

Memoria para la creación del

***Centro de Investigación Avanzada en Física
Fundamental de la Universidad Autónoma de
Madrid***

CIAFF-UAM

Fecha 10/02/2017

Los profesores del Departamento de Física Teórica listados en el Anexo II de este documento, proponen la creación de CIAFF-UAM, según se desarrolla en esta propuesta, y rigiéndose con el reglamento recogido en el Anexo I.

Índice

1. Presentación	3
2. La Física en el Departamento de Física Teórica: áreas CIAFF-UAM	4
2.1.1 Astrofísica y Cosmología	5
2.1.2 Física Experimental de Partículas	6
2.1.3 Física Nuclear Teórica	8
2.1.4 Fundamentos de la Mecánica Cuántica	9
2.1.5 Historia de la Ciencia	9
3. Convergencias y sinergias presentes y futuras	11
4. Objetivos de CIAFF-UAM	12
Anexo I: Propuesta de Reglamento de Régimen Interno	14
Anexo II: Conformidad de los Profesores de la Facultad de Ciencias para crear CIAFF-UAM	21
Anexo III: Criterios de Calidad	23
Anexo IV: Principales líneas de investigación	31
Anexo V: Algunos Problemas físicos de carácter multidisciplinar en las áreas MOCCA del Departamento de Física Teórica	41

1. Presentación

El Departamento de Física Teórica (DFT) agrupa a especialistas en diversas áreas de Física. Estas son, principalmente, Astrofísica, Cosmología, Física Experimental de Partículas Elementales, Física Nuclear, Neurociencia/Biofísica, Fundamentos de Mecánica Cuántica, Historia de la Ciencia, Física Teórica de Partículas Elementales, Teoría de Astropartículas, Teoría de Campos y Física Matemática. Esta diversidad viene de las circunstancias de la formación de la antigua División de Físicas en la UAM, que hicieron del DFT un departamento abierto a la captación del talento y la excelencia, en sus varias acepciones, resultando un cierto carácter multiárea dentro de la Física pero con un claro solapamiento entre ellas.

El **CIAFF-UAM** se propone con el objetivo de integrar esfuerzos para la consolidación de una investigación de excelencia en las áreas de Astrofísica, Cosmología, Física Experimental de Partículas Elementales, Física Nuclear, Neurociencia/Biofísica, Fundamentos de Mecánica Cuántica e Historia de la Ciencia, áreas que se potencian mutuamente. Se trataría de una estructura creada en el seno de la UAM, en el marco del artículo 17 de los Estatutos de la Universidad Autónoma de Madrid, con naturaleza de Centro propio de investigación.

Las otras áreas científicas del Departamento están actualmente integradas en el Instituto de Física Teórica (IFT), que fue el resultado de una iniciativa similar a esta, llevada a cabo hace años por una parte de los profesores del Departamento, ninguno de ellos miembro proponente de este **CIAFF-UAM**. El IFT es actualmente un centro mixto perteneciente a la UAM y al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). En el IFT UAM-CSIC se trabaja en Teoría de Campos y Física Matemática, así como en la Frontera Teórica de la física de partículas elementales, astropartículas y cosmología, habiéndose convertido en uno de los institutos líderes de la Física Teórica española. El IFT está acreditado como Centro de Excelencia Severo Ochoa. El éxito de crecimiento y desarrollo, y sobre todo científico del IFT indica claramente el camino a seguir por las otras áreas de investigación del DFT.

El Departamento de Física Teórica tendrá de esta forma, con estos dos centros **CIAFF-UAM** e **IFT UAM-CSIC**, acceso a las herramientas disponibles institucionalmente para el progreso y desarrollo de toda su actividad investigadora.

Todos los miembros proponentes del CIAFF-UAM tienen en común una probada excelencia investigadora, y la caracterización de su trabajo como las tareas de **medir, observar, computar, comparar y analizar** (MOCCA). Esto supone, entre otros aspectos de solapamiento y complementariedad, la utilización de metodologías y técnicas potencialmente convergentes que implican el tratamiento de cantidades ingentes de datos (tomados de la Naturaleza o resultado de cálculos) mediante métodos estadísticos y computacionales punteros. Se pretende potenciar la investigación en la frontera de las tareas MOCCA, aunando esfuerzos, potenciando las colaboraciones y definiendo la estrategia de futuro. Además de la búsqueda de mayores niveles de excelencia en la investigación en estos campos, la consecución de estos objetivos redundaría en una mejora de la calidad de la docencia impartida en la Facultad de Ciencias, especialmente en lo referente a los programas de posgrado. Los profesores proponentes participan en Programas de

Posgrado responsabilidad del DFT a nivel de Doctorado (dos programas de doctorado: Física Teórica y Astrofísica) y Máster (Física Teórica, con especialidades de Partículas Elementales y Astrofísica), así como en un Máster Interuniversitario en Física Nuclear, un Máster Erasmus Mundus en Física Nuclear que se implantará a partir del curso 2017-2018 y en el Máster en Física de la Materia Condensada y de los Sistemas Biológicos.

En los últimos años estamos asistiendo a un cambio profundo a nivel mundial en la comprensión de los fenómenos físicos en los que los grupos promotores del Centro basan su investigación. Este cambio está propiciado fundamentalmente por: i), el enorme desarrollo científico, tanto en las Ciencias Físicas como en Matemáticas, incluidos los Métodos Estadísticos, ii) el espectacular desarrollo tecnológico de la instrumentación científica, incluyendo el de nuevas infraestructuras científicas y técnicas singulares a nivel mundial, iii) el enorme progreso en técnicas de medida y observacionales, tanto desde la Tierra como desde el Espacio, así como de la capacidad y rapidez de los ordenadores y la tecnología de comunicaciones asociada, y iv) el tratamiento de datos científicos en lo que se refiere a su procesado, almacenamiento y transmisión, y el desarrollo de nuevos códigos de computación para cálculo. En este panorama de avance y cambio rápido, destaca la amplitud, la complejidad y la multidisciplinariedad de los conocimientos científicos y tecnológicos requeridos.

Relacionada con la mencionada multidisciplinariedad de los conocimientos científicos y técnicos exigidos, al igual que para cumplir mejor con el objetivo de contribuir al conocimiento de la Física en la sociedad, se enmarca el trabajo que uno de los miembros del Departamento realiza en el campo de la Historia de la Ciencia, cuya investigación se centra especialmente en la historia de la física de los siglos XIX y XX, tanto internacional como española.

Asimismo posee cierto carácter multidisciplinario el trabajo de otro de los miembros del Departamento en el campo de la fundamentación de la mecánica cuántica y teoría de la información cuántica, en el que confluyen matemática avanzada, física cuántica y filosofía de la ciencia (en particular de la física).

2. La Física en el Departamento de Física Teórica: áreas CIAFF-UAM

La investigación en tareas MOCCA en el DFT se encuentra estructurada básicamente en torno a grupos de investigación bien establecidos y de tamaño heterogéneo, pero nunca grande ni menos óptimo. Sin embargo, en las circunstancias actuales de alta competitividad, especialmente en líneas prioritarias en Física, resulta de gran interés la potenciación de la colaboración entre diferentes grupos especializados con objeto de aunar esfuerzos y acometer proyectos en la frontera del conocimiento con mayor componente interdisciplinar, lo que debería también redundar en una mejora de la transferencia de los resultados e impacto social. Este refuerzo del tamaño de las unidades de investigación debería facilitar igualmente el acceso a nuevos recursos. En el DFT / MOCCA existen grupos de investigación de consolidada trayectoria y prestigio en áreas complementarias del conocimiento integral en Física: Astrofísica, **Cosmología**, Física Experimental de Partículas, Física Nuclear, Fundamentos de la Mecánica Cuántica, Historia de la Física y otros.

Los promotores de **CIAFF-UAM** han desarrollado con éxito su trabajo de investigación, con una notable producción científica (>1.700 publicaciones, 124.000 citas), siendo Investigadores Principales (IPs) de Proyectos de Investigación en los Planes Nacionales de sus áreas respectivas, coordinadores e IPs en proyectos Europeos y en otros organismos internacionales. Han formado a estudiantes tanto a nivel de Tesis de Máster, como de Tesis Doctoral (>25 en los últimos 10 años) y supervisado en la UAM a postdocs financiados por distintas fuentes (24 aproximadamente). Han sido y son evaluadores de Agencias de Financiación y forman parte en diferentes comités de gestión de ciencia en España, UE (FP7 y H2020), América Latina, Australia y EEUU. Son miembros de las colaboraciones europeas y/o internacionales que están produciendo la ciencia en la frontera del conocimiento en sus respectivas áreas (ver más abajo). Estas colaboraciones están organizadas bien como grandes consorcios o en grupos menos numerosos, según la organización de cada subárea. Los resultados científicos en algunos casos han sido reconocidos por la comunidad con diferentes premios, algunos de máximo prestigio.

Las colaboración entre estos grupos, con todas sus sinergias, permitirá acometer objetivos más ambiciosos que no serían fácilmente realizables por separado.

2.1 Investigación

A continuación esbozamos una descripción de la investigación realizada en cada uno de estos campos, señalando además, a grandes rasgos, resultados particularmente relevantes que tomamos como indicadores de calidad.

2.1.1 *Astrofísica y Cosmología*

Los 7 profesores permanentes, 2 investigadores Ramón y Cajal (RyC) y los visitantes postdocs de larga duración (1 – 3 años) desarrollan su trabajo en torno a diferentes temas.

La investigación de quienes trabajan en **Cosmología y Astrofísica Computacional** tiene como objetivo comprender como se ha formado y evolucionado *la estructura a gran escala del universo, y los elementos que la forman hasta la escala de las galaxias*. El estudio se realiza a partir de las teorías cosmológicas y la comparación con datos observacionales (se está haciendo un enorme esfuerzo a nivel mundial en este aspecto). El método consiste en realizar simulaciones ab initio (a partir de primeros principios físicos) de la formación y evolución de estas estructuras y de las galaxias. La metodología implica la utilización de técnicas punteras de supercomputación y el desarrollo de códigos, incluidos códigos hidrodinámicos, con un amplio rango de aplicabilidad. Asimismo, se utilizan los mayores supercomputadores disponibles.

Es interesante señalar que, de acuerdo con la European Technology Platform for High Performance Computing (HPC Europe, www.etp4hpc.eu), de entre las 6 sub-áreas de Grand Challenge en HPC, están precisamente la "Cosmología y la Formación de Estructura a Gran Escala", y la "Formación y Evolución de Galaxias". Este grupo trabaja usualmente en el marco de colaboraciones internacionales (CLUES, JUBILEE, MUSIC, Mocking Astrophysics, MaGICC, entre otras, ver sección 3). Además, forma parte de la red europea 734374-LACEGAL (H2020-RISE), cuyo

objetivo es estrechar las relaciones científicas entre Europa (líder mundial en este campo), América Latina y China.

La obtención de datos observacionales sobre galaxias en el límite de lo técnicamente posible es el objetivo de quienes trabajan en Astrofísica Extragaláctica Observacional. En cuanto a la metodología, el grupo es líder internacional en el análisis de los datos de espectroscopia de campo integral. Esta es una de las técnicas que va a dominar la astronomía en el rango óptico infrarrojo en instrumentación de nueva generación. En este grupo, además, se diseñan modelizaciones de las propiedades de las galaxias y su evolución, con especial énfasis en la comprensión de los procesos que regulan la tasa de formación estelar en galaxias y la abundancia relativa de los distintos elementos químicos.

Los promotores cuyo trabajo se centra en el estudio de la **Evolución Estelar y Discos Planetarios** abordan el proceso de formación de planetas, desde sus fases iniciales (discos protoplanetarios), a las intermedias (discos debris), hasta las finales (sistemas planetarios y discos debris fuera de la MS). El objetivo es entender la formación y evolución de sistemas planetarios abordando el problema desde una perspectiva amplia. En el grupo realizamos observaciones con los telescopios e instrumentación de última generación de estrellas, discos y nebulosas. También realizamos simulaciones numéricas de N-cuerpos e hidrodinámicas para entender tanto la evolución del gas en las últimas etapas de evolución estelar, la formación de nebulosas planetarias y la dinámica de órbitas planetarias. El grupo trabaja dentro de (y a menudo lidera) colaboraciones internacionales.

La metodología utilizada por estos dos grupos implica la utilización de telescopios de última tecnología, así como técnicas avanzadas de proceso de imágenes y minería de datos.

2.1.2 Física Experimental de Partículas

El objetivo de la Física de Partículas Elementales es el estudio de los componentes microscópicos más fundamentales del Universo y las fuerzas que actúan sobre ellos. Hasta la fecha se conocen 61 partículas elementales y tres fuerzas (nuclear fuerte, electro-débil y gravitatoria). Existen multitud de incógnitas que la Física de Partículas trata de responder. Una de estas preguntas es: ¿son estas 61 partículas realmente elementales o están compuestas por otras más fundamentales?. La producción de las partículas para su estudio se realiza en los llamados colisionadores, donde, normalmente, se hacen chocar objetos estables como el electrón o el protón a muy alta energía. De la energía de la colisión se crean nuevas partículas cuyas propiedades se miden con complejos detectores. (Una excepción es la producción de neutrinos que no requieren de estos colisionadores para su producción). En la actualidad el colisionador que está en producción es el LHC (Large Hadron Collider) en el que chocan protones a las energías más altas jamás alcanzadas. Sus 27 Km de circunferencia cruzan la frontera entre Suiza y Francia por la ciudad suiza de Ginebra. En dos de las cuatro zonas de colisión se han instalado precisos detectores multipropósito llamados ATLAS y CMS.

El programa experimental del LHC, y en particular el de los experimentos ATLAS y CMS, consiste en explorar la física de colisiones protón-protón a energías de hasta 14 TeV y luminosidades por encima de los $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, tratando de encontrar señales de nueva física. Esta nueva física puede

ponerse de manifiesto bien como desviaciones en medidas de alta precisión en el marco del Modelo Estándar, bien como nuevos efectos y/o nuevas resonancias en búsquedas en el marco de modelos más allá del Modelo Estándar. El programa se complementa con el estudio de colisiones de iones pesados a muy altas energías.

Nuestras actividades en ATLAS y CMS están en línea con la Estrategia Europea para Física de Partículas 2013, que establece como su máxima prioridad la explotación del potencial científico del LHC, con una luminosidad integrada esperada de 300 fb^{-1} hacia 2021, seguido por su extensión de alta luminosidad (HL-LHC) que multiplicará la luminosidad integrada hasta 3000 fb^{-1} hacia 2030.

La participación del grupo al programa de física del LHC comenzó a finales de la década de los 90, contribuyendo al diseño, construcción e instalación de tres piezas fundamentales de los detectores **ATLAS y CMS**.

1. El calorímetro electromagnético de ATLAS, para la medida precisa de la energía y dirección de electrones y fotones. Este instrumento es fundamental para los descubrimientos de Física; por ejemplo dos de los canales de desintegración de la partícula de Higgs son en un par de fotones y en cuatro electrones.
2. El sistema de trigger de muones DTF de CMS, capaz de reconstruir en tiempo real la trayectoria de los muones en el sistema de nivel 1 del trigger y proporcionar una decisión de trigger cada 25 ns. Los muones son importantes, a nivel de trigger y a nivel de detección, en la desintegración del bosón de Higgs en el canal $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4 \text{ leptones}$ (crucial en el descubrimiento de CMS en 2012), y en las desintegraciones de muchas resonancias masivas en modelos de nueva física.
3. Construcción de un centro de proceso de datos para el experimento ATLAS integrado en una red internacional de un centenar de centros. Esta red es necesaria para procesar la ingente cantidad de datos que se producen diariamente en las colisiones del LHC. Podemos considerarlo como un detector del experimento, que necesita operación y optimización.

Desde el comienzo de la toma de datos del LHC en 2010, operar, monitorizar y optimizar los detectores responsabilidad de la UAM, las guardias de operación y otras tareas de servicio en ATLAS y CMS, han representado más del 50% de nuestro trabajo. Estas actividades representan nuestra contribución general al programa científico del LHC. En paralelo se han realizado análisis estadístico de los datos para sacar conclusiones en los campos de física de colisiones fuertes, física de mesones B, física electrodébil, búsquedas de bosón de Higgs, quark top y búsquedas de señales de nueva física.

Durante el Run 1 del LHC (2010 – 2013) los detectores responsabilidad de la UAM han funcionado de modo sobresaliente. En 2015 y 2016 los experimentos siguen tomando datos en el Run 2 del LHC; en la actualidad el LHC está funcionando con una energía en el centro de masas de 13 TeV, separación de los bunches de 25 ns y luminosidades superiores a $10^{34} \text{ cms}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

La consecuencia más importante de esta actividad fue el descubrimiento del bosón de Higgs en 2012, independientemente por ATLAS y CMS.

El grupo de neutrinos participa activamente en el experimento de neutrinos y desintegración del protón **Super-Kamiokande** (SK, Observatorio de Kamioka, ICRR, Japón), en su mejora de prestaciones (fase SuperK-Gd), en el estudio de oscilaciones en los haces de neutrinos creados en JPARC (JAEA-KEK, Tokai, a ~300 Km de Kamioka, experimento T2K), en la nueva generación de detector/experimento Hyper-Kamiokande (HK) y T2HK y finalmente, ya en España, en el experimento NEXT de búsqueda del proceso de desintegración doble beta sin neutrinos (Laboratorio Subterráneo de Canfranc).

En SK buscamos procesos consistentes con desintegraciones de protones, medimos flujos de neutrinos solares y atmosféricos y sus oscilaciones, mejorando poco a poco la precisión en la medida de los elementos correspondientes de la matriz de mezcla leptónica. Estudiamos también distintas variables astrofísicas siendo un objetivo fundamental de SK la caracterización energética, temporal y tipo, del flujo de neutrinos producido en una Supernova suficientemente próxima. Con Superk_Gd mejoraremos lo anterior accediendo al Fondo Difuso de Neutrinos de Supernova el cual esperamos descubrir. Con Super-Kamiokande, SuperK-Gd y T2K estamos empezando a ser sensibles a magnitudes fundamentales como son el tipo de jerarquía de masa de los neutrinos y la posible violación carga-paridad en sus interacciones. Ambas magnitudes serán establecidas con precisión con Hyper-Kamiokande y T2HK.

2.1.3 Física Nuclear Teórica

El núcleo atómico es un sistema formado por protones y neutrones (los nucleones) que interactúan a través de intrincadas fuerzas nucleares. El número de protones y de neutrones existentes en el núcleo definen los diferentes elementos químicos con sus respectivos isótopos que encontramos en la naturaleza. Estos iones atraen electrones para formar los átomos y, éstos, a su vez, se combinan en moléculas formando estructuras químicas y biológicas más complejas.

El origen y la abundancia de los distintos isótopos vienen determinados por las reacciones nucleares que suceden en las distintas etapas de la vida de las estrellas, por lo que la Física Nuclear está íntimamente relacionada con la Astrofísica.

Asimismo, los nucleones son objetos con una estructura interna compuesta de quarks sujetos a la interacción fuerte. Dentro del núcleo suceden además procesos electro débiles, como las desintegraciones beta o procesos de captura leptónica. Todo ello hace que el núcleo atómico sea un laboratorio perfecto para estudiar la naturaleza de las partículas elementales y sus interacciones dentro del Modelo Estándar y buscar física más allá de dicho marco teórico. Por tanto, la conexión entre la Física Nuclear y la Física de Altas Energías es evidente.

El Grupo de Física Nuclear del DFT que forma parte de este nuevo centro tiene una amplia trayectoria en el estudio de la estructura nuclear con técnicas de vanguardia de resolución de problemas de muchos cuerpos cuánticos. En el Grupo se han hecho grandes desarrollos tanto teóricos como computacionales para, basándose en métodos de campo medio auto-consistente y sus mejoras más allá de dicha aproximación, resolver estos problemas. En particular, el Grupo desarrolla continuamente códigos informáticos -y los aplica en cálculos en infraestructuras de supercomputación- usando la reconocida interacción nuclear de Gogny, siendo en este aspecto un grupo líder a nivel mundial.

2.1.4 Fundamentos de la Mecánica Cuántica

José L. Sánchez Gómez, catedrático emérito de Física Teórica, que hasta los primeros años de la década de 1990 trabajó en teoría de partículas elementales, lo hace desde entonces el campo arriba mencionado.

Actualmente dos son sus principales actividades, una más de tipo matemático y la otra más filosófica: 1. Relación entre posibles modificaciones no-lineales de la mecánica cuántica y la violación de la causalidad en forma de transmisión de información superlumínica. 2. Micro objetividad en la teoría cuántica. Análisis filosófico del entrelazamiento cuántico y clasificación metodológica de las diversas teorías “realistas” que pretenden explicarlo.

2.1.5 Historia de la Ciencia

José Manuel Sánchez Ron es considerado uno de los líderes de la historia de la ciencia en España. Da idea de producción el que en los últimos tres años (2013-2016) ha publicado los siguientes libros: 1) *Cartas a Isaac Newton (9687-9688 D. C.)* 279 págs. (Espasa, Madrid 2013); 2) *Los secretos del Universo* 191 págs. (Oberón Práctico/Ediciones Anaya 2013); 3) *Una historia de la medicina. De Hipócrates al ADN*, con ilustraciones de Antonio Mingote, 260 págs. (Crítica, Barcelona 2013); 4) *El mundo después de la revolución. La física de la segunda mitad del siglo XX*, 524 págs. (Pasado & Presente, Barcelona 2014); 5) *Albert Einstein. Su vida, su obra y su mundo*, 498 págs. (Crítica/Fundación BBVA, Barcelona 2015); y 6) *José Echegaray (1832-1916). El hombre polifacético. Técnica, ciencia, política y teatro en España* 345 pp. (Fundación Juanelo Turriano 2016).

Por uno de estos libros, *El mundo después de la revolución*, recibió el Premio Nacional de Ensayo 2015.

En cuanto a artículos, únicamente mencionaremos los publicados en ese periodo en inglés: 1) “Alan Turing: Person of the XXth century”, *Arbor* 189, n.º 764, 14 pp. (noviembre-diciembre 2013); 2) “The non-introduction of low-temperature physics in Spain: Julio Palacios and Heike Kamerlingh Onnes”, Theodore Arabatzis, Ana Simoes and Jürgen Renn, eds. (Kluwer, Dordrecht 2015), pp. 131-157; 3) “Beyond disciplinary borders: H. A. Lorentz and S. Ramón y Cajal”, con Juan Fernández Santarén y Anne Kox, *Archives Internationales d’Histoire des Sciences* 64, 497-521; y 4) “Science, politics, economics, and Kuhn’s paradigms”, en *Shifting Paradigms. Thomas S. Kuhn and the History of Science*, A. Blum, K. Gavroglu, C. Joas y J. Renn, eds. (Max Planck Institute for the History of Science, Berlín 2016), 211-222.

2.2 Interacción con la Sociedad: formación, atracción de talento, divulgación, transferencia

Los profesores proponentes tienen una gran implicación en la formación en general. Así, participan en Programas de Posgrado responsabilidad del DFT a nivel de Doctorado (dos programas de doctorado: Física Teórica y Astrofísica) y Máster (Física Teórica, con especialidades de Partículas Elementales y Astrofísica), así como en un Máster Interuniversitario en Física Nuclear, un Máster Erasmus Mundus en Física Nuclear que se implantará a partir del curso 2017-2018 y en el Máster en Física de la Materia Condensada y de los Sistemas Biológicos.

Hay que señalar que ambos Programas de Doctorado han ganado todas las Menciones de

Excelencia convocadas por parte del Ministerio, así como la Mención del Campus de Excelencia UAM-CSIC. Fuera de los Programas de Posgrado también se han formado a tecnólogos, contratados a través de proyectos de investigación.

La mayoría de los egresados de los programas de doctorado han seguido una carrera académica exitosa. También es importante señalar que un porcentaje alto de egresados, así como los tecnólogos que se han formado en el marco de nuestros proyectos, está haciendo su carrera en empresas punteras de I+D+i, como emprendedores, ingenieros mecánicos, electrónicos e informáticos (Next Limit SL; Dassault Systems; GMV; ATOS-Airbus; Winton Capital Management, Sener, Amazon, etc.). Queremos señalar la versatilidad y multifuncionalidad de la formación recibida y su función social.

Los profesores proponentes han sido también activos en la atracción de talento para su incorporación a las tareas de investigación de sus grupos, lo que se manifiesta en la incorporación de investigadores con contratos Ramón y Cajal y Juan de la Cierva, y en la supervisión de investigadores en estancia postdoctoral. Los números relativos a los últimos 10 años son los siguientes: 8 RyC, 4 JdC y 24 contratados postdoctorales.

Es importante señalar que los promotores del nuevo Centro han atendido también a otros dos aspectos del quehacer científico de máximo interés e importancia. El nuevo programa marco de la Unión Europea, Horizon 2020, pone un gran énfasis en la innovación y la transferencia de conocimiento. La llamada “unión por la innovación” tiene como objetivo que ideas innovadoras se puedan transformar en productos y servicios que creen crecimiento y empleo. De la misma manera, se considera que el papel social de la Ciencia implica que los Centros de investigación han de dedicar recursos y tiempo a la comunicación social de la misma.

En el DFT se han desarrollado a lo largo de los años muchas ideas innovadoras en el marco de los proyectos de investigación MOCCA. Concretamente, existe en la actualidad un *know-how* resultante de los conocimientos adquiridos en el desarrollo de: 1) algoritmos de cómputo, modelización de datos y la simulación Monte Carlo, así como la experiencia en la supercomputación masivamente paralela y la GRID; 2) técnicas de medida y observación; y 3) instrumentación astronómica y de detectores para aceleradores de partículas elementales. Este *know-how* es ya muy útil por sus aplicaciones potenciales, por ejemplo, para resolver problemas de análisis de datos masivos (Big Data), supercomputación aplicada a la industria y a la sociedad, álgebra computacional, componentes electrónicos desarrollados para detectores de partículas que se utilizan en otros campos (por ejemplo, en Medicina).

Este interés por la transferencia se plasma también en la formación de personal para la industria puntera, como se vio anteriormente.

En cuanto a la divulgación científica, son numerosas las tareas realizadas por los miembros MOCCA del DFT, tanto en artículos como en charlas o en apariciones públicas en los medios de comunicación social (ver más abajo).

A pesar de la implicación activa en estas tareas es importante señalar que, en su actual configuración organizativa, los grupos MOCCA del DFT carecen de la infraestructura necesaria

tanto para realizar una transferencia eficaz o crear empresas de *spin-off* como para realizar una labor divulgativa que supere los esfuerzos individuales de sus miembros.

3. Convergencias y sinergias presentes y futuras

En el momento actual existen claras sinergias entre los promotores del Centro CIAFF-UAM en dos pilares de la investigación. Por un lado, la metodología, las técnicas empleadas y los conocimientos adquiridos (*know-how*) en estas áreas científicas comparten aspectos básicos. Por otro lado, algunos de los problemas científicos más importantes planteados en Astrofísica, Cosmología, Física Experimental de Partículas y Física Nuclear no se pueden encasillar solamente en un área de conocimiento sino que requieren del esfuerzo combinado de distintas áreas para resolverlos.

Una de las características principales del trabajo en las áreas MOCCA del DFT es el uso de grandes centros de cálculo y procesamiento de datos, así como el desarrollo de software como herramienta básica de resolución de problemas físicos y de manejo de ingentes cantidades de datos.

Esto es debido a que, por un lado, los problemas físicos que se pretenden abordar de forma teórica mediante simulaciones sólo se pueden resolver aunando la capacidad de cálculo de muchos ordenadores trabajando a la vez (supercomputación masivamente paralela). Por otro lado, tanto las observaciones astronómicas como los experimentos de física de altas energías y nuclear producen tal cantidad de datos que su almacenamiento, procesamiento y análisis requieren del uso de grandes bases de datos y de infraestructuras de computación distribuida (por ejemplo, el GRID). En un futuro próximo, la cantidad de datos que se pueden generar en dichos experimentos y observaciones llegará al orden de los exabytes (el equivalente a un millón de discos duros de un terabyte, los más comunes actualmente en un PC) y por ello se están desarrollando bases de datos adecuadas para acceder fácil y rápidamente a dicha información.

Concretamente, existen en la actualidad dentro de las áreas MOCCA del DFT unos conocimientos adquiridos en el desarrollo de bases de datos, algoritmos de cómputo, modelización, simulación, así como la experiencia en la supercomputación masivamente paralela y la GRID. Este *know-how*, aunque en ocasiones específico de cada área, puede aplicarse en el futuro de manera directa no sólo para el avance en otras áreas científicas sino también en la supercomputación aplicada a la industria y sociedad.

Un ejemplo de las sinergias ya existentes a nivel computacional entre las áreas MOCCA del DFT es el centro de proceso de datos UAM-LCG2, creado inicialmente para el área de Física Experimental de Partículas, y que en la actualidad da también servicio a las áreas de Astrofísica y Física Nuclear. En este centro se desarrollaron también herramientas de software que se han usado posteriormente en bancos y grandes cadenas de alimentación, probando la aplicabilidad en la sociedad de herramientas creadas en un marco científico.

Por otra parte, en los grupos de Física Experimental de Partículas y Astrofísica se han desarrollado detectores tanto para aceleradores de partículas elementales como para instrumentación astronómica. Ello ha proporcionado un perfeccionamiento tecnológico y de protocolos de control de calidad a las empresas involucradas, principalmente españolas, y también a Unidades de nuestro propio Campus UAM. Un ejemplo remarcable es el Calorímetro Electromagnético de ATLAS

Algunos Problemas físicos de carácter multidisciplinar en las áreas MOCCA del Departamento de Física Teórica aparecen en a) las constantes de acoplamiento fundamentales, b) la física del neutrino, c) la nucleosíntesis estelar y las Supernovas, d) en la materia oscura, e) otros. Una descripción más detallada de estos problemas y su carácter multidisciplinario dentro del Departamento es presentada en el Anexo V.

4. Objetivos de CIAFF-UAM

Los indicadores de calidad que hacen referencia a la investigación desarrollada hasta este momento son muy positivos. Pero también son patentes los límites que la actual estructuración organizativa de los investigadores proponentes impone a sus perspectivas de desarrollo futuro, estructuración que merma sus oportunidades. Existe una imperiosa necesidad de crear herramientas capaces de articular y coordinar las actividades ya en marcha, dinamizando e impulsando adecuadamente la investigación en **Física MOCCA** en la UAM, para consolidar el alto nivel alcanzado, aumentar su visibilidad internacional, así como fomentar la transferencia de resultados a los sectores industriales y tecnológicos.

La propuesta de creación de CIAFF-UAM pretende aumentar la diversidad y transversalidad de las líneas de investigación, así como su competitividad, con el objetivo explícito de concurrir en las mejores condiciones a futuras convocatorias de excelencia, tanto nacionales como europeas, para la financiación de Centros de Excelencia. En este sentido cabe mencionar que se tiene la intención de concurrir a la próxima convocatoria de Unidades de Excelencia “María de Maeztu”.

Los objetivos de CIAFF-UAM se resumen en los siguientes puntos:

1. Mantener o alcanzar la masa crítica de investigadores con un interés común en diferentes áreas de la Física, con el factor común de trabajar en la frontera del conocimiento, aunando esfuerzos entre los diferentes grupos de modo que se puedan abordar conjuntamente proyectos ambiciosos.
2. Promover la colaboración entre grupos de investigación.
3. Estimular la creación de nuevas líneas de investigación.
4. Incentivar la excelencia investigadora en el área, con la intención explícita de concurrir a convocatorias competitivas regionales, nacionales e internacionales.
5. Aumentar la internacionalización de la investigación en el área y su visibilidad.
6. Apoyar la transferencia de resultados de la investigación y promover las relaciones con el sector industrial y tecnológico.

7. Garantizar un seguimiento y consiguiente asesoramiento eficaz de los resultados de las líneas de trabajo y su evaluación mediante comités externos, siguiendo procedimientos estándar aceptados internacionalmente.
8. Contribuir a la divulgación de la Física en la sociedad.

Anexo I: Propuesta de Reglamento de Régimen Interno

1. Misión

La creación del **Centro** parte de la iniciativa de los profesores del Departamento de Física Teórica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid, con el objetivo de integrar esfuerzos para la consolidación de una investigación de excelencia en Física en la Universidad. Se trata de una estructura creada en el seno de la UAM, en el marco del artículo 17 de los Estatutos de la Universidad Autónoma de Madrid, con naturaleza de **Centro Propio de Investigación**.

2. Estructura

El **Centro** se estructura en Secciones y Unidades de Servicio. Las Secciones son las unidades encargadas de desarrollar y coordinar la investigación dentro de sus respectivos ámbitos de conocimiento. Se crean cuatro secciones: Astrofísica y Cosmología, Física Experimental de Partículas, Física Nuclear y Miscelánea. Esta última comprende los trabajos en Fundamentación de la Mecánica Cuántica y otros aspectos de Física Teórica, Historia de la Ciencia y Neurociencia Computacional. Las Unidades de Servicio prestarán el apoyo técnico y de gestión necesario para el correcto desarrollo de las tareas encomendadas a las Secciones. Podrán existir Comisiones especiales para resolver problemas específicos.

3. Personal

3.1 Pueden incorporarse al **Centro** como miembros:

a) Los profesores permanentes de la UAM que se adscriban al **Centro**. La adscripción se hará mediante propuesta razonada de alguno de los miembros del **Centro**. Dicha propuesta, acompañada del preceptivo informe de la Comisión de Asesoramiento Científico, deberá ser aprobada por la Comisión de Dirección. Para aquellos no miembros del Departamento de Física Teórica, la adscripción será por períodos de cinco años renovables y deberá contar con el visto bueno del Departamento universitario al que pertenezca el profesor. Para la renovación, cada investigador presentará a la Comisión de Dirección una memoria científica de la actividad desempeñada hasta ese momento y sus planes para el siguiente periodo.

b) Personal investigador con contrato temporal (no permanente). La adscripción se hará mediante propuesta razonada de alguno de los miembros del **Centro**. Dicha propuesta deberá ser aprobada por la Comisión de Dirección. La adscripción tendrá la duración del contrato, aplicándose el procedimiento de renovación descrito en el apartado a) si ello fuera necesario.

c) Personal investigador de otras instituciones, conveniadas con la UAM y con la debida autorización del representante legal de la institución. La adscripción se hará mediante propuesta razonada de alguno de los miembros del **Centro**. Dicha propuesta, acompañada del preceptivo informe de la Comisión de Asesoramiento Científico, deberá ser aprobada por la Comisión de Dirección. La adscripción estará limitada temporalmente por la vigencia del convenio, siendo renovable por periodos máximos de cinco años. Para la renovación, cada investigador presentará a la Comisión de Dirección una memoria científica de la actividad desempeñada hasta ese momento y sus planes para el siguiente periodo.

d) Personal de apoyo a la investigación adscrita al Centro.

e) Miembros honorarios. Pueden ser miembros honorarios los profesores o investigadores eméritos o jubilados, de reconocido prestigio en alguna de las áreas o ámbitos de trabajo del **Centro**. Asimismo pueden ser miembros honorarios aquellos científicos procedentes de otras Universidades o Centros de Investigación, que se hallen en régimen sabático desarrollando su investigación en el Centro. Los miembros honorarios tendrán, a cualquier efecto, los mismos derechos y deberes que los miembros normales del **Centro**.

3.2 Obligaciones del personal del **Centro**

a) Todo el personal del **Centro**, de acuerdo con su categoría o capacidad, deberá estar incluido en alguna de las Secciones o Unidades de Servicio existentes en el **Centro**, sin perjuicio de su adscripción a los Departamentos universitarios correspondientes. El **Centro** contará con el personal científico y una Unidad de Servicios de Apoyo.

b) Los investigadores se comprometen a participar con el **Centro** en aquellas convocatorias competitivas de proyectos de investigación, tanto nacionales como europeas, a las que el **Centro** concorra como tal. El incumplimiento de este compromiso causará el cese inmediato como miembro del **Centro**.

c) En todas las publicaciones de los investigadores adscritos al **Centro**, deberá figurar éste dentro de los datos correspondientes a la afiliación.

4. Órganos de gobierno

El Centro se crea con los siguientes órganos de Gestión:

- a) Órganos colegiados: Comisión de Dirección y el Consejo de Centro,
- b) Órganos unipersonales: Director, Secretario, Directores de Sección

4.1 La Comisión de Dirección

Es el órgano colegiado de dirección, y por tanto, el que establece las líneas estratégicas del Centro, así como las directrices y procedimientos para su aplicación.

4.1.1 La Comisión de Dirección del **Centro** estará constituida por:

- a) El Director del Centro, que actuará como Presidente,
- b) El Secretario del Centro,
- c) Los Directores de Sección,
- d) Un número de representantes del personal igual a un tercio del total de los miembros de la Comisión, redondeando por defecto el cociente no exacto. El personal de apoyo puede tener un representante si numericamente su proporción respecto al número de investigadores es suficiente, siendo el resto representantes del personal investigador.

Tanto los representantes del personal investigador como el del personal de apoyo serán elegidos por votación entre sus respectivos colectivos, por un periodo de cuatro años pudiendo renovar solo por un periodo consecutivo.

4.1.2. Son funciones de la Comisión de Dirección del **Centro**:

- a) Elaborar el Plan de Actuación del **Centro**.
- b) Proponer la creación, supresión o cambio de denominación de Secciones.
- c) Elaborar la Memoria anual de actividades.
- d) Elaborar el anteproyecto de Presupuesto del **Centro**.
- e) Decidir sobre renovaciones de los miembros del **Centro** y nuevas adscripciones.
- f) Proponer las modificaciones del Reglamento de Régimen Interior cuando proceda.
- g) Proponer, en el marco de lo previsto en la normativa general de aplicación, iniciativas e intercambios de colaboración con universidades y otros organismos.
- h) Informar sobre los convenios, contratos y proyectos de investigación que se desarrollen en el seno del **Centro**.
- i) Decidir sobre la adecuada inversión en el **Centro** de los recursos generados por los proyectos de investigación de sus miembros.
- j) Designar las comisiones pertinentes para resolver problemas específicos.

La Comisión de Dirección adoptará sus decisiones garantizando el desarrollo y sinergias de todas las líneas de investigación involucradas en el Centro.

4.1.3 La Comisión de Dirección se reunirá cuando la convoque el Director y al menos dos veces al año. Sus actas serán públicas y estarán a disposición de todos los miembros del **Centro**.

4.2 El Consejo de Centro

Se trata del máximo órgano de representación del Centro.

4.2.1 El Consejo de Centro estará presidido por el Director del **Centro**. El Secretario dará fe de los acuerdos adoptados y levantará acta de cada reunión.

El Consejo estará integrado por:

- a) Todos los miembros doctores, que constituirán como mínimo el 80% del Consejo.
- b) Una representación de los miembros no doctores, que constituirá como máximo el 15% del Consejo.
- c) Una representación del personal de apoyo a la investigación del **Centro**, que constituirá como máximo el 5% del Consejo, redondeando el cociente no exacto de forma tal que se permita la representación.

4.2.2 Son funciones del Consejo del Centro:

- a) Aprobar el Plan de Actuación a propuesta de la Comisión de Dirección.
- b) Aprobar, para su elevación al órgano superior competente, la firma de contratos con personas o entidades públicas o privadas para la realización de proyectos de investigación.

- c) Aprobar el presupuesto anual y su liquidación.
- d) Aprobar, para su elevación al órgano superior competente, los vínculos del **Centro** con otras Instituciones.
- e) Aprobar en su caso los gastos y pagos dentro de los límites presupuestarios.
- f) Modificar el reglamento del Régimen Interno del **Centro**.
- g) Aquellas que puedan serle encomendadas por la Comisión de Dirección.

El Consejo de Centro en sus decisiones garantizará el desarrollo y sinergias de todas las líneas de investigación involucradas en el Centro.

4.2.3 El Consejo se reunirá al menos una vez al año, cuando lo convoque el Director del Centro o lo solicite un 20% de sus miembros.

4.3 El Director del Centro

El Director será elegido por el Consejo de Centro, de entre los doctores adscritos al Centro, correspondiendo al Rector su nombramiento. En cuanto al sistema y procedimiento electoral, se actuará en concordancia con las disposiciones correspondientes contenidas en el Reglamento Electoral de la UAM.

Las funciones del Director son:

- a) Ejercer la representación del **Centro**.
- b) Dirigir, coordinar y supervisar todos los servicios y actividades del **Centro**, responsabilizándose de la gestión económica del mismo con independencia de las competencias reservadas a los investigadores principales en la dirección de sus respectivos proyectos de investigación.
- c) Coordinar la ejecución del Plan de Actuación del **Centro**.
- d) Velar por el cumplimiento de las obligaciones y derechos del personal adscrito.
- e) Velar para que las instalaciones y medios del **Centro** sean las apropiadas para el eficaz desarrollo de las actividades dentro del mismo.
- f) Velar por el debido acceso y correcto uso de las instalaciones y medios del **Centro** por parte de todas las personas que, con conocimiento y, en su caso, autorización hagan uso de los mismos.
- g) Velar por el correcto cumplimiento de la normativa sobre seguridad, prevención de riesgos laborales e higiene en el trabajo dentro del **Centro**.
- h) Garantizar la adecuada distribución, según las directrices de la comisión de Dirección, entre las distintas secciones y grupos de trabajo los recursos disponibles de todo tipo y velar por su óptima utilización para el desarrollo de las actividades.
- i) Promover contratos de investigación y convenios de colaboración, para su formalización y firma por el vicerrector competente
- j) Solicitar a Gerencia el inicio de la tramitación de contratos de obras, de gestión de servicios públicos o de suministro.
- k) Coordinar anualmente la elaboración de la Memoria de Actividades del **Centro**.
- l) Elaborar el Orden del Día de la Comisión de Dirección del Centro y convocar y presidir sus reuniones.
- m) Elaborar el Orden del Día del Consejo de Centro y convocar y presidir sus reuniones.

El mandato del Director tendrá una duración de cuatro años y podrá ser renovado una sola vez consecutivamente. Quien haya sido elegido por segunda vez no podrá presentarse a una nueva elección para el mismo cargo en los cuatro años siguientes a su cese, sea cual sea el motivo de éste. El Director cesará en su cargo por fin de su mandato, a petición propia elevada al Rector o a causa de una moción de censura.

4.4. El Secretario del Centro

El Secretario será nombrado por el Rector y designado por el Consejo de Centro a propuesta del Director. Las funciones del Secretario son:

- a) Asistir al Director y sustituirle en sus funciones en caso de ausencia o enfermedad.
- b) Actuar como Secretario de la Comisión de Dirección y del Consejo de Centro, levantando Acta de todas sus actuaciones.
- c) Elaborar las certificaciones pertinentes.
- d) Cualquier otra tarea que le deleguen el Director o la Comisión de Dirección.

El cargo de Secretario tiene una duración de cuatro años y puede ser renovado una sola vez consecutivamente. Cesa en el cargo a petición propia, por decisión del Director o cuando concluya el mandato de éste.

4.5 Los Directores de Sección

Existirá la figura de Director de Sección que será nombrado por el Director del **Centro**, a propuesta de los miembros de la Sección, entre el personal de investigación para períodos de cuatro años, no pudiendo desempeñar este cargo más de dos períodos consecutivos. Los Directores de Sección ejercerán sus funciones de acuerdo con la misión principal de las Secciones. Coordinarán y supervisarán las actividades dentro de las mismas, velarán por el buen uso y distribución de los recursos que tengan asignados y por el cumplimiento de las obligaciones y derechos de su personal. Todo ello sin perjuicio de las funciones que competen a los investigadores principales en la ejecución de sus respectivos proyectos de investigación.

5. La Comisión de Asesoramiento Científico

La Comisión de Asesoramiento Científico será nombrada por la UAM a propuesta de la Comisión de Dirección y estará formada por científicos externos no pertenecientes a la UAM, de alto prestigio internacional en las líneas de investigación del **Centro**. Las funciones de la Comisión de Asesoramiento Científico son:

- a) Asesorar, a solicitud del Director, en el desarrollo de las líneas y proyectos de investigación.
- b) Asesorar a la Comisión de Dirección, a solicitud de la misma, en cualquier aspecto del trabajo de investigación del Centro.
- c) Informar a la Comisión de Dirección en los procesos de incorporación al Centro de nuevos miembros permanentes.
- d) Evaluar los planes de actuación periódicos del Centro que proponga la Comisión de Dirección.

6. Moción de censura

6.1 El Consejo de Centro podrá revocar al Director mediante la aprobación de una moción de censura.

6.2 La moción de censura tendrá que ser presentada formalmente por la quinta parte de los miembros del Consejo y deberá contener necesariamente la propuesta de un candidato a Director.

6.3 La moción será debatida y votada entre los quince y treinta días hábiles siguientes a su presentación.

6.4 A efectos de la aprobación de la moción de censura será necesario que la misma sea apoyada por la mayoría absoluta del total de los miembros del Consejo de Centro, en cuyo caso el candidato propuesto por los firmantes de la moción quedará automáticamente elegido como director.

7. Financiación

7.1 El **Centro** se financiará mediante aportaciones de entidades públicas, y asimismo privadas con las que se suscriban convenios de colaboración o contratos.

7.2 En el caso de que el **Centro** solicite personal de administración de la UAM para el desarrollo de sus actividades ordinarias, la aprobación de tales solicitudes estará en función de la política de personal de la Universidad y de los criterios generales que se establezcan.

7.3 Los costes indirectos de los proyectos de Investigación se someterán estrictamente a lo establecido en la normativa general de la Universidad, contenida a día de hoy en el Reglamento por el que se establecen los criterios de interpretación y aplicación de la normativa sobre contratos y proyectos del artículo 83 de la LOU, publicado en el BOUAM de 20 de febrero de 2013.

- a) En el caso de proyectos de investigación, convenios o contratos presentados a través del **Centro** a título individual por alguno de sus miembros permanentes, el Centro recibirá el 25% de los costes indirectos que generen, ingresándose otro 25% en el Departamento Universitario al que pertenezca el investigador principal. El otro 50% se ingresará en cualquier caso en la cuenta general que la Universidad tiene al efecto.
- b) En el caso de proyectos de investigación a los que el **Centro** haya concurrido como tal, de forma colectiva, el **Centro** recibirá el 50% de los costes indirectos mientras que el otro 50% revertirá a la Universidad.

8. Gestión Económica del Centro

8.1 La gestión económica del **Centro** se regirá por las normas generales de la UAM.

8.2 La tramitación y gestión de los proyectos de investigación procedentes de convocatorias competitivas se realizará a través del servicio de Investigación de la UAM.

8.3 La contratación de personal se realizará de acuerdo con los criterios de la UAM.

9. Extinción del Centro

9.1 Serán causas de extinción del **Centro**:

- a) Acuerdo adoptado por el Consejo de Centro por mayoría cualificada, que deberá ser notificado al Vicerrectorado de Investigación
- b) Resolución del Consejo de Gobierno de la Universidad, que podrá decidir la supresión del **Centro** por alguna de las siguientes causas:
 - Por haber incumplido los objetivos o fines inicialmente propuestos
 - Por considerar que el Centro de Investigación propio de la UAM ya no es la forma más adecuada para darles cumplimiento
 - Por no presentar la Memoria anual durante dos años consecutivos
 - Por la falta de fuentes de financiación adecuadas para el desarrollo de su actividad

Disposición Final

El presente Reglamento, una vez aprobado por el Consejo de Gobierno de la Universidad, previo informe favorable del Consejo Social, entrará en vigor el día siguiente de su publicación en el Boletín Oficial de la Universidad Autónoma de Madrid

Anexo II: Conformidad de los Profesores de la Facultad de Ciencias para crear CIAFF-UAM

Los profesores e investigadores de la UAM que aparecen en el siguiente listado, manifiestan su intención de participar en la creación de CIAFF-UAM , como un Centro de Investigación propio de la UAM, con el objetivo de fomentar la colaboración entre los diversos grupos e investigadores que trabajan actualmente en el área de **Física MOCCA** dentro de la UAM con el objetivo común de promover la excelencia e impacto internacional de su investigación y docencia de postgrado.

De esta forma pretendemos aumentar la competitividad a la hora de concurrir a futuras convocatorias de cualquier ámbito, para la financiación de Centros de Excelencia. Mencionamos en este sentido la intención de participar en la próxima convocatoria de Centros de Excelencia "María de Maeztu".

El objetivo prioritario de esta propuesta es aumentar la calidad de la investigación en la UAM y es por tanto nuestro deseo contar con un comité de asesoramiento externo, formado por científicos de reconocido prestigio internacional, que se ocupe de evaluar las actividades de CIAFF-UAM , incluyendo las nuevas adscripciones, líneas de investigación y planes estratégicos, entre otras, así como de formular propuestas para su mejora y desarrollo futuro.

Personal docente e investigación

Apellido, Nombre	Categoría	Ámbito de Investigación
Ascasibar Sequeiros, Yago	Contratado Ramón y Cajal	AC
Barreiro Alonso, Fernando	Catedrático de Universidad	FEP
del Peso Malagón, José	Profesor Titular de Universidad	FEP
Díaz Beltrán, Ángeles Isabel	Catedrática de Universidad	AC
Domínguez Tenreiro, Rosa María	Catedrática de Universidad	AC
Eiroa de San Francisco, Carlos	Profesor Titular de Universidad	AC
Egido de los Ríos, Luis	Catedrático de Universidad	FN
Fernández de Trocóniz Acha, Jorge	Profesor Titular de Universidad	FEP
Glasman, Claudia	Profesora Titular de Universidad	FEP
Knebe, Alexander	Contratado Doctor	AC
Labarga Echeverría, Luis A.	Profesor Titular de Universidad	FEP
Meeus, Gwendolyn	Contratado Ramón y Cajal	AC
Parga Carballeira, Néstor	Catedrático de Universidad	NC
Robledo Martín, Luis	Profesor Titular de Universidad	FN
Rodríguez Frutos, Tomás	Contratado Ramón y Cajal	FN
Sánchez-Blázquez, Patricia	Contratada Doctor	AC
Terrón Cuadrado, Juan	Profesor Titular de Universidad	FEP
Sánchez Gómez, José Luis	Catedrático de Universidad, Emérito	FF
Sánchez Ron, José Manuel	Catedrático de Universidad	HC
Villaver Sobrino, Eva	Contratada Doctor	AC
Yepes Alonso, Gustavo	Profesor Titular de Universidad	AC

Anexo III: Criterios de Calidad

Los criterios de calidad que se especifican a continuación corresponden a los últimos 10 años.

III. 1 Astrofísica y Cosmología

Dirección / coordinación de proyectos de investigación destacados

Proyectos Nacionales:

AYA 2013-47742-C4-3-P (IP A.I. Díaz/Y. Ascasibar), AYA 2016-79724-C4-1-P (IP A.I. Díaz/Y. Ascasibar), PPP-Spain-5705080 (IP Y. Ascasibar),
AYA 2003-0746 (IP R. Domínguez), AYA2009-12792-C03-03 (IP R. Domínguez),
AYA2009-08621_E (IP R. Domínguez), AYA2009-06927-E (IP R. Domínguez),
FP7-239302 (IP R. Domínguez), AYA2014-55840-P (IP G. Meeus/ E. Villaver),
FP7-PEOPLE-2010-RG (IP E. Villaver), AYA 2013-45347-P (IP E. Villaver),
FY05.1 D0001.82355 (IP E. Villaver), AYA2010-20630 (IP E. Villaver),
AYA2012-31101 (IP G. Yepes), CSD2007-0050 (IP UAM G. Yepes),
FPA 2006-01105 (IP G. Yepes), AYA2009-13875-C03-02 (IP G. Yepes),
S2009/ESP-146 (IP G. Yepes), AYA 2015-63810-P (IP G. Yepes)

Proyectos Europeos:

PIRSES-GA-2013-612701 (IP A.I. Díaz), RISE 2016 734374 (IP UAM R. Domínguez), Astrosim (IP UAM G. Yepes),

Además proyectos financiados por agencias científicas de Alemania: KN755/1 y KN755/2 (PI A. Knebe); UK (IP P. Sánchez); y Australia DP130100117 y DP140100198 (IP UAM A. Knebe)

Miembros de comisiones, Comités evaluadores, otros cargos destacados

Presidente del PRACE Users Forum (G. Yepes), Coordinador de área (Astro y Tierra) en el Comité de Acceso a las infraestructuras de la Red Española de Supercomputación (G. Yepes), Miembro del Steering Committee of the European Science Foundation Program on Computational Astrophysics (G. Yepes).

Miembro del Comité de asignación de tiempo en el Hubble Space Telescope (HST) (NASA) (E. Villaver), Miembro del comité STScI RSAC/Director Discretionary Research Funding (E. Villaver); Miembro del comité STScI Science Personnel Committee (E. Villaver); Miembro evaluador del panel HST ACS science feasibility review (E. Villaver), Asesora del European Southern Observatory (E. Villaver).

Miembro de Comité de asignación tiempos de telescopio español (P. Sánchez-Blázquez), idem id del European Southern Observatory (P. Sánchez-Blázquez), Panel de selección de proyectos ASDAP de la NASA (P. Sánchez-Blázquez).

Miembro de Comités de asignación de tiempos de ESO y SUBARU (G. Meeus).

Referee para Deutsche Forschungsgemeinschaft (German Research Council, Germany) (A. Knebe), Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica (Argentina) (A. Knebe), Science Committee of the “Cosmological Simulations Working Group for Euclid” (A. Knebe), evaluador de Red Española de Supercomputación (Spain) (A. Knebe), SHARCNET HPC Consortium (Canada) (A. Knebe); DIRAC Resource Allocation Committee (UK) (A. Knebe).

Vocal de la Comisión Nacional de Astronomía (R. Domínguez), Miembro del Jurado que otorgó el Premio Nacional de Investigación Científica “Blas Cabrera” (Ciencias Físicas, de los Materiales y de la Tierra), 2005 y 2009 (R. Domínguez).

Vocal de la Comisión Nacional de Astronomía (A. I. Díaz), Comité evaluador de los planes estratégicos de las instalaciones científicas y técnicas singulares (Presidenta) (A. I. Díaz); ASTRONET European Telescopes Strategy Review Committee, 2009-10 (European Union) (A. I. Díaz).

Experto/ Evaluador de propuestas EU: FP7-PEOPLE-IXF y H2020 MSCA-IF (Y. Ascasibar).

Capacidad de atracción de talento

INVESTIGADORES RAMÓN Y CAJAL

- Yago Ascasibar
- Chris Brook
- Alexander Knebe
- Gwen Meeus
- Patricia Sanchez-Blazquez
- Aurora Sicilia
- Eva Villaver
- Noam Libeskind

INVESTIGADORES POSDOCTORALES

- Daniel Miralles
- Carlos Hoyos
- Enrica Bellocchi
- Tobias Goerdts
- Cesar A. Gonzalez
- Chris Brook
- Alexander Mustill
- Héctor Cánovas
- Antonio Garufi
- Daniel Ceverino
- Stefen Knollman
- Johan Comparat
- Veronica Biffi
- Claudia Scoccola

Publicaciones

385 publicaciones con un total de 6827 citas acumuladas. (fuente: Scopus)

Premios

Premio del Director del Space Telescope Science Institute (E. Villaver)

Premio Livesedey a investigador joven destacado de la Univ. de Central Lancashire UK (P. Sánchez-Blázquez)

Formación de personal

El grupo tiene una gran implicación en la formación. Así, es responsable del Programa de Doctorado en Astrofísica de la UAM, que ha ganado todas las Menciones de Excelencia convocadas por parte del Ministerio, así como la Mención del Campus de Excelencia UAM-CSIC.

Los destinos posteriores de los doctores formados por miembros del grupo incluyen puestos postdoctorales en universidades y centros de investigación de prestigio internacional como Max Plank, Universidad de la Plata (Argentina) y el Instituto de Astrofísica de Andalucía entre otros. Otros destinos en la empresa privada incluyen Madiva S.L., Next Limit S.A., Dassault Systems, BBVA y Editorial Santillana. Queremos señalar la versatilidad multifuncionalidad de la formación recibida y su función social.

Transferencia

Coordinación por la UAM de la solicitud de una red europea (LUCID-EXCHANGE) para la educación doctoral en supercomputación y su transferencia empresarial, que ha acudido a la última convocatoria MSCA-ITN-ETN (H2020), obteniendo un 88/100 en la primera solicitud. Se presentará de nuevo a la recientemente convocada.

Formación de personal para la Industria puntera en Supercomputación y gestión de Big data.

Divulgación

El campo es particularmente propicio para interesar al gran público, pero por el momento se trata de esfuerzos individuales. Destacamos algunos: E. Villaver: Documental de la serie “New Horizons” de la BBC, artículos para audiencia general en USA, como el National Geographic, New Scientist, NASA, NASA TV; R. Domínguez: coautora del libro “Claroscuro del Universo”, coordinador M. Moles, artículo en DEISA DIGEST (EU-HCP); Y. Ascasíbar: Traducción de artículos científicos para la edición española del “Scientific American” (> 20).

Colaboraciones nacionales e internacionales

1. Miembros del grupo tienen colaboraciones con los siguientes centros, reconocidos internacionalmente:

- o Max Plank Institut für Astronomie, Heidelberg, Alemania
- o Leibniz Institut für Astrophysik AIP, Potsdam, Alemania
- o Astrophysikalisches Institut und Universitat- Sternwarte, Jena, Alemania
- o Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Theoretische
- o Physik und Astrophysik, Kiel, Alemania
- o Observatorio de París, Francia
- o Université Joseph Fourier/CNRS, Laboratoire d’Astrophysique de Grenoble, Francia
- o University of Nottingham, Reino Unido

- University of Sussex, Brighton, Reino Unido
- Centre for Astrophysics, University of Central Lancashire, Preston, UK
- Institute of Astronomy, Cambridge University, Reino Unido
- Università di Roma “La Sapienza”, Roma, Italia
- Osservatorio Astronomico di Trieste, CNR, Italia
- Kapteyn Astronomical Institute, Groningen, The Netherlands
- Onsala Space Observatory, Chalmers University of Technology, Sweden
- European Space Astronomy Centre, ESAC (ESA-European Space Agency)
- Universidad Nacional de la Plata, UNLP Argentina
- Instituto Astronómico de Córdoba, Argentina,
- University of Sydney, Australia
- International Centre for Radio Astronomy Research, Perth, Australia
- Hebrew University of Jerusalem, Israel
- Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), Puebla, México
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- NASA Goddard Space Flight Center, Exoplanets and Stellar Astrophysics

2. Miembros de los siguientes proyectos científicos:

- AstroMadrid, <http://www.astromadrid.es>
- CALIFA Survey, <http://califa.caha.es>
- CanariCam, <http://www.gtc.iac.es/instruments/canaricam>
- Constrained Local Universe Simulations, <http://www.clues-project.org>
- CosmoSim Database, <http://www.cosmosim.org>
- DIGIT, <http://peggysue.as.utexas.edu/DIGIT>
- Euclid Satellite Mission, <http://sci.esa.int/euclid>
- GASPS, <http://www.laeff.cab.inta-csic.es/projects/herschel/main/index.php>
- GRASIL-3D, <http://150.244.221.188/astrosoftware>
- Juropa Hubble Volume Simulation Project, <http://jubilee.ft.uam.es>
- MaGICC, <http://www.star.uclan.ac.uk/~cbb/magicc.html>
- Mocking Astrophysics, <http://www.mockingastrophysics.org>
- MultiDark Simulations of Galaxy Clusters (MUSIC), <http://music.ft.uam.es>
- Survey Simulation Pipeline, <http://www.ssimpl.org>

III. 2 Física Experimental de Partículas

Dirección / coordinación de proyectos de investigación destacados

Proyectos Nacionales:

Experimento ATLAS

FPA2010-21919-C03-03 (IP J. del Peso), FPA2013-47424-C3-2-R (IP J. del Peso), FPA2005-07688-C03-03 (IP J. del Peso), FPA2007-66708-C03-03 (IP J. del Peso), FPA2010-21919-C03-03 (IP J. del Peso), FPA2005-03010 (IP F. Barreiro), FPA2008-00601 (IP F. Barreiro), FPA2011-26774 (IP J. Terron), FPA2015-69930-R (IP J. Terron)

Experimento CMS

FPA2011-29237-C02-02 (IP J.F. Troconiz), FPA2014-53938-C3-3-R (IP J.F. Troconiz)

Experimento SuperK

FPA2009-13697-C04-02 (IP L. Labarga)

Proyectos Europeos sobre neutrinos:

FP7-212343-LAGUNA (IP L. Labarga), FP7-284518-LAGUNA-LBNO (IP L. Labarga), H2020 MSCA-RISE-2014 641540-SKPLUS (IP L. Labarga, Coordinador europeo)

Miembros de comisiones, Comités evaluadores, otros cargos destacados

Coordinador grupo de Física de Jets y Fotones del experimento ATLAS (LHC)

Coordinador del grupo "Data Quality Monitoring" para Jets y Et missing del experimento ATLAS (LHC)

Coordinador de la toma de datos con el Calorímetro de Argón Líquido del experimento ATLAS (LHC)

Representante español en el International Computing Board del experimento ATLAS (LHC)

"Project Leader" del sistema de trigger de muones DTTF en CMS (LHC)

Representante español en el International Board of Representatives de la proto-Colaboración Hyper-Kamiokande (L. Labarga).

Capacidad de atracción de talento

INVESTIGADORES RAMÓN Y CAJAL

- Juan Pablo Fernández Ramos
- Mara Sengui Soares
- Enrico Tassi

INVESTIGADORES POSDOCTORALES

- Conseguidos 7 puestos postdocs

Publicaciones

1176 publicaciones con un total de 115399 citas, habiendo 23 publicaciones con más de 500 citas cada una. (fuente: InSPIRE-HEP) Hay dos publicaciones de máxima relevancia, con más de 6000 citas cada una que se refieren al descubrimiento de la partícula de Higgs en los experimentos ATLAS y CMS del LHC que se especifican a continuación.

- Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC. Phys.Lett. B716 (2012) 1-29
- Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC. Phys.Lett. B716 (2012) 30-61

Premios

Premio de la Sociedad Europea de Física 2013 como miembros de la colaboración ATLAS por el descubrimiento del bosón de Higgs

Premio de la Sociedad Europea de Física 2013 como miembros de la colaboración CMS por el descubrimiento del bosón de Higgs

Formación de personal

Tesis doctorales presentadas: 10

Tesis doctorales en curso: 4

Tesis de Máster presentadas: 7

Formación práctica de Ingenieros:

- en tecnologías GRID para tratamiento de datos: 7

- en sistemas distribuidos de control y monitorización en tiempo real (online) de sistemas electrónicos complejos: 2

Los miembros del grupo imparten clase en el Máster de Física Teórica

Transferencia tecnológica

El grupo ha contribuido a la construcción de diversas partes de los detectores en las Colaboraciones en las que participa.

Durante este proceso se ha colaborado estrechamente con la industria, habiendo retorno para la sociedad.

En la parte de tecnologías GRID para el proceso de grandes cantidades de datos, ha habido retorno a la sociedad de la información, por ejemplo la creación de "clouds" para almacenamiento y proceso de datos. Por otra parte, el grupo ha contribuido en subproyectos más pequeños que han dado retorno específico a la sociedad. Por ejemplo, el desarrollo de una herramienta para la instalación y configuración automática de centros de proceso de datos, que han usado empresas de distinto ámbito entre otras como Morgan Stanley, en el sector financiero, o una cadena de supermercados.

Divulgación

Entrevistas en los medios sobre el programa de Física del LHC, como por ejemplo el descubrimiento de la partícula de Higgs, y sobre los trabajos en el experimento Super-Kamiokande Premio Nobel 2015 a T. Kajita (Super-Kamiokande, Univ. Tokio, Japón) & McDonald (SNOC, Queen's University, Canadá)

Colaboraciones nacionales e internacionales

Miembros de las siguientes colaboraciones experimentales:

- ATLAS en el LHC (CERN, Suiza)
- CMS en el LHC (CERN, Suiza)
- Super-Kamiokande (Observatorio Subterráneo de Kamioka, Japón)
- experimento NEXT (Laboratorio Subterráneo de Canfranc, España)
- ZEUS en HERA (DESY, Alemania)

III. 3 Física Nuclear Teórica

Dirección / coordinación de proyectos de investigación

FIS2014-253434-P (IP T.R. Rodríguez), FPA2014-57196-C5-2-P (IP J.L. Egido), FPA2011-29854-C04-04 (IP J.L. Egido), FPA2007-66069 (IP J.L. Egido), FIS2004-06697 (IP J.L. Egido), Consolider-Ingenio 2010 MULTIDARK CSD2009-00064, Consolider-Ingenio 2010 CPAN CSD2007-00042.

Capacidad de atracción de talento

INVESTIGADORES RAMÓN Y CAJAL

- Andrea Jungclaus (2003-2007)
- Tomás Raúl Rodríguez Frutos (2014-2018).

INVESTIGADORES POSDOCTORALES

- Nicolas Schunck (2005-2007).
- Fang-Qi Chen (2014-2016).
- Rémi Bernard (2016).

Publicaciones

130 artículos con 1920 citas acumuladas, de entre los cuales hay 1 Nature y 11 Physical Review Letters (fuente: Thomson-Reuters Web Of Science).

Formación de personal

Tesis doctorales presentadas: 6

Tesis doctorales en curso: 3

Los miembros del grupo imparten clase en el Máster Interuniversitario de Física Nuclear

Divulgación

- Participación en el Programa 4º ESO+Empresa (T. R. Rodríguez).
- Cursos de formación continua: "Radiaciones ionizantes" (L. M. Robledo).

Colaboraciones nacionales e internacionales

- Colaboración estable con los siguientes institutos:
- Instituto de Estructura de la Materia-CSIC (Madrid, España).
- Universidad de Barcelona (Barcelona, España).
- Institute for Nuclear Theory (Seattle, EEUU).
- Institut de Physique Nucléaire-Orsay (Orsay, Francia).
- Technische Universität Darmstadt (Darmstadt, Alemania).
- Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung-GSI (Darmstadt, Alemania).
- University of North Carolina (Chapel Hill, EEUU).
- Laboratori Nazionali di Legnaro-INFN (Padova, Italia).
- CEA-Saclay (Saclay, Francia).
- Università degli studi di Catania (Catania, Italia).
- University of Liverpool (Liverpool, Reino Unido).
- Lawrence Livermore National Laboratory (Livermore, EEUU).

IV. 4 Fundamentación de la mecánica cuántica y teoría de la información cuántica

José L. Sánchez Gómez, catedrático emérito de Física Teórica, que hasta los primeros años de la década de 1990 trabajó en teoría de partículas elementales, lo hace desde entonces el campo arriba mencionado.

Desde 1993 se han presentado cuatro tesis doctorales dentro de esta línea de investigación. En los últimos diez años los miembros del grupo de trabajo dirigido por JLSG han publicado 16 artículos de investigación en revistas internacionales de gran difusión (Physical Review A, Physical Review Letters, Physics Letters A, Foundations of Physics, European Physical Journal, etc.) y cinco artículos de (alta) divulgación científica, tres de ellos en la Revista Española de Física y dos en la Revista Iberoamericana de Física, así como un libro de divulgación: “La realidad cuántica”, de A. Cassinello y J.L Sánchez Gómez (Ed. Crítica, Barcelona, 2013; 3ª edición 2015). Desde hace cuatro años el grupo de trabajo en esta línea de investigación lo forman, además de JLSG, Miguel Ferrero (catedrático de Física Teórica, Univ. Oviedo), Víctor Gómez Pin (Catedrático emérito de Filosofía de la Univ. Autónoma de Barcelona). y Andrés Cassinello, catedrático de Matemáticas del IES Emilio Castelar (Madrid); anteriormente -hasta 2010- había participado también David Salgado, en la actualidad en el Instituto Nacional de Estadística

Ciñéndonos a los últimos diez años, JLSG fue director del proyecto de investigación “Información Cuántica: fundamentos, Conceptos y Decoherencia (2004-2007), FIS2004-01576, financiado por MEC DG Investigación. Asimismo ha colaborado en los proyectos “Información Cuántica: Fundamentos Conceptuales y Matemáticos”, FIS2008-00288, dirigido por Miguel A. Ferrero, y financiado por el MICINN DG. Investigación; y “Fundamentos de la Física Cuántica. Implicaciones filosóficas y aspectos matemáticos de la Teoría Cuántica”, dirigido Por M.A. Ferrero y financiado por el Gobierno del Principado de Asturias (2013-14).

Anexo IV: Principales líneas de investigación

A continuación se describen brevemente las líneas de investigación que se están desarrollando, junto con los investigadores responsables y bibliografía reciente y significativa.

IV. 1 Astrofísica y Cosmología

Simulación Numérica de la Formación de Estructuras en el Universo (Gustavo Yepes Alonso)

El objetivo principal de esta línea de investigación es el estudio de la formación y evolución de distintas estructuras cósmicas en el Universo mediante la realización y análisis de simulaciones numéricas en la frontera de lo técnicamente posible dados los medios de supercomputación accesibles en España (BSC), Europa (PRACE) y EE.UU. (TITAN). Las simulaciones numéricas se pueden considerar como el único "experimento" posible para verificar las teorías sobre el origen y evolución del Universo. El campo de la Cosmología Computacional ha experimentado un enorme progreso en los últimos 40 años. A pesar de que el mayor esfuerzo se ha hecho en la dirección del modelado correcto de las fuerzas gravitatorias de largo alcance, es también importante tener en cuenta los procesos físicos asociados a la componente de la materia visible ya que las observaciones principalmente nos dan información de los objetos que emiten luz. Los proyectos en los que estamos colaborando se pueden dividir en 3 líneas principales de investigación:

Simulaciones gravitacionales de gran volumen para estudiar la estructura a gran escala en el universo y su comparación con los distintos cartografiados galácticos que ya existen o que se planean en el futuro (BOSS, eBOSS, DESI; JPAS, Euclid). Un ejemplo del trabajo realizado en esta línea de investigación son los proyectos **JUBILEE** (<http://www.jubilee-project.org>) y **Multidark** (<http://www.cosmosim.org>), de los que formamos parte.

Proyecto **MUSIC** (<http://music.ft.uam.es>): Simulaciones hidrodinámicas de formación de cúmulos de galaxias. Creación de una base de datos para comparar con diferentes observables de estos sistemas.

Proyecto **CLUES** (<http://www.clues-project.org>). Formación de nuestro Universo Local. Estudiar la formación de nuestro grupo Local de galaxias (Via Lactea, Andromeda y sus satélites) dentro de un volumen de Universo que incluye las estructuras recientemente descubiertas como el Supercúmulo Laniakea o *el Local Void*, a partir de simulaciones que reproducen las estructuras observadas en nuestro entorno al utilizar ligaduras observaciones (constrained simulations) de datos del proyecto *CosmicFlows*.

Los resultados numéricos de todas estas simulaciones son incorporados dentro de nuestro esquema de bases de datos públicas que constituyen el "Laboratorio Virtual del Universo de la UAM".

Publicaciones selectas:

- Klypin A., Yepes G., et.al., (2016), *MultiDark simulations: the story of dark matter halo concentrations and density profiles*, MNRAS, 457, 4340-4359
- Watson W. A., et.al., (2014), *Statistics of extreme objects in the Juropa Hubble Volume simulation* MNRAS, 437, 3776-3786
- Sembolini F., et.al., (2013), *The MUSIC of galaxy clusters - I. Baryon properties and scaling relations of the thermal Sunyaev-Zel'dovich effect*, MNRAS, 429, 323-343

Mocking Astrophysics (Alexander Knebe)

En la era de la Cosmología de Precisión con la Estructura a Gran Escala, necesitamos las herramientas de simulación adecuadas para analizar los datos: la modelización de la formación de estructuras en el Universo por medio de simulaciones numéricas se puede considerar como el único "experimento" posible para verificar las teorías sobre el origen y evolución del Universo. Por eso no solo contribuimos al campo por hacer disponible a la comunidad nuestras simulaciones propias de la estructura del Universo (<http://www.cosmosim.org>) pero también verificamos las herramientas usadas por investigadores en este campo. Hemos formado el programa "Mocking Astrophysics" (<http://www.mockingastrophysics.org>) que reúne todos los científicos trabajando en simulaciones y su análisis. Que cada grupo en el campo usa sus propios códigos para realizar las simulaciones y su análisis es muy importante garantizar que se puede confiar en los resultados. Por eso no solo compartimos resultados obtenidos con "experimentos controlados" pero también avanzamos juntos desarrollando nuevas técnicas. Abajo damos algunos de los artículos saliendo de la colaboración internacional. Nota que por su peculiaridad de la colaboración siempre figuran muchos autores por artículo.

Publicaciones selectas:

- Knebe et al. (+37 co-autores) (2015) *nIFTy cosmology: comparison of galaxy formation models* MNRAS, 451, 4029
- Knebe et al. (+34 co-autores) (2013) *Structure finding in cosmological simulations: the state of affairs*, MNRAS, 435, 1618
- Knebe et al. (+36 co-autores) (2011), *Halo-finder MAD: The Halo-Finder Comparison Project*, MNRAS, 415, 2293

Formación de Galaxias en un Contexto Cosmológico (Rosa Domínguez-Tenreiro)

El objetivo es descubrir los procesos físicos subyacentes en el ensamblaje de las galaxias, en particular en un entorno de estructura a gran escala (es decir, la red cósmica). La metodología utilizada son las simulaciones hidrodinámicas en un contexto cosmológico, y para falsear nuestros resultados utilizamos comparaciones con datos observacionales de última generación. Necesitamos desarrollar nuestros propios códigos, ya que en ocasiones las especificaciones requeridas no se encuentran disponibles en el mercado o en el mundo académico. Ejemplos:

P-DEVA, para resolver las ecuaciones de la hidrodinámica que describen la evolución de fluidos cósmicos, a partir de condiciones iniciales provistas por las observaciones cosmológicas de última generación. Incluye el algoritmo de evolución química más elaborado en el mercado.

La comparación con datos observacionales de los resultados de las simulaciones requieren un tratamiento elaborado de los efectos del polvo cósmico sobre las emisiones de las estrellas que forman las galaxias. Este es el objetivo del código *GRASIL-3D*, que calcula la distribución espectral

de energía de las galaxias simuladas, incorporando como innovación una modelización diferente para el polvo en nubes moleculares y en gas interestelar difuso.

IRHYS + es un visualizador interactivo capaz de gestionar un número elevado de datos virtuales sobre las galaxias simuladas. Ayuda a descubrir, de forma rápida y precisa, patrones físicos complejos en las galaxias simuladas y sus entornos. Estos tres códigos, además de su utilidad para avanzar en el conocimiento de los procesos físicos subyacentes en la formación y evolución de las galaxias, usan técnicas genéricas, y tienen una aplicabilidad general en diferentes campos y en la industria. Además, utilizamos otros códigos y simulaciones (*MUPPI*, *GASOLINE*, *proyecto CLUES*).

Publicaciones selectas:

- Martínez-Serrano, F.J.; Serna, A.; Domínguez-Tenreiro, R.; Mollá, M. (2008), *Chemical evolution of galaxies - I. A composition-dependent SPH model for chemical evolution and cooling*, MNRAS, 388, 39
- Obreja, A.; Domínguez-Tenreiro, R.; Brook, C.B.; Martínez-Serrano, F.J.; Doménech-Moral, M.; Serna, A.; Mollá, M.; Stinson, G.(2013), *A Two-phase Scenario for Bulge Assembly in Λ CDM Cosmologies* ApJ, 763, 260.
- Domínguez-Tenreiro, R., Obreja, A.; Granato, G.L; Schurer, A.; Alpresa, P.; Silva, L.; Brook, C.B.; Serna, A. (2014), *GRASIL-3D: an implementation of dust effects in the SEDs of simulated galaxies* MNRAS, 439, 3868

Astrofísica extragaláctica observacional (Ángeles I. Díaz, Yago Ascasibar)

Esta línea de investigación se centra en la comprensión de los mecanismos físicos que regulan la formación estelar y la evolución química de las galaxias, comparando las predicciones teóricas (modelos analíticos, semi-analíticos y numéricos) con observaciones a distintas longitudes de onda, que ofrecen información sobre los procesos que tienen lugar a diferentes energías.

Más concretamente, el proyecto de investigación "Estallidos" tiene como meta el estudio sistemático de la regiones de formación estelar en el universo local, con objeto de entender el funcionamiento de las galaxias más lejanas y de los brotes de formación más extremos. En particular, el equipo de la UAM está especializado en la interacción

entre la formación de estrellas masivas y el medio interestelar, con especial énfasis en la evolución química de las galaxias. Desde un punto de vista más técnico, la obtención de grandes cantidades de datos mediante espectroscopía de campo integral ha supuesto una auténtica revolución en el campo, y una buena parte del trabajo realizado en esta línea de investigación va dirigido al desarrollo, calibración y optimización de nuevas metodologías de análisis e interpretación de este tipo de datos. La UAM es el nodo coordinador de la colaboración "Study of Emission-Line Galaxies with Integral-Field Spectroscopy" (<http://astro.ft.uam.es/SELGIFS>), que constituye un referente internacional en este ámbito, y ha jugado un papel destacado dentro del muestreo CALIFA (<http://www.caha.es/CALIFA>).

Publicaciones selectas:

- Rosales-Ortega, F. F.; Díaz, A. I.; Kennicutt, R. C.; Sánchez, S. F.; (2011) *PPAK wide-field Integral Field Spectroscopy of NGC 628 - II. Emission line abundance analysis*, MNRAS, 415, 2439

- Husemann, B. et al. (76 coauthors); (2013), *CALIFA, the Calar Alto Legacy Integral Field Area survey. II. First public data release*, A&A 549, A87
- Ascasibar, Y.; Gavilán, M.; Pinto, N.; Casado, J.; Rosales-Ortega, F.; Díaz, A. I., (2015) *Understanding chemical evolution in resolved galaxies - I. The local star fraction-metallicity relation*, MNRAS, 448, 2126

Stellar Populations in nearby galaxies (Patricia Sanchez Blazquez)

El objetivo general de esta línea de investigación es entender la historia evolutiva y el proceso de formación de las galaxias a través del estudio de sus poblaciones estelares (básicamente las edades y composición química de sus estrellas) no resueltas, de su cinemática y de su morfología.

El campo de investigación dedicado al estudio de las poblaciones estelares ha experimentado una gran revolución en los últimos años, con el desarrollo de nuevos modelos de síntesis de poblaciones, mucho más flexibles y con mayor capacidad predictiva. Nuestro grupo está involucrado en la construcción de estos modelos, así como en la mejora de uno de sus ingredientes, las librerías estelares. Junto con la mejora de los modelos, se han desarrollado también los algoritmos para obtener, a partir de un espectro integrado la mayor cantidad de información posible. Nuestro grupo está involucrado en el desarrollo de modelos Bayesianos para la inferencia de historias de formación estelar y enriquecimiento químico. Con el desarrollo de los espectrógrafos de dos dimensiones, ahora podemos hacer este análisis en las diferentes partes que componen una galaxia, lo que resulta muy ventajoso para separar fenómenos locales y globales, propiciando además, que podamos estudiar las diferentes estructuras de las galaxias y aislarlas en términos de su cinemática y sus poblaciones estelares.

En los últimos años hemos estado centrados en el estudio de las galaxias de disco, como la nuestra. Se piensa que estas galaxias se forman en dos etapas: la primera en la que su evolución está dominada por interacciones y la segunda en la cual evoluciona por procesos internos, debido a la creación de estructuras como las barras y los brazos espirales. Sin embargo, la importancia de cada uno de estos procesos no está cuantificada

En el grupo trabajamos dentro de varias colaboraciones internacionales para el estudio de la evolución secular de las galaxias. En particular, destacamos BALROG, TIMER y CALIFA. Esto nos está permitiendo obtener resultados observacionales cruciales que contradicen creencias previas sobre la evolución secular.

Así mismo, el grupo está involucrado en las exploraciones de gran campo con filtros fotométricos estrechos JPAS and SHARDS para complementar estos estudios con estudios de evolución de galaxias a altos desplazamientos al rojo.

Por último, y para ayudarnos en la interpretación de las observaciones, el grupo complementa su actividad con el estudio de las propiedades de galaxias obtenidas en simulaciones químico-dinámicas (cosmológicas y no cosmológicas).

Los proyectos en las que esta investigadora colabora se pueden dividir en tres:

(1) Obtención de historias de formación estelar y enriquecimiento químico en galaxias cercanas:

- Sánchez-Blázquez, P.; Rosales-Ortega, F. F.; Méndez-Abreu, J. et al., (2014), *Stellar population gradients in galaxy discs from the CALIFA survey. The influence of bars*, A&A, 570, 6

(2) Modelos de poblaciones estelares y sus ingredientes:

- Vazdekis, A.; Sánchez-Blázquez, P.; Falcón-Barroso, J.; Cenarro, A. J.; Beasley, M. A.; Cardiel, N.; Gorgas, J.; Peletier, R. F., (2010), *Evolutionary stellar population synthesis with MILES - I. The base models and a new line index system*, MNRAS, 404, 1639

(3) Simulaciones numéricas:

- Sánchez-Blázquez, P.; Courty, S.; Gibson, B. K.; Brook, C. B., 2009, MNRAS, (2009), *The origin of the light distribution in spiral galaxies*, 398, 591

Planetas y Evolución Estelar (Eva Villaver)

A partir del momento en el que estrellas entre 1-8 Msun abandonan la secuencia principal se producen cambios en su estructura capaces de afectar la supervivencia de planetas en la fase de Gigante Roja y durante la rama Asintótica de Gigantes desestabiliza sistemas planetarios múltiples y pueden generar cambios sustanciales en la estrella. La estrella forma estructuras complejas al perder masa mientras se mueve a través del medio interestelar como resultado del campo gravitatorio galáctico, procesa elementos químicos que sometidos a fuertes campos de radiación y choques dan lugar a la formación de especies moleculares complejas como fulerenos o grafeno, permite estudios de formación de polvo en Nebulosas Planetarias, el estudio del efecto de la evolución estelar en la evolución química de galaxias y estudios de enanas blancas en diferentes entornos de metalicidad. Hemos publicado trabajos en cada uno de los aspectos antes mencionados además hemos analizado la huella química en estrellas de secuencia principal y gigantes debida a la presencia de discos de escombros y planetas. Hemos descubierto planetas orbitando estrellas gigantes rojas y también somos responsables de los primeros modelos con rotación de estrellas en este rango de masas.

Publicaciones selectas:

- Niedzielski, A.; Villaver, E.; Nowak, G.; Adamów, M.; Maciejewski, G.; Kowalik, K.; Wolszczan, A.; Deka-Szymankiewicz, B.; Adamczyk, M., (2016), *Tracking Advanced Planetary Systems (TAPAS) with HARPS-N. IV. TYC 3667-1280-1: The most massive red giant star hosting a warm Jupiter*, A&A, 589, 1
- Villaver, Eva; Livio, Mario; Mustill, Alexander J.; Siess, Lionel, (2014), *Hot Jupiters and Cool Stars*, ApJ, 794, 3
- Villaver, Eva; Manchado, Arturo; García-Segura, Guillermo, (2012), *The Interaction of Asymptotic Giant Branch Stars with the Interstellar Medium*, ApJ, 948,94

Discos protoplanetarios y planetarios (Gwendolyn Meeus)

La formación de discos circunestelares transcurre paralela a la formación de estrellas debido a la conservación del momento angular. La evolución de estos discos y los procesos físicos que en ellos

ocurren llevan a la formación de planetas, cometas, asteroides y otros cuerpos sólidos antes de la disipación del gas y el polvo que contienen. Posteriormente, una vez formados los planetas y otros cuerpos, colisiones entre dichos cuerpos sólidos dan lugar a la formación de los llamados discos de escombros, análogos al cinturón de Kuiper a la luz zodiacal en el sistema solar. El estudio de la evolución de los discos circumstelares protoplanetarios a los discos de escombros son claves para conocer cómo se forman planetas tipo Tierra y el surgimiento de la actividad biológica.

Publicaciones selectas:

- Meeus, Gwendolyn; Salyk, Colette; Bruderer, Simon, et al. (2013), DIGIT survey of far-infrared lines from protoplanetary discs. II. CO, A&A 559A, 84M
- Meeus, G.; Pinte, C.; Woitke, P.; Montesinos, B., (2010) Gas in the protoplanetary disc of HD 169142: Herschel's view, A&A 518, L124
- Meeus, G.; Montesinos, B.; Mendigutía, I.; Kamp, I.; Thi, W. F.; Eiroa, C, et al., (2012), *Observations of Herbig Ae/Be stars with Herschel/PACS. The atomic and molecular contents of their protoplanetary disks*, A&A 544A,78M

IV. 2 Física Experimental de Partículas

Nuestra experiencia previa en la física de colisionadores se remonta a la década de los 1970s con la participación en los experimentos PLUTO y TASSO del colisionador electrón-positrón PETRA. A partir de entonces los miembros del grupo han participado en los experimentos UA1 del colisionador protón-protón SPS, MarkII del acelerador lineal e+e- SLC, ZEUS del colisionador electrón-protón HERA, CDF del colisionador protón-antiprotón Tevatrón y recientemente en los experimentos ATLAS y CMS del colisionador protón-protón LHC. A lo largo de todo este período los miembros del grupo han contribuido notablemente a los experimentos tanto en hardware como en software y análisis de datos, dando lugar a multitud de resultados importantes en Física de Partículas Elementales. De entre estos resultados podemos destacar cuatro de los descubrimientos más relevantes en la historia de la Física:

1. El descubrimiento del gluón (Physics Letters B86 (1979) 418)
2. Evidencia experimental de que el número de neutrinos es tres (Physical Review Letters vol 63, núm. 20 (1989) 2173)
3. Descubrimiento del quark top en CDF (Physical Review Letters 74 (1995) 2626)
4. Descubrimiento de la partícula de Higgs en ATLAS y CMS (Physics Letters B716 (2012) 1; Physics Letters B716 (2012) 30)

Experimento ATLAS (F. Barreiro , J. del Peso, J. Terrón, C. Glasman)

El Dpto. de Física Teórica de la UAM participa en el experimento ATLAS del CERN desde la década de los 90. Hay un programa muy amplio en temas de Física que pueden investigarse en este experimento. De entre ellos, los miembros del grupo han estado involucrados en el descubrimiento de la partícula de Higgs, la determinación de la constante de acoplo de la fuerza fuerte, medida de propiedades de la interacción fuerte y estudio de propiedades del quark top. De la enorme cantidad de datos inicial se seleccionan los de interés para un tema de Física concreto y mediante un procedimiento de estadística avanzada se llega a conclusiones o resultados.

A parte de los estudios de Física cada grupo debe contribuir a una o varias partes del experimento en cuanto a su construcción, desarrollo de software y operación. El grupo de la UAM ha construido una de las ruedas de la zona EndCap del Calorímetro Electromagnético de ATLAS. Esta rueda de dos metros de radio, 30 toneladas de peso y segmentada en 31000 celdillas independientes, se utiliza para la medida precisa de la energía y dirección de electrones y fotones. Constituye una pieza fundamental para la Física del experimento. Se tardó una década desde su diseño, pasando por la construcción y testeo, hasta su ensamblaje final en el detector ATLAS. Este calorímetro es una de las piezas más precisas y complejas que se hayan construido nunca en Física de Partículas Elementales. Desde la puesta en funcionamiento del LHC (2009) el grupo ha tenido la responsabilidad de mantener y operar este calorímetro de ATLAS.

Otra contribución al experimento ATLAS ha sido la construcción de un centro de proceso de datos en la UAM. Este centro es parte de una red de un centenar de centros que operan de manera coordinada para procesar la ingente cantidad de datos del experimento. Sin esta red sería imposible realizar el programa de Física de ATLAS. En todos estos centros se utiliza la tecnología GRID para crear la ilusión de tener una única máquina (virtual) con recursos casi infinitos. En esta máquina virtual el experimento almacena datos del detector, realiza simulaciones con modelos teóricos y los físicos de la Colaboración mandan sus trabajos de análisis de datos. El centro de la UAM se ha erigido como uno de los centros de mayor fiabilidad, con un tiempo de fallo mensual menor del 2%, por lo que es parte del llamado Core de centros de ATLAS y almacena datos críticos bien del detector o resultado de simulaciones. El centro tiene un funcionamiento continuo: las 24 horas del día, todos los días del año. El grupo realiza un gran esfuerzo para mantener y operar el centro guardando una fiabilidad mayor del 98%, lo que implica menos de 14 horas al mes en condición de error. El grupo también realiza desarrollos de software tanto genéricos para operar centros de proceso de datos como específicos para el computing del experimento ATLAS. Los recursos hardware del centro aumentan con el tiempo siguiendo los requerimientos del experimento, teniendo en la actualidad 1 PByte (1000 TeraBytes) de almacenamiento en disco y una potencia de cómputo total de más de 1700 cores de CPU.

Publicaciones selectas:

- *Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC*; Phys.Lett. B716 (2012) 1-29
- *Measurement of transverse energy-energy correlations in multi-jet events in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV using the ATLAS detector and determination of the strong coupling constant $\alpha_s(m_Z)$* ; Physics Letters B 750 (2015) 427-447
- *The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider*; JINST 3 (2008) S08003

Experimento CMS (J. Fernández de Trocóniz)

El Dpto. de Física Teórica de la UAM participa en el experimento CMS del CERN desde la década de los 90. Nuestra experiencia previa trabajando en la física de colisionadores hadrónicos se remonta a los experimentos UA1 en el SPS del CERN (C. Albajar) y CDF en el Tevatron de Fermilab (J. Fernández de Trocóniz). El experimento CMS desarrolla el programa general de física del LHC, al igual que ATLAS (ver sección precedente).

Desde 2002 el grupo UAM-CMS es responsable del diseño, construcción y operación del sistema de trigger de muones DTF. El DTF reconstruye en tiempo real la trayectoria de los muones en el sistema de nivel 1 del trigger y proporciona una decisión de trigger cada 25 ns. Desde 2010 el DTF ha seleccionado muestras de datos que han sido la base de muchos resultados de física del experimento CMS, funcionando a un nivel excelente. En particular, una fracción substancial de los sucesos en que se basó la observación del bosón de Higgs en el canal $H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4$ leptones por CMS en 2012 fueron seleccionados por el trigger DTF.

La contribución de la UAM a los análisis de física de CMS se ha concretado en: (1) la medida precisa de las propiedades del quark top, (2) búsquedas de bosones de Higgs en el canal ZZ, (3) búsquedas de nuevas partículas de modelos más allá del Modelo Estándar como resonancias pesadas en los canales top-antitop y dibosónicos.

Publicaciones selectas:

- S. Chatrchyan, et al. (CMS Collaboration). *The CMS experiment at CERN LHC*; JINST 3 (2008) S08004.
- S. Chatrchyan, et al. (CMS Collaboration). *Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC*; Phys. Lett. B716 (2012) 30.
- V. Kachatryan, et al. (CMS Collaboration). *Search for a Higgs boson in the mass range 145 to 1000 GeV decaying to a pair of W or Z bosons*; JHEP 1510 (2015) 144.

Experimento Super-Kamiokande (L. Labarga)

- Medida de efectos de masa en oscilaciones de neutrinos solares a su paso por la tierra.
- Análisis de oscilaciones de neutrinos atmosféricos en SK; análisis de oscilaciones en haz T2K; análisis simultáneo de oscilaciones en neutrinos atmosféricos [SK] y haz [T2K]. Medida de los parámetros de oscilación Δm^2_{32} , $\sin^2\theta_{23}$, $\sin^2\theta_{13}$ y δ_{CP} , y de la jerarquía de masa de los neutrinos.
- Búsqueda de desintegración de protones en Super-Kamiokande
- Desarrollo del uso de Gadolinio en Super-Kamiokande para la separación neutrino / anti-neutrino mediante identificación de neutrones
- Construcción del detector NEXT en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc, para la búsqueda de procesos de desintegración doble beta sin neutrinos en ^{136}Xe .
- Desarrollo del proyecto Hyper-Kamiokande.

Publicaciones selectas:

- A. Renshaw et al., (2014) *First Indication of Terrestrial Matter Effects on Solar Neutrino Oscillation*; [Super-Kamiokande](#) Collaboration, Phys.Rev.Lett.112, 091805
- K. Abe et al., (2014), *Search for Proton Decay via $p \rightarrow K$ using 260 kiloton-year data of Super-Kamiokande*; Super-Kamiokande Collaboration, Phys. Rev. D90 072005.
- Ko Ab et al., *Proposal for an Extended Run of T2K to 20×10^{21} POT*; T2K Collaboration; e-Print: arXiv:1609.04111

IV. 3 Física Nuclear Teórica

El estudio de la estructura de los núcleos atómicos supone un gran reto teórico debido a que son sistemas de muchos cuerpos cuánticos que interactúan mediante fuerzas muy complejas. Dentro de los modelos microscópicos usados habitualmente para determinar las propiedades de estos sistemas tales como las energías de ligadura, radios, energías de excitación, modos de desintegración, etc., se encuentran los modelos basados en la aproximación de campo medio autoconsistente (*Self-Consistent Mean-field*) y extensiones más allá de la aproximación de campo medio (*Beyond-Mean-Field*).

El Grupo de Física Nuclear tiene una larga trayectoria investigadora en el desarrollo de estas herramientas teóricas, estando a la vanguardia internacional en dichos campos, siendo líderes en el desarrollo de métodos basados en la interacción nuclear de Gogny. La calidad de estas herramientas teóricas ha permitido establecer colaboraciones con grupos experimentales para proporcionar el soporte teórico adecuado a nuevos datos experimentales y estudiar fenómenos tales como la aparición/desaparición de números mágicos, coexistencias/mezclas de forma, excitaciones colectivas, etc..

Además, estas técnicas se pueden usar para estudiar el origen de los elementos químicos que forman la materia ya que permiten el cálculo de propiedades de núcleos atómicos que van mucho más allá de los isótopos estables que encontramos en la Tierra. Estos núcleos exóticos, aunque gran parte de ellos no pueden producirse en los laboratorios actualmente, tienen una relevancia crucial en la síntesis de nuevos elementos en el interior de las estrellas o en eventos astrofísicos de carácter explosivo (supernovas, estallidos de rayos X, etc.).

Por último, algunos de los sistemas más importantes para buscar física más allá del modelo estándar de partículas elementales involucran transiciones nucleares, como el caso de las desintegraciones beta dobles sin emisión de neutrinos. El estudio de estos procesos constituye también una línea de investigación dentro del Grupo de Física Nuclear.

Publicaciones selectas:

J. L. Egido, M. Borrajo and T. R. Rodríguez, (2016), *Collective and single-particle motion in beyond-mean-field approaches*, Physical Review Letters 116, 052502

Hadynska-Klek et al., (2016), *Superdeformed and triaxial states in Ca42*, Physical Review Letters 117, 062501

L. P. Gaffney et al., (2013) *Studies of pear-shaped nuclei using accelerated radioactive beams*, Nature 497, 199

J. Beller et al., (2013) *Constraint on Onu beta beta matrix elements from novel decay channel of the scissors mode: the case of Gd154*, Physical Review Letters 111, 172501

N. López-Vaquero, T. R. Rodríguez and J. L. Egido, (2013), *Shape and pairing fluctuations effects on neutrinoless double beta decay nuclear matrix elements*, Physical Review Letters 111, 142501

G. F. Bertsch, L. M. Robledo,(2012), *Symmetry restoration in Hartree-Fock-Bogoliubov based theories*, Physical Review Letters 108, 042505

M. Albers et al., (2012), *Evidence for a smooth onset of deformation in the neutron-rich Kr isotopes*, Physical Review Letters 108, 062701

T. R. Rodríguez, G. Martínez-Pinedo, (2010), *Energy density functional study of nuclear matrix elements for neutrinoless beta beta decay*, Physical Review Letters 105, 252503

VI. 4 Fundamentación de la mecánica cuántica y teoría de la información cuántica (J.L. Sánchez-Gómez)

En este campo las líneas de investigación en curso son principalmente dos, una más de tipo matemático y la otra más filosófica:

1. Relación entre posibles modificaciones no-lineales de la mecánica cuántica y la violación de la causalidad en forma de transmisión de información superlumínica. Es un trabajo que se ha retomado recientemente con idea de completar si es posible lo presentado en tres artículos del periodo 2005-2007 publicados en Physical Review A (2) y Foundations of Physics (1), que dejaban algunos puntos sin concluir que tienen bastante complejidad matemática.
2. Micro objetividad en la teoría cuántica. Análisis filosófico del entrelazamiento cuántico y clasificación metodológica de las diversas teorías “realistas” que pretenden explicarlo. Es una línea iniciada hace tre años y en la que ya se han publicado tres trabajos, dos en Foundations of Science y uno en European Physical Journal Plus.

IV. 5 Historia de la Ciencia (J.M. Sánchez Ron)

En Historia de la Ciencia, las líneas actuales de investigación son las siguientes:

1) Completar, tarea en curso desde hace varios años., el volumen 2 de la *Historia de la Física cuántica*, que debe cubrir el periodo que va de las contribuciones de Paul Dirac a la mecánica cuántica, desde 1926, hasta la formulación de la electrodinámica cuántica. Aparecerá en la editorial Crítica.

2) Escribir una *Historia de la ciencia en España*, que amplíe, sin límites temporales, el libro que J. M. Sánchez Ron publicó en 1999: *Cinzel, martillo y piedra. Historia de la ciencia en España (siglos XIX y XX)*. Aparecerá en la editorial Taurus.

3) Completar la tarea, en curso desde hace 2 años, la historia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, con la cual Sánchez Ron completará el estudio de los grandes centros de investigación españoles del siglo XX (ya completó y publicó los correspondientes a la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, INTA, y Junta de energía Nuclear).

Anexo V: Algunos Problemas físicos de carácter multidisciplinar en las áreas MOCCA del Departamento de Física Teórica

V. 1 Constantes de acoplamiento fundamentales

Las constantes de acoplamiento fundamentales determinan la intensidad de las tres interacciones básicas conocidas: gravitatoria, electrodébil (electromagnética más débil) y fuerte. Esta última, que se mide con gran precisión en el ámbito de la física experimental de partículas, es la base de la intensidad de la interacción nuclear. Esta interacción, a su vez, determina en gran medida la estructura y evolución estelar. Por ejemplo, su dependencia con la edad del Universo se estudia mediante modelos de nucleosíntesis primordial (formación de los elementos ligeros cuando el Universo tenía minutos de vida) y comparación de las abundancias resultantes con datos astronómicos.

La constante de estructura fina, que caracteriza las interacciones electromagnéticas, se ha medido también con gran precisión con experimentos de altas energías de partículas elementales. Actualmente se está estudiando si dicho valor es en realidad constante o depende del tiempo y ha evolucionado a lo largo de la historia del universo. Ello se está realizando mediante estudios astronómicos y cosmológicos, así como medidas de desintegraciones nucleares cuyo objetivo es averiguar la dependencia o independencia con el tiempo de dicha constante.

V. 2 Física del neutrino

Los neutrinos son partículas elementales que interactúan únicamente a través de la interacción débil y la gravedad. Como tales, su ámbito de estudio natural es el de la física de partículas. Sin embargo, los neutrinos juegan un papel fundamental en las reacciones electrodébiles nucleares (desintegraciones beta, capturas de electrones, etc.). A su vez, estas reacciones nucleares son responsables tanto de la producción, en distintos escenarios astrofísicos (estrellas, supernovas, etc.), de los elementos que conforman el universo así como de los mecanismos de explosión de dichas estrellas cuando llegan a su estadio final. Además, en estos eventos astrofísicos se emiten una cantidad ingente de neutrinos que pueden ser detectados con la instrumentación adecuada y transportan información acerca de las reacciones nucleares dentro de las estrellas.

El estudio de las propiedades de estas partículas es muy complicado precisamente porque interactúan muy débilmente con la materia (la mayoría de las veces la atraviesan) y su masa es también muy pequeña. De hecho, la existencia de la masa no-nula de los neutrinos se ha confirmado recientemente con la observación de las oscilaciones de neutrinos. Sin embargo, a partir de estos experimentos no se puede determinar la escala absoluta de la masa de los neutrinos ni si dichas partículas son sus propias antipartículas. Para ello, el proceso físico más prometedor para estudiar estas propiedades tan fundamentales de los neutrinos es un tipo muy particular de desintegración nuclear que todavía no se ha detectado denominada desintegración beta-doble sin emisión de neutrinos. Actualmente hay varios experimentos a gran escala

funcionando y/o en fase muy avanzada para detectar esta desintegración que requieren de la participación de expertos en física nuclear y de partículas.

Aparte del estudio de los neutrinos procedentes de fuentes identificadas como el Sol, los reactores nucleares, etc., se ha predicho teóricamente la existencia de un fondo de neutrinos procedente de supernovas distantes. Este fondo difuso no se ha detectado aún pero los detectores actuales de neutrinos han alcanzado la sensibilidad suficiente para hacerlo en un futuro. El estudio experimental de este fondo (y su propia existencia) permitirá refinar los modelos astrofísicos que tratan de explicarlo.

V. 3 Nucleosíntesis estelar y supernovas

Los elementos químicos que conforman la materia que nos rodea se han formado a lo largo de la historia del universo a partir de diferentes reacciones nucleares que tienen lugar en escenarios astrofísicos (Big Bang, interior de estrellas, explosiones de supernova, etc.). Una de las áreas más activas dentro de la física nuclear es el estudio de estos procesos de nucleosíntesis estelar. En particular, el denominado proceso-r es el responsable de la fabricación de más de la mitad de los elementos químicos más pesados que el hierro en el universo. En este mecanismo los nuevos núcleos se van formando mediante las reacciones de capturas rápidas de neutrones en ciertas regiones de una supernova y/o en colisiones de estrellas de neutrones. Durante el proceso se generan núcleos inestables muy ricos en neutrones cuyas propiedades determinan las abundancias finales de estos elementos cuando se desintegran hacia la estabilidad. Algunos de estos núcleos se pueden producir experimentalmente en grandes instalaciones de física nuclear y otros se deben estudiar con modelos teóricos complejos que tienen una gran componente computacional.

Como se ha dicho anteriormente, uno de los escenarios donde se producen distintos mecanismos de nucleosíntesis son las explosiones de supernova que representan la fase final de la evolución estelar. Además, determinados tipos de supernova se utilizan como candelas estándar para hacer la cartografía del Universo, lo que las convierte en uno de los pilares de la cosmología observacional desarrollada en los últimos años. Sin embargo, el problema teórico de su explosión no está resuelto. Se trata de un problema muy complejo, que involucra la física nuclear, física de fluidos, teoría del transporte, física de neutrinos, relatividad general, incluyendo el cómputo de procesos explosivos, su combinación e implementación numérica. Todo ello demanda códigos y computadores en el límite de las capacidades tecnológicas. De hecho, la primera simulación que consiguió una explosión virtual de una supernova en tres dimensiones data de menos de 5 años.

V. 4 Materia oscura

La existencia de materia oscura se postula para explicar distintas observaciones astrofísicas sin necesidad de modificar la teoría de la relatividad general. Aunque la naturaleza de dicha materia no está clara, y parte de ella puede estar compuesta de neutrinos, se han propuesto distintas extensiones del modelo estándar de partículas elementales para proponer otros posibles candidatos de materia oscura. No obstante, ninguna de esas partículas más allá del modelo estándar se han detectado de manera directa ni producido en experimentos en aceleradores como el LHC. Los experimentos actuales para detectar partículas de materia oscura se basan

principalmente en el efecto que producirían dichas partículas al chocar contra blancos nucleares. Por tanto, en este área de investigación se estudian conjuntamente fenómenos astrofísicos, nucleares y de física de partículas.

