/09/2025

J. Sánchez Prieto

- ISOLDE-CERN: Participación en experimentos IS767, IS771: 25/04/2025 - 03/04/2025
- ISOLDE-CERN: Participación en experimento IS770: 06/05/2025 - 16/05/2025
- ISOLDE-CERN: Estancia ISOLDE-CERN: 17/06/2025 – 17/07/2025
- ISOLDE-CERN: Preparación del experimento IS709: 08/08/2025 - 15/08/2025
- ISOLDE-CERN: Preparación del experimento IS709: 21/08/2025 - 04/09/2025
- ISOLDE-CERN: Participación en experimento IS709: 08/09/2025 - 19/09/2025
- ISOLDE-CERN: Participación en experimentos LOI239, IS741, IS747: 29/11/2025 - 06/12/2025

D.Movilla Quintero

- ISOLDE-CERN: Participación experimentos IS767, IS771: 24/03/2025 - 06/04/2025
- ISOLDE-CERN: Participación experimentos IS770: 11/05/2025 – 21/05/2025
- ISOLDE-CERN: Participación y preparación experimento IS709: 1/09/2025 – 16/09/2025
- GRIFFIN-TRIUMF: Participación y preparación experimento S2209: 05/12/2025 – 16/12/2025

S. Gómez García

- ISOLDE-CERN: Participación experimentos IS690-B: 09/10/2025 – 24/10/2025
- Aarhus University: Colaboración experimento IS690-B: 06/12/2025 - 13/12/2025

B. Castillo López de Larrinzar.

- C2N-CNRS, París (France), 1st March-30th June of 2025.

CAPÍTULO 5 – LABOR DOCENTE, DIFUSIÓN DE LA CIENCIA Y OTRAS ACTIVIDADES

TEACHING, OUTREACH AND OTHER ACTIVITIES

DOCENCIA

Teaching

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Guillermo A. Mena Marugán.

- Prácticas de Erasmus+ "Impacts of the Starobinsky Potential on the Primordial Power Spectrum in Loop Quantum Cosmology Scenarios"– Master1—Observatoire de Paris (France).

  16 April 2025/31 July 2025 –150 h.

Jesús Fernando Barbero González.

- El Siglo de la Física – Bachelor program in Engineering (humanities course), National/Official program, Universidad Carlos III (Madrid).

  11 h. imparted from 29 January to 5 March 2025.

Rafael Alejandro Molina Fernández.

- Emergent properties in quantum materials – Master in Quantum Technologies and Engineering– National Official – Universidad Carlos III de Madrid.

  3/11/2025-19/11/2025 – 6 horas.

Yuriko Caterina Baba.

- Materiales cuánticos (teoría, simulación) – Escuela-Congreso 100 años de revolución cuántica – International – Universidad Nacional de Colombia (Colombia).

  20/09/2025-1/10/2025 – 21 horas.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

O. Tenglad, T. Kurtukian Nieto, MJG Borge, D. Fernandez Ruiz, A. Nathali Nerio Aguirre, J. Sanchez Prieto, C. Ferrera Gonzalez, S. Sanchez Navas, B. Olaizola, L. Acosta Sanchez, A. Jungclaus, C. Rappold, S. Escrig Lopez, D. Calonge, J. Acosta Loza.

- Tipo: Master Interuniversitario

- Ámbito: National Official,
- Entidad Coordinadora: Universidad de Sevilla
- Nombre del curso: Técnicas Experimentales Avanzadas en Física Nuclear
- Programa en que se enmarca: Master de Física Nuclear
- Fechas de docencia: 20 enero – 31 enero de 2025
- Horas impartidas: 60h

María Vega Cañamares Arribas.

- Tipo: Grado
- Ámbito: National Official,
- Entidad Coordinadora: Universidad Complutense de Madrid
- Nombre del curso: Prácticas Externas Curriculares (Tutora)
- Programa en que se enmarca: Grado en Física
- Fechas de docencia: 10 marzo – 30 abril de 2025
- Horas impartidas: 150h

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Belén Maté Naya

- Tutor Prácticas Externas Curriculares – Grado en CC. Químicas (National Official) – Universidad Complutense de Madrid.
  3 February 2025 – 26 May 2025 – 300 horas. Estudiante: Antonio Estacio Mateos.
- Tutor Prácticas Externas Curriculares – Grado en CC. Químicas (National Official) – Universidad Complutense de Madrid.
  1 September 2025 – 13 December 2025 – 300 horas. Estudiante: Celia Aviles de la Torre.

Vicente Timón Salinero

- Tutor Prácticas Externas Curriculares – Grado en CC. Químicas (National Official) – Universidad Complutense de Madrid.
  22 September 2025 – 19 December 2025 – 300 horas. Estudiante: Bryan Joel Ruiz Ortiz

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Juan Francisco Vega

- Tutor de Prácticas Curriculares (Mireya Alcón Villaraco) – Química– Grado – National Official – Universidad de Alcalá de Henares.
  26th of May - 30th of August 2025 – 390 hours
- Tutor de Trabajo de Prácticas Curriculares (Javier Hernández Blanco) – Física – Grado – National Official – Universidad de Valladolid.
  7th of July - 12th of August 2025 – 150 hours
- Tutor de Trabajo de Prácticas Curriculares y Trabajo Fin de Grado (Eva Torres Pérez) – Ciencias Experimentales – Grado – National Official – Universidad Rey Juan Carlos.

10th of February - 23th of May 2025 – 390 hours

- Asignatura de Reología (Profesor Responsable) - Máster en Alta Especialización en Plásticos y Cauchos – Internacional - Universidad Internacional Menéndez Pelayo - Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
  6th February-28th February 2025 – 12 hours.

Javier Ramos

- Tutor de Prácticas Curriculares (Mateo Martínez Aguado) – Materiales – Grado – National Official – Universidad de Alcalá de Henares.
  11th of November 2024-16th of February 2025 – 390 hours
- Asignatura de Simulación Molecular - Máster en Alta Especialización en Plásticos y Cauchos – Internacional - Universidad Internacional Menéndez Pelayo - Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
  22th of February 2025-1th of April 2025 – 14 hours
- Curso "Taller de usuarios en el supercomputador DRAGO" – Estación Experimental del Zaidín, Granada, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
  20th of May 2025-21th of May 2025 – 16 hours
- Taller de Supercomputación. Uso del software científico en HPC Drago, Gabinete de Formación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
  3th of November 2025-7th of November 2025 – 25 hours (Javier Ramos 9 hours).

CURSOS, CONFERENCIAS Y SEMINARIOS
Courses, Conferences and Seminars

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

José González Carmona

- *El grafeno, laboratorio de materiales topológicos*, XXI Curso de Iniciación a la Investigación, Instituto de Estructura de la Materia, Madrid, 9th of April 2025.

Gianluca Calcagni

- *Fractional quantum gravity*, U. Complutense, Madrid, 22nd of October 2025.
- *Quantum gravity and gravitational waves*, U. Roma 3, Rome (Italy), 20th of January 2025.

Rafael Alejandro Molina Fernández

- *Liouvillian Spectra as a Window into Quantum Chaos and Dissipative Phase Transitions*, INFN Sezione di Firenze, Florence (Italy), 8th of September 2025.

Francesca Vidotto

- *Quantum Gravity: Bringing it down to Earth*, Nuremberg Lecture (Yearly Special Faculty Colloquium), Western University, Canada, 3rd of April 2025.

- *Bringing it down to Earth: Quantum gravity from black holes to the lab,* Colloquium of IEM/SCSIC, Madrid, Spain, 22nd of April 2025.
- *Spinfoam Cosmology: Computing Spacetime Correlations From Scratch (online seminar),* QISS Collaboration, 16th of May 2025
- *Quantum Gravity Phenomenology (Lecture),* Baulmann Summer School on Loop Quantum Gravity, Les Houches (France), 1st-12th of September 2025.
- *Quantum Gravity Phenomenology*, Colloquium de Laboratoire de Physique Ecole Normal Superior, Lyon (France), 13th of November 2025.

Mauro Pieroni

- *Measuring Stochastic Gravitational Wave Backgrounds with Pulsar Timing Arrays*, Instituto de Fisica Teórica (IFT), Madrid, 18th of September 2025.
- *Simulation-Based-Inference for SGWB reconstruction*, Instituto de Fisica Teórica (IFT), Madrid, 16th of October 2025.

Jesús Torrado

- *Fast Inference for Slow Likelihoods with Probabilistic Machine-Learning*, Instituto de Física Teórica (IFT-UAM/CSIC), 2nd of October 2025

Marta García Olmos

- *Topología en Materia Condensada*, Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles, 3rd of December 2025.
- Topological Materials – XXI Curso de Iniciación a la investigación en Estructura de la Materia, Madrid, 9th of April 2025.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Santiago Sánchez Cortés

- *Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS) on nanostructures: applications in molecular detection, biomolecules and Cultural Heritage.* Université Abdelmalek Essaaudi de Tétouen (Morocco). 3rd January of 2025.
- *The application f Raman spectroscopy to the study of biological materials by nanosensors.* University of Bologna (Italy), International Course. 9th April of 2025.
- *Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS) on nanostructures: applications in molecular detection, biomolecules and Cultural Heritage,* University of Florence (Italy), 10th April of 2025.
- *Técnicas espectroscópicas aplicadas al estudio de materiales/ Plasmónica: Detección molecular intensificada sobre nanoestructuras metálicas.* XXI Curso de Iniciación a la investigación en Estructura de la Materia. Madrid, 7th April of 2025.
- *Curso de Espectroscopía Aplicada y Nanoestructuras para la Ciencia y la Tecnología,* San Miguel de Tucumán (Argentina), 50 hours, 13th- 19th Novembre of 2025.

- *Espectroscopía óptica de superficie intensificada por nanoestructuras plasmónicas para la detección molecular, el análisis de biomoléculas y el diagnóstico del Patrimonio Cultural.* Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile). 27th November of 2025.

Carlos Cabrillo García

- *La física de la materia desordenada*. XXI Curso de Iniciación a la investigación en Estructura de la Materia. Madrid, April 2025.

Christophe Rappold

- *Cómo la IA ayuda a encontrar eventos raros en física nuclear y de partículas.* XXI Curso de Iniciación a la investigación en Estructura de la Materia. Madrid, April 2025.

Bruno Olaizola

- *Cómo funcionan los experimentos de física nuclear con isótopos exóticos.* XXI Curso de Iniciación a la investigación en Estructura de la Materia. Madrid, April 2025.

Teresa Kurtukian Nieto

- *Instrumentación nuclear para la búsqueda de materia oscura a través de la formacion de sexaquarks en helio-antiprotónico.* XXI Curso de Iniciación a la investigación en Estructura de la Materia. Madrid, April 2025.

Amanda N. Nerio

- *Uso de instrumentación nuclear en protonterapia*, XXI Curso de Iniciación a la investigación en Estructura de la Materia. Madrid, April 2025.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Guzmán Tejeda Gala

- *Visit to the Laboratory of Molecular Fluid Dynamics.* Part of "XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, April 7 – 9, 2025.
- *Espectroscopía de microchorros: gases y líquidos fuera del equilibrio.* Part of "XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, April 7 – 9, 2025.

José M. Fernández Sánchez

- *Espectroscopía: una potente herramienta para conocer el Universo.* Conferencia a estudiantes de Bachillerato, Catálogo de Conferencias Científicas del CSIC dirigidas al Sistema Educativo de la Comunidad de Madrid, IES Profesor Máximo Trueba (Boadilla del Monte, Madrid), January 28, 2025.
- *Visit to the Laboratory of Molecular Fluid Dynamics.* Part of "XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, April 7 – 9, 2025.

- *Espectroscopía: una potente herramienta para conocer el Universo.* Conferencia a estudiantes de Bachillerato, Catálogo de Conferencias Científicas del CSIC dirigidas al Sistema Educativo de la Comunidad de Madrid, Colegio Tres Olivos (Madrid), December 10, 2025
- *Espectroscopía: una potente herramienta para conocer el Universo.* Conferencia a estudiantes de Bachillerato, Catálogo de Conferencias Científicas del CSIC dirigidas al Sistema Educativo de la Comunidad de Madrid, IES Profesor Máximo Trueba (Boadilla del Monte, Madrid), December 12, 2025.

Isabel Tanarro Onrubia

- *Visit to the Cold Plasmas Laboratory.* Part of "XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, April 7 – 9, 2025.
- *Visit to the Cold Plasmas Laboratory.* IES Teulada (Alicante), December 18, 2025.

Belén Maté Naya

- *Hielos astrofísicos.* Part of "XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, April 7 – 9, 2025.
- *Visit to the Ice Laboratory.* Part of "XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, April 7 – 9, 2025.

Raúl Z. Martínez Torres

- *Visit to the Laser Spectroscopy Laboratory.* Part of "XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, April 7 – 9, 2025.
- *Visit to the Laser Spectroscopy Laboratory.* IES Teulada (Alicante), December 18, 2025.

Ramón Javier Peláez de Fuentes

- *Plasmas a Baja Temperatura.* Part of "XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, April 7 – 9, 2025.

Vicente Timón Salinero

- *Experimentos computacionales a la solución de problemas comunes en física atmosférica y astrofísica.* Part of "XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, April 7 – 9, 2025.

Carlos Álvarez Nicolás

- *Visit to the Laboratory of Molecular Fluid Dynamics.* Part of "XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia", Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, April 7 – 9, 2025.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Juan Francisco Vega Borrego

- *Biofísica macromolecular: experimentos y simulación por ordenador.* XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia: de las partículas elementales a los sistemas de alto peso molecular, Madrid, 7th of April 2025.
- *Presentación del Grupo BIOPHYM en la Asamblea General de la Plataforma SUSPLAST*, Madrid, 2nd of Decmber 2025

Jaime J. Hernández Rueda

- *Nano/micro fabrication of bioinspired (multi)functional surfaces*, Universidad Alfonso X El Sabio, Madrid, 26th of February 2025.
- *Superficies funcionales bioinspiradas*, Instituto de Estructura de la Materia CSIC, Madrid, 7th of April 2025.

Javier Ramos Díaz

- *Introducción práctica a Materials Studio: Simulación Cuántica y Molecular*. Webminar organizado por Addlink Madrid, 27th of March 2025.
- *Explorando el Diseño y la Simulación Molecular con Discovery Studio.* Webminar organizado por Addlink Madrid, 12th of June 2025.

Andrés Cardil Tornos

- *Llorando en la limo: ¿cómo fluye la lágrima humana?* XXI Curso de Iniciación a la Investigación en Estructura de la Materia: de las partículas elementales a los sistemas de alto peso molecular, Madrid, 7th of April 2025.

PREMIOS Y OTROS MÉRITOS
Awards

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Guillermo Antonio Mena Marugán

- Editor of *Frontiers in Astronomy and Space Sciences* as Review Editor in Cosmology.
- Member of the Editorial Board of the journal *Universe*.
- External Member for the Quality Committee of the Doctorate Program in Physics of the Universidad Complutense de Madrid.
- President Elect of the International Society on Loop Quantum Gravity.
- Chair of the Committee for the REDONGRA Collaboration Meeting Program.
- Member of the Scientific and Local Organizing Committees of the *LISA Spain Meeting 2025* at IEM-CSIC, 23rd-24th of October 2025.

- Member of the Scientific Advisory Committee of the International Conference *Loops 2026*. Hangzhou (China).

Jesús Fernando Barbero González

- President of the Sociedad Española de Gravitación y Relatividad (SEGRE).
- Associate Editor for the Journal Geometric Mechanics (World Scientific).

Gianluca Calcagni

- Chair of the LISA Consortium Membership Committee.
- Member of the steering committee of the LISA Consortium Constituent Council.
- Co-coordinator and co-author of the Einstein Telescope "Blue Book": Adrian Abac et al. [ET Collaboration], The Science of the Einstein Telescope, arXiv:2503.12263.
- Member of the Scientific and Local Organizing Committees of the LISA Spain Meeting 2025 at IEM-CSIC, 23rd-24th of October 2025.

Eduardo Garrido Bellido

- Member of the Scientific and Local Organizing Committee of the European Nuclear Physics Conference 2025, Caen (France).

María Luisa Senent Díez

- Member of the Scientific Advisory Committee of the International Conference International Symposium on Molecular Spectroscopy. Urbana-Champaign Illinois (USA).

Francesca Vidotto

- Member of the Scientific Advisory Committee of the International Conference Loops 2026. Hangzhou (China).
- Member of the Scientific Advisory Committee of the Conference Time in Quantum Theory (TiQT) 2026, Stockholm (Sweden).
- Main Organizer of the WOST Kick-Off Meeting 2026, Verona (Italy).
- Main Organizer of the Baulmann Summer School on Loop Quantum Gravity 2025, Les Houches (France).
- Main Organizer of the Lee's Fest 2025 - Conference in honor of Lee Smolin, Perimeter Institute, Waterloo (Canada).
- Organizer of the 2025 Annual Philosophy of Physics Conferences, Western University, London (Canada).

Mauro Pieroni

- Member of the Scientific and Local Organizing Committees of the *LISA Spain Meeting 2025* at IEM-CSIC, 23rd-24th of October 2025.

Jesús Torrado

- Co-coordinator and co-author of a "white paper" of the CosmoVerse EU-COST Action (CA21136): E. Di Valentino, J. L. Said et al. (including J. Torrado, position 31 of 543), The CosmoVerse White Paper: Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics, Physics of the Dark Universe 49, 101965 (2025).
- Member of the advisory committee of the Cosmology Compilation project within the CosmoVerse EU-COST Action (CA21136) -- project ongoing.

- Member of the Scientific and Local Organizing Committees of the LISA Spain Meeting 2025 at IEM-CSIC, 23rd-24th of October 2025.

Marta García Olmos

- Member of the Local Organizing Committee of the Workshop PhD Day Serrano Campus, Madrid (Spain).

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Santiago Sánchez Cortés

- Member of the Scientific Advisory Committee of the Journal of Raman Spectroscopy.
- Member of the Scientific Advisory Committee of the Chemosensor journal**.**
- Member of the Scientific Advisory Committee of the Vibrational Spectroscopy journal**.**

Mª Vega Cañamares Arribas.

- President of the Spectroscopy Committee of the Spanish Optical Society (Spain).

David Palacios Suárez-Bustamante, tutor: Bruno Olaizola Mampaso.

- Premios GEFN-ATI a Tesis Doctorales y Trabajos Fin de Máster 2022-23

Beatriz Errandonea Felix, tutor: Bruno Olaizola Mampaso.

- Accesit TFM experimental por “Study of 54Ti beta decay”.

Álvaro Buendía Gallego, tutor: José A. Sánche Gil.

- Premio CSIC Tesis Relevante 2024.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Víctor José Herrero Ruiz de Loizaga

- Member of the Scientific Advisory Committee of the Europhysics Conferences on Atomic and Molecular Processes in Ionized Gases (ESCAMPIG).

José M. Fernández Sánchez

- Member of the International Advisory Committee of International Symposium on Rarefied Gas Dynamics.
- Member of the International Scientific Committee of the European Conference on Non-Equilibrium Gas Flows.

Belén Maté Naya

- Member of the Editorial Board of the Revista Española de Física de la Real Sociedad Española de Física, since February 2023.

Vicente Timón

- Member of the Editorial Board of Molecules journal from MDPI editorial since January 2022.
- Head of Scientific Culture of Institute from the Structure of Matter since December 2024.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Tiberio Ezquerra Sanz

- Chairman of the Proposal Review Panels ALBA Spanish Synchrotron.
- Member of Scientific Advisory Committee (SAC) of the ALBA Spanish Synchrotron
- Member of Scientific Advisory Committee (SAC) of the European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Grenoble, France.

Mari Cruz García Gutiérrez

- Spanish Delegate of the European Synchrotron Radiation Facility Council (Grenoble, France).
- Member of the Editorial Board of the Polymers journal.

Aurora Nogales

- Member of the Proposal Review Panels C08 of the European Synchrotron Radiation Facility.
- Member of the executive committee of the CSIC Hub on Photocatalysis**.**
- Member of the scientific committee of Ferrol Discussion Meeting on Polymer Physics.

Juan Francisco Vega Borrego

- Chair of the *JiRHEO-2025 conference (Jóvenes Investigadores en Reología). Madrid (Spain) 11th – 12th September 2025.*

Jaime J. Hernández Rueda.

- Member of the proposals review panel of the CRG Beamline BM26-DUBBLE-FLAME at the European Synchrotron Radiation Facility. Grenoble (France)

Virginia Souza-Egipsy Sánchez

- Member of the Organizing Committee (Logistics) of the *JiRHEO-2025 conference (Jóvenes Investigadores en Reología). Madrid (Spain) 11th - 12th September 2025.*

Andrés Cardil Tornos

- Member of the Organizing Committee *III PhD Serrano 2025. Madrid (Spain) 12th June 2025.*
- Member of the Organizing Committee (Logistics) of the *JiRHEO-2025 conference (Jóvenes Investigadores en Reología). Madrid (Spain) 11th- 12th September 2025.*

ACTIVIDADES Y MATERIAL DE DIVULGACIÓN
Outreach Activities and Material

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Guillermo A. Mena Marugán.

- Series of online outreach seminars *Café con*.

  Collaboration with the Real Sociedad Económica Extremeña de Amigos del País in the organization of the following seminars in the series:

  - Ivan Agulló, Penn State University (U.S.A.), *¿Explosiones de agujeros negros?* (https://www.youtube.com/watch?v=PHiioJyFjtI), 26th of March 2025.
  - Carlos Sabín Lestayo, Universidad Autónoma de Madrid, *El ordenador cuántico: guía rápida para principiantes* (https://www.youtube.com/watch?v=f9WfoN2YlkQ), 28th of May 2025.
  - Javier Argüello, Ateneu Barcelonés, *El día que inventamos la realidad* (https://www.youtube.com/watch?v=7s9gSVPa9QI), 15th of October 2025.

  Online seminars, recorded and available at
  https://www.facebook.com/conoce.cafecon/
  https://www.youtube.com/@rseeap/streams

Jesús Fernando Barbero González.

- *¿Qué es la relatividad?* Universidad Popular Carmen de Michelena (Tres Cantos), 8th of May 2025.
- *La fascinate aritmétiva en base 2.* Semana de la Ciencia en el IEM. Madrid, 6th of November 2025.
- *Eclipses.* Semana de la Ciencia en el IEM. Madrid, 6th of November 2025.
- *¿Existen las ondas gravitatorias?* Universidad de Salamanca, 16th of December 2025. Celebration of the tenth aniversary of the first detection of gravitational waves.
- *Ondas y gravedad.* Universidad de Salamanca, 16th of December 2025 Colloquium.
- Twenty talks delivered as part of the activities of the "Observatorio Colina de los Chopos".

María Luisa Senent Díez.

- *EU Clean Air Forum*, Organized by the European Comission, Bonn (Germany), 1st -2nd December 2025.

Francesca Vidotto.

- "Lezioni di Fisica per la maturità 2025" (7 videos), recorded outreach presentations for the main Italian newspaper, Corriere della Sera Podcast Series [https://www.corriere.it/le-lezioni-del-corriere/fisica/], Milano (Italy), Date of production: 12nd of May 2025.
- Panelist in two science events of an Italian festival "L'Eredità delle Donne 2025", Elastica s.r.l. [https://ereditadelledonne.eu/2025/ospiti/francesca-vidotto/], Florence (Italy), Date: 22nd of Novembre 2025.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Carlos Cabrillo García

- Conferencia divulgativa y observación astronómica nocturna una vez al mes, observatorio Colina de los Chopos, Instituto de estructura de la Materia (CSIC), Madrid.
- Conferencia divulgativa y observación astronómica diurna una vez al mes, observatorio Colina de los Chopos, Instituto de estructura de la Materia (CSIC), Madrid.
- Nueve conferencias divulgativas y observación astronómica diurnas a lo largo del año para alumnos de Institutos y colegios.
- Seis conferencias divulgativas y observaciónes astronómicas diurnas durante la Semana de la Ciencia, 4-13 de noviembre, observatorio Colina de los Chopos, Instituto de estructura de la Materia (CSIC), Madrid.
- Cuatro conferencias divulgativas y observaciónes astronómicas nocturnas durante la Semana de la Ciencia, 4-13 de noviembre, observatorio Colina de los Chopos, Instituto de estructura de la Materia (CSIC), Madrid.

Teresa Kurtukian Nieto

- Curso de Radiaciones Ionizantes: aplicaciones y seguridad 2025. Transporte de haz en un acelerador de iones.

David Calonge

- Machine Learning y Física Nuclear. Part of the "Jornadas de Doctorandos UCM 2025", 2 a 4 de diciembre 2025, Madrid (Spain).

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Guzmán Tejeda Gala, Vicente Timón Salinero y Ramón Peláez de Fuentes

- *Volamos y levitamos*. Taller de experimentos caseros dirigidos a estudiantes de 5º y 6º de primaria y 1º de ESO – Semana de la Ciencia y la Innovación.

  CEIP Calvo Sotelo, Colegio El Porvenir, Colegio Manuel de Falla, CEIP Virgen del Cerro, Colegio Natividad, Colegio Enriquet Aymer, Colegio Taller Estudio.

  Ámbito regional de la Comunidad de Madrid.

  November 4 – 19, 2025.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR
MACROMOLECULAR PHYSICS

Tiberio Ezquerra Sanz

- Actor in *"De la investigación y otras soledades". Scientific theater TeatrIEM:*

- 18th of February 2025. Residencia de Estudiantes. Madrid
- 23th of February 2025. Centro Cultural Viñagrande. Alcorcón, Madrid

- Actor in “Una porción de Ciencia”. Scientific theater TeatrIEM:
  - 13th, 14th and 15th of November 2025. Museo nacional de Ciencias Naturales in the framework of Semana de la Ciencia.
- Executive producer and actor in “La Entrevista”. Scientific theater TeatrIEM:
  - 21st and 22nd November 2025. Bienal de Arte y Ciencia, Círculo de Bellas Artes (CBA), Madrid

Mari Cruz García Gutiérrez

- Actress in “De la investigación y otras soledades”. Scientific theater TeatrIEM:
  - 18th of February 2025. Residencia de Estudiantes. Madrid
  - 23th of February 2025. Centro Cultural Viñagrande. Alcorcón, Madrid
- Director and actress in “Una porción de Ciencia”. Scientific theater TeatrIEM:
  - 13th, 14th and 15th of November 2025. Museo nacional de Ciencias Naturales in the framework of Semana de la Ciencia.
- Coordinator of the jury of the V TeatrIEM contest of short theatrical texts with a scientific subject.
- Organizer of the VI TeatrIEM contest of short theatrical texts with a scientific subject.

Aurora Nogales Ruiz

- Colloquium and survey of students in secondary schools within the activity ‘Atrévete a ser científica’:
  - IES Ramiro de Maeztu (Madrid) (5/2/2025)
  - IES Senda Galiana, Torres de la Alameda (Madrid) (11/02/2025)
  - IES Cervantes (Madrid) (12/02/2025)
- Organizing Committee of the Curie Colloquia. Colloquia Organized during 2025:
  - Arquitectos del recuerdo. Mara Driessen. Centro de regulación Genómica de Barcelona (6/02/2025)
  - La energía de Fusión y el proyecto ITER. Alberto Loarte. Jefe de la división de Ciencia del ITER (8/4/2025)
  - Exoplanetas: En busca de otra Tierra. Ignasi Ribas. Director del Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña (IEEC). (20/05/2025)
  - A nano-history of fluorescence. David Jameson. Departamento de biología celular y molecular de la Universidad de Hawaii. (11/06/2025)
  - Materiales avanzados para una química sostenible. Profesor de Investigación. Instituto de Tecnología Química ITQ (CSIC/UPV). (4/12/2025)
- Interview on the podcast Ciencia de la Razón Noosfera 265: “Física de la Materia Condensada, pero de la Blandita”

Jaime J. Hernández Rueda

- Co-organizer XXI Curso de Introducción a la Investigación en Estructura de la Materia, Instituto de Estructura de la Materia, 7-9th April 2025

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
Transfer of Technology

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Conferencias de transferencia tecnológica impartidas u organizadas por el instituto:
Speaker: Juan Francisco Vega and Andrés Cardil.
Title: Molecular characterization by elongation rheological modelling
Colaboration: **Total RC/R&D Polymers**.
Place: Madrid (Spain) and Seneffe (Belgium) - Online.
*Dates:*20th June and 23th of October 2025

Informes de transferencia tecnológica:
Juan Francisco Vega and Andrés Cardil.
Molecular characterization by elongation rheological modelling
Total Energies One Tech Belgium (July and November 2025).

Reuniones de transferencia de tecnología:
Meeting attendees: Jaime J. Hernández Rueda.
Collaboration: Nano4Energy
Place: Online
Date: March 2025.

Meeting attendees: Jaime J. Hernández Rueda.
Collaboration: Cooling Photonics SL
Place: Online
Date: November and December 2025.

UNIDADES ASOCIADAS Y OTRAS ACTIVIDADES
Associated Units and Other Activities

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Unidades Asociadas / *Associated Units*:

Jesús Fernando Barbero González

- Grupo de Teorías de Campos y Física Estadística, Universidad Carlos III de Madrid, Unidad Asociada al IEM-CSIC. *The Members of the IEM participating in this Associated Unit are:* Jesús Fernando Barbero González and José González Carmona.

María Luisa Senent Díez.

- *Associated Unit of Molecular, Atomic and Nuclear Physics* (GIFMAN), IEM-CSIC/University of Huelva.

Otras actividades / *Other activities:*

Gianluca Calcagni

- Direction and coordination of the CFMAC astronomical observatory "Colina de los Chopos" and of the program of popularizing activities for the public (https://observatorio.cfmac.csic.es), during the whole year and also in Semana de la Ciencia 2025. Maintenance of the observatory website, production of astrophotos.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Unidades Asociadas / *Associated Units*:

M. J. G. Borge, O. Tengblad, T. Kurtukian Nieto, Luis Acosta

- IEM - UHU GIFMAN, LÍNEA 3: Física experimental con núcleos radiactivos. Mecanismos de reacción a energías en torno a la barrera de Coulomb. Medida de tasas de reacción de interés astrofísico.

M. J. G. Borge, O. Tengblad, T. Kurtukian Nieto, Luis Acosta, A. Perea

- FNEXP y el Centro de Microanálisis de Materiales CMAM, institucionalizando la larga colaboración existente entre ambos equipos mediante el intercambio de conocimientos y de colaboración en proyectos y actividades en física nuclear

Otras actividades / *Other activities:*

- C. Rappold y T. R. Saito IPs for the Memorandum of Understanding / Protocolo General de Actuación between IEM-CSIC and HENP-RIKEN for research activities on the study of hypermatter from 1 August 2022 to July 31st 2027.

- Non-Proprietary User Agreement: Michigan State University, Operator of Facility for Rare Isotope Beams (hereinafter "Facility") under U.S. Department of Energy Cooperative Agreement No. DE-SC0000661 and Instituto de Estructura de la Materia IEM – CSIC, firmado 21.01.2024 .

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Unidades Asociadas / *Associated Units:*

Isabel Tanarro, José Luis Doménech, BelénMaté, José M. Fernández, Víctor Herrero, Vicente Timón, María Luisa Senent, y Guzmán Tejeda

- *Molecular Physical Chemistry*, comprising IEM-CSIC, IQFR-CSIC, IFF-CSIC and Departamento Química Física I, Universidad Complutense de Madrid.
  Responsible person UCM: Luis Bañares. Responsible person CSIC: Belén Maté.

María Luisa Senent, Jorge Dukelsky Bercovich, María José García Borge, Guzmán Tejeda Gala, Olof Erik Tengblad, José M. Fernández Sánchez.

- *Grupo de Investigación en Física Molecular, Atómica y Nuclear (GIFMAN)*, comprising IEM-CSIC and Universidad de Huelva
  Responsible person UHU: Miguel Carvajal Zaera. Responsible person CSIC: María Luisa Senent Díez.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Unidades Asociadas / *Associated Units:*

Tiberio A. Ezquerra, Mari Cruz García Gutiérrez, Aurora Nogales, Gonzalo Santoro

- *Unidad Asociada Nanoestructura de la Materia (NANOesMAT):* This unit is a common scientific meeting place between different groups of the CSIC (SOFTMATPOL of the Institute of Structure of Matter and LANAMAP of the Institute of Physical Chemistry "Blas Cabrera") and the UNED (Raman and Infrared Spectroscopy and Modeling). The main objective is to share experience and to carry out a coordinated effort around research in soft and polymeric condensed matter.

Otras actividades / *Other activities:*

Mari Cruz García Gutiérrez

- Member of the Art and Science working group in scientific culture and citizen science at CSIC.

CAPÍTULO 6 – PUBLICACIONES Y PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

CHAPTER 6 – PUBLICATIONS AND SCIENTIFIC PRODUCTION

PUBLICACIONES EN REVISTAS Y PROCEEDINGS ISI
ISI Publications

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

1. A. Alonso-Serrano, G.A. Mena Marugán and A. Vicente-Becerril.
Analytic Primordial Power Spectrum in the Dressed Metric Approach to Loop Quantum Cosmology and Thermodynamics of Spacetime.
International Journal of Modern Physics D **34**, 2450062 (2025).

2. J. Alvey, C.R. Contaldi, and M. Pieroni, *Simulation-Based Inference with Deep Ensembles: Evaluating Calibration Uncertainty and Detecting Model Misspecification*, Mach. Learn. Sci. Tech. 7, 015008 (2026).

3. D. Anselmi, F. Briscese, G. Calcagni, and L. Modesto, *Amplitude Prescriptions in Field Theories with Complex Poles*,
Journal of High Energy Physics **05**, 145 (2025).

4. Y. Baba, V. Junk, W. Hogger, F. Domínguez-Adame, R.A. Molina, and K. Richter.
Radiation Induced Dynamical Formation of Floquet-Bloch Bands in Dirac Hamiltonians.
New J. Phys. **27**, 043015 (2025).

5. J.F. Barbero G., B. Díaz, J. Margalef-Bentabol, and E.J.S. Villaseñor.
Hidden Diffeos in the Hamiltonian Formulation of a Background Independent Field Theory.
Geometric Mechanics **02** (2025) 385.

6. A. Belasri, F. Tahiri, O. Douass, N. Inostroza-Pino, M. Belmouden, H. Bahmann, M. Mogren Al-Mogren, M. L. Senent, and S. Dalbouha.
Theoretical Structural Study of Van der Waals Complexes between Oxazole and Atmospheric Gases CO2 and N2 for Capture Applications.
Open Research Europe **5**, 3 (2025).

7. E. ben Chouika, B. Kerkeni, and M.L. Senent.
Theoretical Characterization of Hydroxyacetone (CH3-CO-CH2OH) in the Gas Phase. The Far Infrared Region.
Spectrochim Acta A **335**, 125966 (2025).

8. G. Calcagni and G. Nardelli, *Representations of the Fractional d'Alembertian and Initial Conditions in Fractional Dynamics*

Chaos Solitons Fractals **201**, 117401 (2025).

9. P. Capuzzi, D.R. Alcoba, J. Dukelsky, A. Torre, L. Lain, O.B. Oña, and J.M. Oliva-Enrich.
Energy-Variance Minimization for Ground and Excited States in the Lipkin Model and its Application to Molecular Magnets.
Theor. Chem. Acc. **44**, 144 (2025).

10. S. Dalbouha, V. Gámez, M. Mogren Al Mogren, and M.L. Senent.
Theoretical Characterization of Methyl Ethyl Ketone (CH2-CO-CH2CH3).
J. Chem. Phys. **163**, 134307 (2025).

11. E. Di Valentino, J.L. Said et al. (including J. Torrado, position 31 of 543), *The CosmoVerse White Paper: Addressing Observational Tensions in Cosmology with Systematics and Fundamental Physics,*
Physics of the Dark Universe **49,** 101965 (2025).

12. J. El Gammal, R. Buscicchio, G. Nardini, and J. Torrado, *Accelerating LISA Inference with Gaussian Processes,*
Physical Review D **112**, 063010 (2025).

13. G. Franciolini, M. Pieroni, A. Ricciardone, and J.D. Romano, *Likelihoods for Stochastic Gravitational Wave Background Data Analysis,*
Physical Review D **112**, 103516 (2025).

14. E. Garrido and A.S. Jensen.
Dineutron Clusters in ^{7}He and ^{8}He Structure.
Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics **52**, 105101 (2025).

15. E. Garrido and A.S. Jensen.
Three-Body Structures of Low-Lying Nuclear States of ^{8}Li.
Physical Review C **111**, 024315 (2025).

16. E. Garrido, A. Kievsky, R. del Grande, L. Serksnyte, M. Viviani, and L.E. Marcucci.
Convergence of the ppp Correlation Function within the Hyperspherical Adiabatic Basis.
Physics Letters B **868**, 139731 (2025).

17. D. Giri, J. Schliemann, R.A. Molina, and A. López.
Tunable Plasmon Modes and Topological Transitions in Monolayer and Bilayer Semi-Dirac Materials.
Phys. Rev. B **112**, 165420 (2025).

18. A. S. Gómez, Y. Baba, F. Domínguez-Adame, and R.A. Molina.
Time-Dependent Dichroism and Transient Valley Polarization in Monolayer Transition Metal Dichalcogenides under Finite-Pulse Radiation.
J. Phys : Materials **8**, 035005 (2025).

19. T.L.M. Guedes, G.A. Mena Marugán, M. Müller and F. Vidotto.
Taming Thiemann's Hamiltonian Constraint in Canonical Loop Quantum Gravity: Reversibility, Eigenstates and Graph-Change Analysis.
Physical Review D **112**, 026024 (2025).

20. T.L.M. Guedes, G.A. Mena Marugán, F. Vidotto and M. Müller.
Computing the Graph-Changing Dynamics of Loop Quantum Gravity.
Universe **11**, 387 (2025).

21. M. Kowalczyk and G.A. Mena Marugán.
Primordial Power Spectrum in Loop Quantum Cosmology for Different Regularizations.
Physical Review D **111**, 126013 (2025).

22. A.R. Legón, M. Ahumada, J.P. Ramos-Andrade, R.A. Molina, and P.A. Orellana.
Bound States in the Continuum in a Double Whispering-Gallery Resonator.
Phys. Rev. A **111**, 013529 (2025).

23. J. Louko, G.A. Mena Marugán and A. Torres-Caballeros.
Expansion-Sensitive Coupling of a Local Quantum System in de Sitter Cosmology.
Physical Review D **112**, 125024 (2025).

24. G.A. Mena Marugán and A. Mínguez-Sánchez.
Polar Perturbations in Kantowski-Sachs Spacetimes and Hybrid Quantum Cosmology.
Physical Review D **111**, 086024 (2025).

25. M. G. Olmos, Y. Baba, A. López, M. Amado, and R.A. Molina.
Spin-Dependent Transport through Edge States in 2D Semi-Dirac Materials with Rashba Spin-Orbit Coupling and Band Inversion.
2D Materials **12**, 045019 (2025).

26. M. Sánchez Sánchez, J. González, and T. Stauber.
Nonflat Bands and Chiral Symmetry in Magic-Angle Twisted Bilayer Graphene.
Physical Review B **111**, 205133 (2025).

PUBLICACIONES CONJUNTAS CON EL DPTO. DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *PUBLICATIONS IN COMMON WITH THE NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY DEPARTMENT*

27. A. Algora…, P. Sarriguren et al.
Isospin Symmetry Breaking in the ^{71}Kr and ^{71}Br Mirror System.
Physical Review Letters **134**, 162502 (2025).

PUBLICACIONES CONJUNTAS CON EL DPTO. DE FÍSICA MOLECULAR / *PUBLICATIONS IN COMMON WITH THE MOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT*

28. C. Adjal, N. Guechtouli, V. Timón, R. Boussassi, D. Hammoutène, and M. L. Senent.
DFT Based Modeling of Single and Mixtures Adsorption of Nitro-Organic Pollutants 4-Nitrophenol, 2-Nitrophenol and 9-Nitroanthracene, and NF3 with Water in (ZIF-8): A Density Functional Theory Approach.
Computational and Theoretical Chemistry **1243**, 114995 (2025).

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS

NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY

1. Alamanos, N.; Borge, M.J.G.; Hofmann, S.; Möller, P.; Popeko, A.G..
   Heavy and super-heavy nuclei and elements: production and properties: Editorial preface to the topical collection.
   Eur. Phys. J. A **61**, 2 (2025).

2. Andreyev, A.N.; Barzakh, A.; Seliverstov, M.D.; Yue, Z.; Liu, M.; Yuan, C.; Algora, A.; Andel, B.; Antalic, S.; Al Monthery, M.; Atanasov, D.; Benito, J.; Benzoni, G.; Berry, T.; Bissell, M.L.; Blaum,...
   Electromagnetic moments of 215,217Bi: Probing shell evolution beyond N = 126
   Phys. Lett. B **871**, 012050 (2025).

3. Ayyad, Y.; Bazin, D.; Bonaiti, F.; Chen, J.; Li, X.; Anthony, A.; Avila, M.; Beceiro-Novo, S.; Bhatt, K.; Cabo, C.; Furuno, T.; Guimarães, V.; Hall-Smith, A.; Hunt, C.; Jayatissa, H.; Kawabata, T.; Ku....
   Direct reactions with the AT-TPC
   Front. Phys. **13**, 28 (2025).

4. Bara, S.; Algora, A.; Andel, B.; Andreyev, A.N.; Antalic, S.; Bark, R.A.; Borge, M.J.G.; Camaiani, A.; Cocolios, T.E.; Cubiss, J.G.; De Witte, H.; Fajardo-Zambrano, C.M.; Favier, Z.; Fraile, L.M.; Fyn....
   New upper limits for β-delayed fission probabilities of 230,232Fr and 230,232,234Ac.
   Phys. Rev. C **111**, 520 (2025).

5. A. Barbon, N.S. Martorana, G. D'Agata, L. Acosta, C. Altana, G. Cardella, A. Castoldi, E. De Filippo, S. De Luca, E. Geraci, et. al.,
   Silicon carbide detectors for particle therapy within the SAMOTHRACE ecosystem
   JINST **20** C07058 (2025).

6. A. Barreda, A. García-Martín, J.A. Sánchez-Gil.
   Bound states in the continuum in all-dielectric metasurfaces.
   APL Photonics **10**, 100902 (2025).

7. Barzakh, A.; Andreyev, A.N.; Yue, Z.; Nies, L.; Seliverstov, M.D.; Cubiss, J.G.; Algora, A.; Andel, B.; Antalic, S.; Al Monthery, M.; Atanasov, D.; Benito, J.; Benzoni, G.; Berry, T.; Bissell, M.L.; B...
   Charge radii and electromagnetic moments of 214–218Bi: Exploring the "southern" border of the Z > 82 octupole-deformation region
   Phys. Rev. C **112**, 134 (2025).

8. Benlliure, J.; García-Jiménez, G.; Graña González, A.; Rodriguez-Sanchez, J.L.; Alvarez-Pol, H.; Atar, L.; Audouin, L.; Aumann, T.; Boretzky, K.; Bott, L.T.; Brecelj, T.; Caesar, C.; Casarejos, E.; Ce....
   Fission studies using quasi-free NN scattering reactions in inverse kinematics.
   Nucl. Phys. A **1063**, 16 (2025).

9. Borge, M.J.G.; Tanaka, K.A.; Ur, C.A.; Zilges, A..
Nuclear photonics: overview and perspectives.
Eur. Phys. J. A **61**, 052110 (2025).

10. S. Caterino, I.M. Caniola, M., Pignitter, A. Zoleo, C. Crestini, S. Sanchez-Cortes, K. Sterflinger and F. Cappa.
A Systematic Multianalytical Approach in the Study of Iron-Polyphenolic Complexes in Iron-Gall Inks: Exploring the Potentialities of Raman and Electron Paramagnetic Resonance.
Inorganic Chemistry **64**, 4802 (2025).

11. Ceulemans, A.; Raabe, R.; Nowacki, F.; Alharbi, A.; Ayatollahzadeh, H.; Bennett, S.A.; Browne, F.; Butler, P.A.; Camaiani, A.; Clarke, D.; Dolan, A.J.; Eleme, Z.; Everett, C.T.A.; Flavigny, F.; Fracas....
Direct Evidence for the vd5/2 Orbital in 69Ni: Implications for the N = 40 Island of Inversion.
Phys. Rev. Lett. **135**, 012208 (2025).

12. L. Diaz-Iglesias, S. Sanchez-Cortes, S. Martinez-Ramirez, I. Bermeja Gigorro and A. González-Casanova.
Ink manufacture in ancient Egypt: an essay on experimental epigraphy.
Aula Orientalis **43**, 193 (2025)

13. G. Dognani, F. B. Fuenzalida, CJL Constantino and S. Sanchez-Cortes.
Overcoming Detection Challenges of 2,4-D Herbicides via SERS through a Simple Modification of Citrate-Reduced Silver Nanoparticles.
ACS Omega **10**, 36015 (2025)

14. G. Dognani, S. Sanchez-Cortes and CJL. Constantino.
21st-century innovations in surface-enhanced raman scattering (SERS): A review of patents.
Journal of Nanoparticle Research **27**, 269 (2025)

15. C. Dong, M. R. Chua, R. M. Veetil, T. T. Ha Do, L. Ding, D. K. Sharma, J. Xia,
Dynamic Control of Momentum-Polarization Photoluminescence States with Liquid-Crystal-Tuned Nanocavities,
Advanced Optical Materials **14**, e03022 (2026), first online 31st December 2025.

16. Dyszel, P.; Grzywacz, R.; Xu, Z.Y.; Kitamura, N.; Karny, M.; Korgul, A.; Madurga, M.; Neupane, S.; Algora, A.; Andreyev, A.N.; Araszkiewicz, M.; Bark, R.A.; Benito, J.; Bernier, N.; Borge, M.J.G.; Cab....
First β-Delayed Two-Neutron Spectroscopy of the r-Process Nucleus 134In and Observation of the i13/2 Single-Particle Neutron State in 133Sn.
Phys. Rev. Lett. **135**, 32 (2025).

17. S. D'Agata, N.S. Martorana, A. Barbon, L. Acosta, C. Altana, A. Castoldi, G. Cardella, E. De Filippo, S. De Luca, P. Figuera, et. al.,
Advancements in Silicon Carbide-based detectors for high-performance radiation dosimetry and beam monitoring: from simulations to test phase
JINST **20** C 09015 (2025).

18. A. Elnaggar, H. Mahgoub, L. Maestro-Guijarro, A. Crespo Ibáñez, P. María Carmona-Quiroga, S. Sánchez-Cortés, Z. Rehar, G. Kos, A. Ameen, M. Frelih, M., Strlič, M. Oujja and M. Castillejo.
Multianalytical Study of Amuletic and Talismanic Islamic-African Paper Manuscripts in the Slovene Ethnographic Museum.
ChemPlusChem **90**, e202500433 (2025)

19. Escrig, S.; Rappold, C.
Production Optimization of Exotic Hypernuclei via Heavy-Ion Beams at GSI-FAIR.
Particles **8**, 101 (2025)

20. Gao, Y.; Tanaka, Y.K.; Drozd, V.; Ekawa, H.; Escrig, S.; He, Y.; Kasagi, A.; Liu, E.; Nakagawa, M.; Rappold, C.; Saito, T.R.; Sekiya, R.; Wang, H.; Yanai, A.; Zhou, X..
Feasibility study of measuring interaction cross sections of hypernuclei produced in projectile fragmentation reactions with WASA-FRS setup.
Chin. Phys. C **49**, 012046 (2025).

21. He, Y.; Drozd, V.; Ekawa, H.; Escrig, S.; Gao, Y.; Kasagi, A.; Liu, E.; Muneem, A.; Nakagawa, M.; Nakazawa, K.; Rappold, C.; Saito, N.; Saito, T.R.; Sugimoto, S.; Taki, M.; Tanaka, Y.K.; Wang, H.; Yan....
A novel application of machine learning to detect double-Λ hypernuclear events in nuclear emulsions.
Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **1073**, 176 (2025).

22. He, Y.; Saito, T.R.; Ekawa, H.; Kasagi, A.; Gao, Y.; Liu, E.; Nakazawa, K.; Rappold, C.; Taki, M.; Tanaka, Y.K.; Wang, H.; Yanai, A.; Yoshida, J.; Zhang, H..
Artificial intelligence pioneers the double-strangeness factory.
Nat. Commun. **16**, 176 (2025).

23. B. Hernández, Y. M. Coïc, S. Kruglik, S. Sanchez-Cortes and M. Ghomi.
Conformation Dependence of Phenylalanine Characteristic Raman Markers.
Journal of Raman Spectroscopy **56** 262 (2025)

24. B. Hernández, Y. M. Coïc, S. Kruglik, S. Sanchez-Cortes and M. Ghomi.
Influence of Side Chain–Backbone Interactions and Explicit Hydration on Characteristic Aromatic Raman Fingerprints as Analysed in Tripeptides Gly-Xxx-Gly (Xxx = Phe, Tyr, Trp).
International Journal of Molecular Sciences **26**, 3911 (2025).

25. L. Hidalgo-Arteaga, B. Castillo López de Larrinzar, A. García-Martín, D. R. Abujetas, J. A. Sánchez-Gil.
Cloaked Quasi Bound States in the Continuum in Semiconductor Metasurfaces with Out-of-Plane Symmetry Breaking.
Laser & Photonics Reviews **19**, 2500799 (2025).

26. J. Ji, J. A. Sánchez-Gil, D. Peeters, W. Holman, T. X. Hoang, D. van Mechelen, J. Gómez Rivas.
Probing of the Local Density of Optical States Enhanced by Bound States in the Continuum in Nonlocal Metasurfaces
Nat. Commun. **10**, 11597 (2025).

27. Kasagi, A.; Saito, T.R.; Drozd, V.; Ekawa, H.; Escrig, S.; Gao, Y.; He, Y.; Liu, E.; Muneem, A.; Nakagawa, M.; Nakazawa, K.; Rappold, C.; Saito, N.; Taki, M.; Tanaka, Y.K.; Wang, H.; Yanai, A.; Yoshid...
Binding Energy of 3ΛH and 4ΛH via Image Analyses of Nuclear Emulsions Using Deep-Learning.
Prog. Theor. Exp. Phys. **2025**, 264 (2025).

28. Kirby, G.; Deelen, N.; Iziquel, A.; Van Nugteren, J.; Page-Mason, E.; Martins, D.; Berjillos, R.; Garcia Ramos, C.; Gonzales Cordero, C.A.; Junquera, T.; Kurtukian-Nieto, T.; Resta, J.; Martel, I..
Design and Optimization of a 4 Tesla 200 mm Aperture Helium-Free Nb-Ti Nested CCT Quadrupole/Dipole Superconducting Magnet.
IEEE Trans. Appl. Supercond. **35**, 789 (2025).

29. Kundalia, K.; Gupta, D.; Ali, S.M.; Mitra, R.; Saha, S.K.; Tengblad, O.; Perea, A.; Martel, I.; Cederkall, J.; Moro, A.M.
The ANC of 16O states from 7Be + 12C α-transfer reaction to study 12C(α,γ)16O.
Phys. Lett. B **869**, 10010 (2025)

30. Lemarié, J.; Togano, Y.; Nakamura, T.; Kobayashi, T.; Aumann, T.; Baba, H.; Boretzky, K.; Bracco, A.; Browne, F.; Camera, F.; Chae, H.; Chan, S.; Chiga, N.; Choi, H.; Cortés, L.; Delaunay, F.; Dell'Aq....
Probing the pygmy dipole resonance of 50Ca by Coulomb excitation.
Nucl. Phys. A **1062**, 0308122 (2025).

31. Lic…, R.; Andreyev, A.N.; Naïdja, H.; Blazhev, A.; Van Duppen, P.; Andel, B.; Algora, A.; Antalic, S.; Benito, J.; Benzoni, G.; Berry, T.; Borge, M.J.G.; Costache, C.; Cubiss, J.G.; De Witte, H.; Frai.... 3
Revealing the Nature of yrast States in Neutron-Rich Polonium Isotopes.
Phys. Rev. Lett. **134**, 49 (2025).

32. R. Linares, E. N. Cardozo, V. A. B. Zagatto, F. Cappuzzello, D. Carbone, M. Cavallaro, L. Acosta, C. Agodi, I. Boztosun, D. Calvo, et. al.,
One-nucleon transfer reactions in the 20Ne+76Ge system at Elab = 15.3MeV/u
Physical Review C **112**, 034610 (2025).

33. Llanos-Expósito, M.; Benito, J.; Fraile, L.M.; Illana, A.; Acosta, J.; Algora, A.; Andel, B.; Andreyev, A.N.; Antalic, S.; Araszkiewicz, M.; Bark, R.A.; Bernerd, C.; Bernier, N.; Bhengu, B.; Bittner, ...
Structure of 128Sn selectively populated in the β decay of the 128In ground state.
Phys. Rev. C **111**, S1629 (2025)

34. Luo, D.W.; Zhang, J.Z.; Li, Z.H.; Cheng, Y.Y.; Hua, H.; Watanabe, H.; Lorusso, G.; Yuan, C.X.; Nishimura, S.; Baba, H.; Benzoni, G.; Browne, F.; Chae, K.Y.; Chen, Z.Q.; Crespi, F.C.L.; Doornenbal, P.;....
Seniority Structure in Neutron-Rich Nucleus 128Ag: Evidence for Robustness of N = 82 Shell Closure in Silver Isotopes.
Phys. Rev. Lett. **134**, 13 (2025).

35. M. R. López-Ramírez, L. Olivares-Fernández and S. Sanchez-Cortes.
Insight into Reduction Process of Diquat on Silver and Copper Electrodes Studied Using SERS.

Chemosensors **13**, 39 (2025)

36. L. Maestro-Guijarro, P. Punter, F.J. Menasalvas, A. Crespo, S. Sanchez-Cortes, R. Fort, M. Álvarez de Buergo, P.M. Carmona-Quiroga, M. Castillejo and M. Oujja.
Spectroanalytical approach for analysis of archaeological objects related to personal adornment from Teruel Museum.
Journal of Cultural Heritage **76**, 277 (2025)

37. N.S. Martorana, G. D'Agata, A. Barbon, L. Acosta, C. Altana, G. Cardella, A. Castoldi, E. De Filippo, S. De Luca, P. Figuera, et. al.,
Advancements in the characterization of SiC devices within the SAMOTHRACE ecosystem
JINST **20** C07064 (2025).

38. Mišt, J.; Andel, B.; Andreyev, A.N.; Barzakh, A.E.; Cubiss, J.G.; Algora, A.; Antalic, S.; Athanasakis-Kaklamanakis, M.; Au, M.; Bara, S.; Bark, R.A.; Borge, M.J.G.; Camaiani, A.; Chrysalidis, K.; Coc....
β- and α-decay spectroscopy of 182Au.
Phys. Rev. C **112**, 339 (2025).

39. Morfouace, P.; Taieb, J.; Chatillon, A.; Audouin, L.; Blanchon, G.; Bernard, R.N.; Dubray, N.; Pillet, N.; Regnier, D.; Alvarez-Pol, H.; Amjad, F.; André, P.; Authelet, G.; Atar, L.; Aumann, T.; Benll....
An asymmetric fission island driven by shell effects in light fragments
Nature **641**, 339 (2025).

40. Olaizola, B.; Illana, A.; Benito, J.; Suárez-Bustamante, D.P.; Del Piccolo, G.; Algora, A.; Andel, B.; Andreyev, A.N.; Araszkiewicz, M.; Ayyad, Y.; Bark, R.A.; Berry, T.; Borge, M.J.G.; Chrysalidis, K....
The 76Cu conundrum remains unsolved.
Phys. Lett. B **866**, 10010 (2025).

41. MJS. Oliveira, GCM. Ruiz, RJG. Rubira, S. Sanchez-Cortes, CJL. Constantino and LN. Furini.
Consequences of Surface Composition and Aggregation Conditions of Ag Nanoparticles on Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS) of Pesticides.
Chemosensors **13**, 13 (2025)

42. K. Palli, A. Pakou, A. M. Moro, P. D. O'Malley, L. Acosta, A. M. Sánchez-Benítez, G. Souliotis, E. F. Aguilera, E. Andrade, D. Godos, et. al.,
Breakup of the proton halo nucleus 8B at a sub-Coulomb energy
Physical Review C **111**, 024615 (2025).

43. Park, J.; Lopez, R.A.; Cederkall, J.; Fahlander, C.; Golubev, P.; Knyazev, A.; Rickert, E.; Iwanicki, J.; Wrzosek-Lipska, K.; Blazhev, A.; Reiter, P.; Rosiak, D.; Seidlitz, M.; Warr, N.; Butler, P.A.;....
First Measurement of the Quadrupole Moment of the 2_1^+ State in 110Sn.
Phys. Rev. Lett. **135**, 122502 (2025)

44. Paxman, C.J.; Matta, A.; Catford, W.N.; Lotay, G.; Assié, M.; Clément, E.; Lemasson, A.; Ramos, D.; Orr, N.A.; Galtarossa, F.; Girard-Alcindor, V.; Dudouet, J.; Achouri, N.L.; Ackermann, D.; Barriento....

Probing Exotic Cross-Shell Interactions at N = 28 with Single-Neutron Transfer on 47K.
Phys. Rev. Lett. **134**, 0308122 (2025).

45. Petruse, T.; Guardo, G.L.; Lattuada, D.; Cognata, M.L.; Balabanski, D.L.; Aciksoz, E.; Acosta, L.; Capponi, L.; Carbone, D.; Cherubini, S.; Choudhury, D.; D'Agata, G.; Pietro, A.D.; Figuera, P.; Gulin...
Direct measurement of the 19F(p,α)16O reaction using the LHASA detector array.
Eur. Phys. J. A **61**, 012208 (2025).

46. Pigliapoco, S.; Cortés, M.L.; Recchia, F.; Lenzi, S.M.; Bentley, M.A.; Doornenbal, P.; Jungclaus, A.; Wimmer, K.; Zago, L.; Rudolph, D.; Browne, F.; Koiwai, T.; Sakurai, H.; Arici, T.; Fernández, A.; ....
Isospin symmetry investigation of the proton-unbound nucleus T = 3/2 55Cu.
Nucl. Phys. A **1056**, 024323 (2025).

47. Ponnath, L.; Aumann, T.; Bertulani, C.A.; Gernhäuser, R.; Almusidi, T.; Alvarez-Pol, H.; Atar, L.; Atkins, L.; Ayyad, Y.; Benlliure, J.; Boretzky, K.; Borge, M.J.G.; Bott, L.T.; Bruni, G.; Brückner, B....
Precise measurement of nuclear interaction cross sections towards neutron-skin determination with R3B.
Nucl. Phys. A **1056**, 054609 (2025).

48. F. Puliga, V. Zuffi, A. Zambonelli, P. Miškovský, O. Francioso and S. Sanchez-Cortes.
Analysis of Ergothioneine Using Surface-Enhanced Raman Scattering: Detection in Mushrooms.
Chemosensors **13**, 213 (2025)

49. Syeda, N.K.; Spagnoletti, P.; Andreoiu, C.; Petrache, C.M.; Annen, D.; Lubna, R.S.; Vedia, V.; Algora, A.; Babu, A.; Ball, G.C.; Bhattacharjee, S.; Caballero-Folch, R.; Coleman, R.; Dillmann, I.; Fuak....
Investigation of the excited states of 114Sn using the GRIFFIN spectrometer at TRIUMF.
Nucl. Phys. A **1059**, 523 (2025).

50. D Walter, R Kanungo, M Holl, S Roy-Garand, BS Hu, JD Holt, M Alcorta, C Andreoiu, S Bhattacharjee, AA Chen, A Chester, D Connolly, B Davids, N Esker, F Garcia, S Gillespie, G Hackman, S Ishimoto, R Krücken, P Jassal, J Laroche, J Liang, B Olaizola, A Psaltis, J Smallcombe, IJ Thompson, C Waterfield.
Signature of 0+ excited state and shape coexistence in 94Kr through 93Kr(d,p)94Kr reaction.
Phys. Lett. B **862**, 139352 (2025).

51. X.-D. Xu, I. Mukha, J. G. Li, S. M. Wang, L. Acosta, M. Bajzek, E. Casarejos, D. Cortina-Gil, J. M. Espino, A. Fomichev, et. al.,
Isospin Symmetry Breaking Disclosed in the Decay of Three-Proton Emitter 20Al.
Physical Review Letters **135**, 022502 (2025).

52. X.-K. Zhu, Y.-C. Wei, J.L. Pura, M. Berghuis, M. Liang, B. Castillo López de Larrinzar, S. Murai, A. García-Martín, J. A. Sánchez-Gil, S. He, J. Gómez Rivas.
Robust Circularly Polarized Luminescence via Quasi-Bound States in the Continuum in Intrinsic Chiral Silicon Metasurfaces.
ACS Photonics **12**, 6428 (2025).

53. V. Zuffi, F. Puliga, D. Mercatante, M.T. Rodriguez-Estrada, S Sanchez-Cortes, A. Zambonelli and O. Francioso.
Conversion of grape pomace into fungal biomass: a study of Pleurotus cultivation for a sustainable agro-residue management.
Chemical and Biological Technologies in Agriculture **12**, 1 (2025)

PUBLICACIONES CONJUNTAS CON EL DPTO. DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *PUBLICATIONS IN COMMON WITH THE THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY DEPARTMENT*

54. Algora, A.; Vitéz-Sveiczer, A.; Poves, A.; Kiss, G.G.; Rubio, B.; De Angelis, G.; Recchia, F.; Nishimura, S.; Rodriguez, T.; Sarriguren, P.; Agramunt, J.; Guadilla, V.; Montaner-Pizá, A.; Morales, A.I....
Isospin Symmetry Breaking in the ^{71}Kr and ^{71}Br Mirror System.
Phys. Rev. Lett. **134**, 024323 (2025).

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

1. Belén Maté, Ramón J. Peláez, Germán Molpeceres, Richárd Rácz, Duncan V. Mifsud, Juan Ortigoso, Victor M. Rivilla, Gergo Lakatos, Béla Sulik, Péter Herczku, Sergio Ioppolo, Sándor Biri and Zoltán Juhász.
Hydroxylamine in astrophysical ices: Infrared spectra and cosmic-ray-induced radiolytic chemistry.
A&A **695**, A102 (2025)

2. Belén Maté, Ramón J. Peláez, Juan Ortigoso, Noa Pinto, Jennifer A. Noble, Isabel Tanarro and Victor J. Herrero.
Infrared optical constants and band strengths of interstellar ice analogues: H_2O:CO_2 and H_2O:CO_2:CO mixtures at 10 K.
A&A **704**, A56 (2025)

3. Andrés Megías, David Ciudad, Izaskun Jiménez-Serra, Will R. M. Rocha, François Dulieu, Julie Vitorino, Belén Maté, Marcos Martínez-Jiménez and Jacobo Aguirre.
A fast machine learning tool to predict the composition of interstellar ices from infrared absorption spectra.
A&A **702**, A87 (2025)

4. V. Sáez-Rábanos, G. Sáez-Cano, J. E. Verdasco, F. J. Aoiz and V. J. Herrero.
The F + HD (v = 0, 1; j = 1) reaction: angular momentum correlations in the low (<1 meV) collision energy regime.
Phys. Chem. Chem. Phys. **27**, 376 (2025)

5. I. Tanarro, R. J. Peláez, and V. J. Herrero.
Drastic effects of N_2 addition in the chemical composition of C_2H_2/Ar glow discharges.
Plasma Phys. Control Fusion, **67**, 035014 (2025)

PUBLICACIONES CONJUNTAS CON EL DPTO. DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *PUBLICATIONS IN COMMON WITH THE THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY DEPARTMENT*

6. Celia Adjal, Nabila Guechtouli, Vicente Timón, Rahma Boussassi, Dalila Hammoutène, María Luisa Senent
DFT-based, Monte Carlo and Grand Canonical Monte Carlo simulations of nitro-organic pollutants 4-nitrophenol, 2-nitrophenol, 9-nitroanthracene and nitrogen trifluoride interacting with water in zeolite imidazole framework (ZIF-8)
Computational and Theoretical Chemistry **1243**, (2025) 114995.

PUBLICACIONES CONJUNTAS CON EL DPTO. DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *PUBLICATIONS IN COMMON WITH THE MACROMOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT*

7. J. Möller, M. Caresana, A. Schottelius, F. Lehmkühler, U. Boesenberg, F. Caupin, F. Dallari, T. A. Ezquerra, J. M. Fernández, L. Gelisio, C. Goy, J. Hallmann, A. Kalinin, C. Kim, R. P. Kurta, D. Lapkin, F. Mambretti, M. Scholz, R. Shayduk, R. Steinbrugge, F. Trinter, I. A. Vartaniants, A. Zozulya, D. E. Galli, G. Grübel, A. Madsen, R. E. Grisenti.
Femtosecond X-ray cross-correlation analysis of disordered crystals forming in a supercooled atomic liquid.
IUCrJ **12**, 462 (2025)

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

1. M.T. Alameda, M.R. Osorio, J.J. Hernández, I. Rodríguez
Hierarchical micro-nano topographies to control Bacteria and mesenchymal stem cells biological responses
Scientific Reports **15**, 25405 (2025)

2. S. Arnoutsa, D. Choukroun, I. Napal, G. Tajuelo Castilla, J. Prieto, N. Claes, N. Daems, S. Nappini, E. Magnano, G. Santoro, S. Bals, J.A. Martín-Gago, T. Breugelmans
Effective Utilization of Nanoporosity and Surface Area Guides Electrosynthesis over Soft-Landed Copper Oxide Catalyst Layers
Nano Letters **25**, 2670 (2025)

3. V.L. Cruz, J. Duro Sánchez, E. Franco Mateos, L. García Estévez, J. Pérez García, M. Gion, L. Garrigós, P. Cortez, C. Saavedra, P. Gómez, C. Ortiz, A. Aguinagalde, J. Ramos, J. Cortés, J. F. Vega.
In silico decrypting of the bystander effect in antibody–drug conjugates for breast cancer therapy.
Scientific Reports **15**, 28715 (2025)

4. S. Dávila, A. Martín-Asensio, E. Sanz-de-Diego, J.J. Hernández, I. Rodríguez
Investigation of nanoparticle extravasation pathways in tumor vessel-on-a-chip devices
Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine **29**, 102863 (2025)

5. T.A. Ezquerra, O. Gálvez, M.C. García-Gutiérrez, M. Malfois, A. Nogales, E. Rebollar, I. Šics

Development of polar phases in poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene)/Expanded Graphite composites during 3-D printing as revealed by "operando" small and wide angle X-ray scattering
Polymer 339, 129198 (2025)

6. A. Flores, J.F. Vega, A.J. Müller.
Polymers and advanced characterization techniques for new societal demands at POLY-CHAR 2024.
Polymer **329**, 128551 (2025)

7. M.C. González-García, D. Ballesteros, J.J. Hernández, M. Pazos, I. Rodríguez, J. Requejo-Isidro, C. Flors
Exploring bacteria-surface interactions with a fluorescent membrane tension probe
PNAS **122** (42) e2512977122 (2025)

8. J.J. Hernández, M.C. García-Gutiérrez, A. Nogales, O. Gálvez, M. Sanz, T.A. Ezquerra, M. Castillejo, E. Rebollar
Hierarchical micro-nanostructuring of polymer films by simultaneous laser interference and diffraction
Optics & Laser Technology **192A**, 113433 (2025)

9. J. Martin-Martin, M. Abad, X. Lopez de Pariza, T.A. Ezquerra, A. Nogales, H. Sardon, V. Sebastián, L. Oriol, M. Piñol
Degradable Ureido-Polycarbonate Block Copolymers with a Complex UCST Thermoresponse
Macromol. Rapid Commun. **46**, 2500029 (2025)

10. P. Martínez-García, O. Gálvez, M. Sanz, L. Martínez, Y. Huttel, A. Nogales, T.A. Ezquerra, E. Rebollar
Nanostructuring Aromatic Polyimide Surfaces by Laser
Polymer **340**, 129220 (2025)

11. M. Pieruccini, M. Fernández, G. Vozzolo, M. Ximenis, R. Aguirresarobe, J.F. Vega.
Dynamic heterogeneity and cooperativity in polyurethane-based vitrimers.
Polymer **324**, 128192 (2025)

12. V. Pirela, L. Unanue, J. Elgoyhen, J. Ramos, J.F. Vega, A. Mugica, M. Zubitur, C. Minh Quoc Le, A. Chemtob, R. Tomovsk, G. Reiter, J. Martín, A.J. Müller.
Effect of chemical structure on the crystallization kinetics of triple polymorphic high-sulfur-content polythioethers.
European Polymer Journal **225**, 113721 (2025)

13. L. Sangroniz, J. Ramos, J.F. Vega, X.-L. Li, T.-Q. Xu, E. Y.-X. Chan, A.J. Müller, D. Cavallo.
Effect of Side-Chain gem-dialkyl Substitution on the Crystallization of poly (δ-valerolactone): Competition between Steric Effects and Chain Flexibility.
ACS Sustainable Chemistry & Engineering **13**, 13386 – 13398 (2025)

14. S. Sankar Nemala, B. Bernardino, R.M.R. Pinto, V. Lopes, P. Alpuim, I. Çaha, E. Sotgiu, M.A. Gómez-Fatou, J.F. Vega, H.J. Salavagione, A. Capasso.
Electrically Conductive Nanocarbon/Elastomer Composite Inks for Flexible and Wearable Strain Sensing.

Small **21**(50), e06844 (2025)

15. J.F. Vega, H. Salavagione, F. Nadin Ambrosio, H. Seyler, A. Cardil, M.A. Gómez-Fatou, A. Flores.
Assessing the mechanical behaviour of reusable polyurethane networks with graphene as internal nano-heater.
Polymer **323**, 128174 (2025)

16. G. Santoro, O. Toledano, I. Horcajo, E. Rebollar, T.A. Ezquerra, J. Sena-Fernández, E. Solano, M.C. García-Gutiérrez
On the nature of fluorescence modification induced by deformation in regenerated silk fibroin
ACS Applied Bio Materials **8**, 9268 (2025)

17. J. Sena-Fernández, E. Rebollar, A. Hurtado-Mendoza, T.J. Murdochd, J.F. Vega, I. Martín-Fabiani, T.A. Ezquerra, A. Nogales.
Tuning photophysical properties of semiconducting polymer nanoparticles for improved photocatalytic activity
Nanoscale **17**,14904-14912 (2025)

18. O. Toledano, O. Gálvez, E. Rebollar, A. Nogales, T.A. Ezquerra
Theoretical approach to the crystal structure of Poly (Butylene 2,5-furandicarboxylate) as revealed by Density Functional Theory
Journal of Chemical Physics **162**, 124902 (2025)

19. A. Vera, I. Calaresu, I. Martínez, R. Guerrero, D. Scaini, G. Schoebel, J.J. Hernández, I. Rodríguez, R. Miranda, D.E. Martín, J. Camarero, M.T. González, L. Pérez, L. Ballerini
In-vitro real-time magnetic recording of neuronal activity on spinal cord slices
Sensing and Bio-Sensing Research **50**, 100885 (2025)

PUBLICACIONES CONJUNTAS CON EL DPTO. DE FÍSICA MOLECULAR / *PUBLICATIONS IN COMMON WITH THE MOLECULAR PHYSICS DEPARTMENT*

20. J. Moller, M. Caresana, A. Schottelius, F. Lehmkuhler, U. Boesenberg, F. Caupin, F. Dallari, T.A. Ezquerra, J.M. Fernandez, L. Gelisio, C. Goy, G. Hallmann, A. Kalinin, K. Kim, R.P. Kurta, D. Lapkin, F. Mambretti, M. Scholz, R. Shayduk, R. Steinbrugge, F. Trinter, I. Vartanyants, A. Zozulya, D.E. Galli, G. Grubel, A. Madsen, R.E. Grisenti
Femtosecond X-ray cross-correlation analysis of disordered crystals forming in a supercooled atomic liquid
IUCrJ 12, 462-471 (2025)

LIBROS, MONOGRAFÍAS Y OTRAS PUBLICACIONES DE PROCEEDINGS / *BOOKS, PROCEEDINGS AND OTHER PUBLICATIONS*

BASES DE DATOS Y CÓDIGOS INFORMÁTICOS DE ACCESO ABIERTO/ *OPEN ACCESS DATA BASES AND COMPUTER CODES*

DPTO. DE ESPECTROSCOPÍA 3NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

1. C. Rappold, E. Escrig, H. Ekawa, Y. Gao for WASA-FRS collaboration, analysis code https://doi.org/10.5281/zenodo.14849762 (2024)

2. C. Rappold, E. Escrig, H. Ekawa, Y. Gao, for the WASA-FRS collaboration, simulation code, https://doi.org/10.5281/zenodo.14849959 (2024)

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

1. Javier Ramos. Repositorio de software github usado en el grupo BIOPHYM. https://github.com/jrdcasa

TESIS DOCTORALES / *Ph.D. Theses*

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Title: **Transmisión y almacenamiento de información cuántica en guías de onda fotónicas**
University: Universidad Técnica Federico Santa María (Chile)
Date: 19 August 2025.
Mark: 97/100
Candidate: **Alexis Legón Oropeza.**
Supervisor: **Pedro Orellana and Rafael A. Molina.**

Title: **Classical and Quantum Formulations of S1XS2 and S3 Gowdy Models Coupled With Matter.**
University: Department of Physics and Astronomy, Western University, Canada.
Date: 29 May 2025.
Mark: N/A.
Candidate: **Mateo Nicolas Pascual Gomez-Cuetara.**
Supervisor: Francesca Vidotto and Chris Smeenk.

Title: **Black Holes Inside and Out: A Philosophical Treatise on Black Hole Physics.**

University: Department of Philosophy, Western University, Canada.
Date: 14 August 2025.
Mark: N/A.
Candidate: **Yichen Luo.**
Supervisor: Francesca Vidotto and Chris Smeenk.

DEPARTAMENTO DE ESPECTROSCOPÍA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Title: **Study, Design and Characterization of Nanostructures Materials Using Optical Techniques for Environmental and Biological Applications.**
University: University Abdelmalek Essaadi of Tétouen (Morocco).
Date: 4th January 2025.
Mark: Sobresaliente cum laude
Candidate: **Oumaima Douass.**
Supervisor: **Bousselham Samoudi and Santiago Sanchez-Cortes**

Title: **Myco-Conversion of Agricultural Waste into New Bioproducts to Improve the Biodiversity of Agricultural Ecosystems**
University: University of Bologna (Italy).
Date: 16th June 2025.
Mark: Sobresaliente cun laude
Candidate: **Veronica Zuffi.**
Supervisor: **Ornella Francioso and Santiago Sanchez-Cortes**

DPTO. DEFÍSCA MOLECULAR / *MOLECULAR PHYSICS*

Title: **Estudio de la Relajación Colisional del Dióxido de Carbono a Alta Temperatura mediante Espectroscopía Raman**
University: Universidad Complutense de Madrid (UCM)
Date: 15th May 2025.
Mark: Sobresaliente cum laude.
Candidate: **Carlos Álvarez Nicolás.**
Supervisor: **José María Fernández Sánchez y Guzmán Tejeda Gala.**
.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Title: **Simulación en el laboratorio de la fotoquímica en estado sólido en el medio interestelar.**
University: Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Autónoma de Madrid.
Date: 10 April 2025.

Mark: Sobresaliente “cum laude”.
Candidate: **Guillermo Tejuelo-Castilla.**
Supervisor: **Gonzalo Santoro and José Ángel Martín Gago.**

Title: **Micro and nanoparticles of functional polymers: from fundamentals to applications**
University: Facultad de Química, Universidad Complutense de Madrid.
Date: 27 October 2025.
Mark: Sobresaliente “cum laude”.
Candidate: **José Sena Fernández**
Supervisor: **Aurora Nogales and Tiberio A Ezquerra**

TRABAJOS DE MÁSTER, GRADO Y OTRAS TITULACIONES
Master, Grade and other Degrees Theses

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y FÍSICA TEÓRICAS / *THEORETICAL PHYSICS AND CHEMISTRY*

Title: **Espectro Primordial de Potencias para Perturbaciones Cosmológicas en Cosmología Cuántica de Lazos Híbrida.**
Type: **Master thesis**
University: Complutense de Madrid.
Date: 17 June 2025.
Mark: 9.41/10.
Candidate: **Almudena Guillén Sánchez.**
Supervisor: **Guillermo Antonio Mena Marugán.**

Title: **Impacts of the Starobinsky Potential on the Primordial Power Spectrum in Loop Quantum Cosmology Scenarios.**
Type: **Master thesis (Master1)**
University: Observatoire de Paris, PSL (France).
Date: 26 June 2025.
Candidate: **Marceau Henry.**
Supervisor: **Guillermo Antonio Mena Marugán.**

Title: **Gravitational Waves and Cosmology: Production and Propagation in the pre-Big Bang Model.**
Type: **Master thesis**
University: Universidad de la Laguna, Tenerife (Spain).
Date: 22 July 2025.
Mark: 9.8/10.
Candidate: **Xoán Vilas Currás.**
Supervisor: **Gianluca Calcagni.**

Title: **A First Exploration of the Cosmology of Fractional Quantum Gravity.**
Type: **Master thesis**
University: Universidad de Barcelona (Spain).

Date: 30 June 2025.
Mark: 9.6/10.
Candidate: **Iván Salvador García.**
Supervisor: **Gianluca Calcagni.**

Title: **Estados ligados en el continuo en sistemas hermíticos y no hermíticos.**
Type: **Master thesis.**
University: Universidad Técnica Federico Santa María (Chile).
Date: 28 March 2025.
Mark: 100/100.
Candidate: **Sofía Pinto Muñoz.**
Supervisor: **Pedro Orellana y Rafael A. Molina.**

Title: **Signatures of Chaos in Quantum Circuits.**
Type: **Master thesis.**
University: Universidad de Granada.
Date: 11 July 2025.
Mark: Sobresaliente.
Candidate: **Noelia Sánchez Gómez.**
Supervisor: **Jara Juana Bermejo Vega and Rafael A. Molina.**

Title: **Constraints from Loop Quantum Gravity and the Memory Burden Effect in Primordial Black Hole Cosmologies.**
Type: **Master thesis**
University: Département de Physique, Université Libre de Bruxelles (Belgium).
Date: 2 September 2025.
Mark: 78/100.
Candidate: **Antoine Dierckx de Casterlé.**
Supervisor: **Francesca Vidotto** and Sebastien Clesse.

DPTO. DE ESPECTROSCOPIA NUCLEAR, VIBRACIONAL Y DE MEDIOS DESORDENADOS / *NUCLEAR, VIBRATIONAL AND DISORDERED MEDIA SPECTROSCOPY*

Title: **Modelo de deep learning para el punto de interacción de colisiones nucleares en el experimento WASA-FRS de GSI-FAIR**
Type: **Master thesis**
University: Universidad Complutense de Madrid
Date: 17 September 2025
Mark: Sobresaliente.
Candidate: **Óscar Marcos Pérez Cytron**
Supervisor: **Christophe Rappold** (IEM) y Luis Mario Fraile Prieto (UCM)

Title: **Estudio experimental de núcleos exóticos con GRIFFIN**
Type: **Master thesis**
University: Universidad Complutense de Madrid
Date: 17 September 2025
Mark: Sobresaliente.
Supervisor: **Bruno Olaizola Mampaso**

Title: **Design and simulation of a threshold cherenkov detector for pion–kaon separation in the wasa–frs experiment**
Type: **Master thesis**
University: Universidad Autonoma de Madrid
Date: 19 September 2025
Mark: Sobresaliente.
Candidate: **Pablo Rivas Muro**
Supervisors: **Christophe Rappold** y Luis Miguel Robledo Martín (UAM)

DEPARTAMENTO DE FÍSICA MACROMOLECULAR / *MACROMOLECULAR PHYSICS*

Title: **Anticuerpos conjugados contra el cáncer de mama: evaluación térmica y propiedades hidrodinámicas**
Type: **Grade thesis**
University: Universidad Rey Juan Carlos
Date: 1st July 2025
Mark: Sobresaliente.
Candidate: **Eva Torres Pérez**
Supervisor: **Juan Francisco Vega Borrego**

Title: **Biopolímeros del futuro: explorando el potencial de los polisacáridos bacterianos**
Type: **Master thesis**
University: Universidad Internacional Menéndez Pelayo
Date: 18th June 2025.
Mark: Sobresaliente.
Candidate: **Jorge Zaera Martínez**
Supervisors: **Araceli Flores Aguilar-Amat y Juan Francisco Vega Borrego**

Title: **Modelización atomística de polisacáridos de origen bacteriano**
Type: **Master thesis**
University: Universidad Internacional Menéndez Pelayo
Date: 18th June 2025.
Mark: Sobresaliente.
Candidate: **Olga Martín Vallez**
Supervisor: **Javier Ramos Díaz**

Title: **Synthesis and characterization of SiOx nanoparticles as cosmic dust analogues of nanograins in evolved stars.**
Type: **Master thesis**
University: Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Autónoma de Madrid.
Date: 15 May 2025.
Mark: Sobresaliente.
Candidate: **Eliana López Martín.**
Supervisor: **Gonzalo Santoro and José Ángel Martín Gago.**

CAPÍTULO 7 – TABLAS Y DATOS

CHAPTER 7 – TABLES AND DATA

INDICADORES DE PUBLICACIONES Y FORMACIÓN / *PUBLICATIONS AND TRAINING INDICATORS*

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Number of ISI publications	146	156	156	134	88	96	109	106
Number of non-ISI publications	2	3	3	0	8	10	0	0
Total stock of PhD fellowships and contracts	17	19	19	19	15	22	30	18
Number of PhD Theses defended	4	3	3	4	2	6	4	8

RESUMEN DE PUBLICACIONES EN REVISTAS JCR-ISI / *SUMMARY OF PUBLICATIONS IN JCR-ISI-JOURNALS*

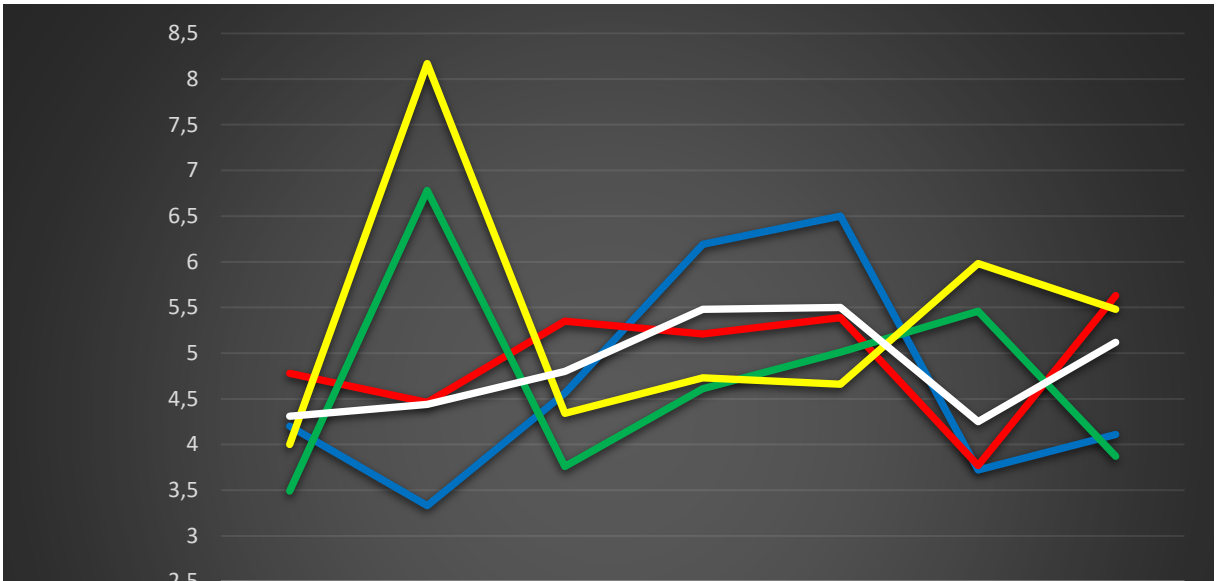
JOURNAL	IMPACT FACTOR (JCR -2024)	NUMBER OF PAPERS
Nature	48,5	**1**
Nature Communications	15,7	**2**
Small	12,1	**1**
Laser & Photonic Reviews	9,8	**1**
Nano Letters	9,1	**1**
Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)	9,1	**1**
Physical Review Letters	9,0	**8**
Progress of Theoretical and Experimental Nuclear Physics	8,3	**1**
ACS Sustainable Chemistry and Engineering	7,3	**1**
Advanced Optical Materials	7,2	**1**
ACS Photonics	6,7	**1**
Physics of the Dark Universe	6,4	**1**
European Polymer Journal	6,3	**1**
Astronomy and Astrophysics	6,1	**3**
Chaos Solitons and Fractals	5,6	**1**
Journal of High Energy Physics	5,5	**1**
APL photonics	5,3	**1**
Physical Review D	5,3	**6**
Chemical and Biological Technologies in Agriculture	5,2	**1**
Nanoscale	5,1	**1**
Optics and Laser Technology	5,0	**1**
International Journal of Molecular Sciences	4,9	**1**
Sensing and Bio-Sensing Research	4,9	**1**
ACS Applied Biomaterials	4,7	**1**
Inorganic Chemistry	4,7	**1**
Nanomedicine - Nanotechnology, Biology and Medicine	4,6	**1**
Machine Learning Science and Technology	4,6	**1**
Spectrochimica Acta A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy	4,6	**1**
2D Materials	4,3	**1**
Physics Letters B	4,5	**5**
Polymer	4,5	**5**
Macromolecular Rapid Communications	4,3	**1**
ACS Omega	4,3	**1**
Journal of Physics - Materials	4,3	**1**
Scientific Reports	3,9	**2**
Physical Review B	3,7	**2**

Chemosensors	3,7	**3**
IUCrJ	3,6	**1**
Journal of Physics G – Nuclear and Particle Physics	3,5	**1**
Physical Review C	3,4	**7**
Journal of Cultural Heritage	3,3	**1**
Journal of Chemical Physics	3,1	**2**
Chinese Physics C	3,1	**1**
Physical Chemistry Chemical Physics	2,9	**1**
Physical Review A	2,9	**1**
New Journal of Physics	2,8	**1**
European Physical Journal A	2,8	**3**
ChemPlusChem	2,8	**1**
Computational and Theoretical Chemistry	2,8	**1**
Universe	2,6	**1**
Journal of Nanoparticle Research	2,6	**1**
Nuclear Physics A	2,5	**5**
Particles	2,3	**1**
Plasma Physics and Controlled Fusion	2,3	**1**
International Journal of Modern Physics D	2,1	**1**
Frontiers in Physics	2,1	**1**
Journal of Raman Spectroscopy	1,9	**1**
IEEE Transactions on Applied Superconductivity	1,8	**1**
Theoretical Chemistry Accounts	1,5	**1**
Open Research Europe	1,5	**1**
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A	1,4	**1**
Journal of Instrumentation	1,3	**3**
Geometric Mechanics	1,0	**1**
Aula Orientalis	0,1	**1**
TOTAL	**Average Impact Factor: 5.12**	**106**

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE IMPACTO (REVISTAS JCR-ISI) POR DEPARTAMENTOS / *EVOLUTION OF THE IMPACT FACTOR (JCR-ISI-JOURNALS) BY DEPARTMENTS*

Department Key:

Theoretical Physics and Chemistry **(QFT)**
Molecular Physics **(FM)**
Macromolecular Physics **(FMM)**
Nuclear, Vibrational and Disordered Media Spectroscopy **(ENVYMED)**



	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
QFT	4,2	3,33	4,56	6,19	6,5	3,72	4,11
ENVYMED	4,78	4,46	5,35	5,21	5,39	3,77	5,63
FM	3,49	6,78	3,76	4,61	5,01	5,46	3,87
FMM	4	8,17	4,34	4,73	4,66	5,98	5,48
IEM	4,31	4,44	4,8	5,48	5,5	4,25	5,12

PERSONAL POR DEPARTAMENTOS
PERSONNEL BY DEPARTMENTS

Department	Scientific Staff		"Ramón & Cajal" and PostDoc		Adjoint Researchers		Rest of the Scientific Personnel [1]		Support Staff		Total		
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	TOTAL
QFT	7	2	2			1	6	3			15	6	**21**
ENVYMED	8	4	4	1			10	3	3		25	8	**33**
FM	8	2				1			2		10	3	**13**
FMM	5	3					4	1	1	1	10	5	**15**
ADMON.									1	8	1	8	**9**
IEM	**28**	**11**	**6**	**1**		**2**	**20**	**7**	**7**	**9**	**61**	**30**	**91**

[1]"*Authorized Stay*" excluded

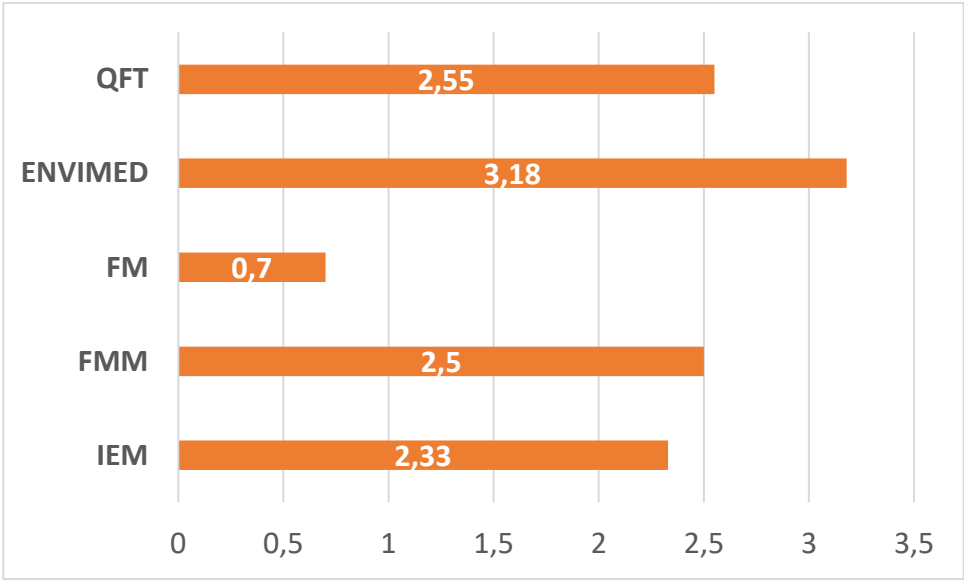
(M: Male, F: Female.See also the "Department Key" in section 7.3)

Personal del IEM sin incluir Doctores Vinculados / 89
***Personnel of the IEM excluding the Adjoint Researchers*: 89**

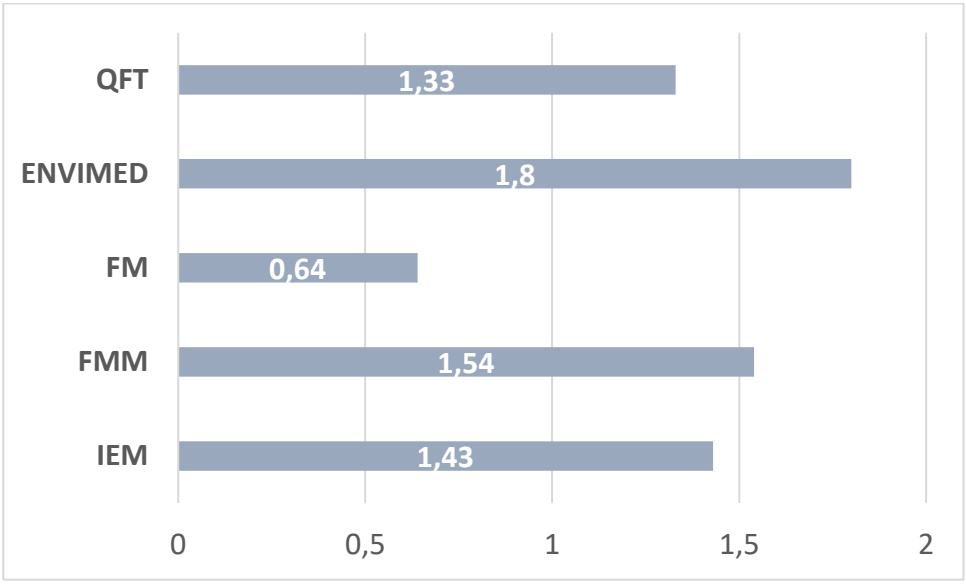
NÚMERO DE PUBLICACIONES POR DEPARTAMENTOS
NUMBER OF PAPERS BY DEPARTMENTS

	QFT	ENVYMED	FM	FMM
ISI publications	**26**	**53**	**5**	**19**
ISI publications shared between two deparments	**1 with FM** **1 with ENVIMED**	**1 with QFT**	**1 with QFT** **1 with FMM**	**1 with FM**

RATIO DE PUBLICACIONES JCR-ISI POR DEPARTAMENTOS
RATIO OF JCR-ISI PUBLICATIONS BY DEPARTMENTS



Ratio por investigador SENIOR (personal de plantilla más contratados "R&C" y "PostDoc")
Ratio by senior researcher (staff plus "R&C" and "PostDoc")



Ratio por personal científico (sin incluir personal de apoyo)
Ratio by scientific staff *(excluding support staff)*

- **Ratio de publicaciones ISI del IEM por personal investigador senior (plantilla): 2,33**
  Ratio of ISI publications of IEM per senior staff researcher