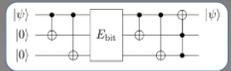


## INFORMACIÓN Y COMPUTACIÓN CUÁNTICAS



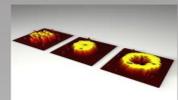
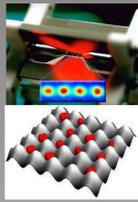
### Información y computación cuántica

Los ordenadores cuánticos podrán resolver problemas complicados que están fuera del alcance de los superordenadores actuales. Nuestro grupo desarrolla propuestas concretas para construir estos dispositivos y estudia la eficiencia de nuevos modelos de computación.



### Simulaciones cuánticas

Estudiamos sistemas controlables, incluyendo iones atrapados o átomos fríos en redes ópticas. Nuestro objetivo es realizar simulaciones de sistemas fuertemente correlacionados en materia condensada y física de altas energías.

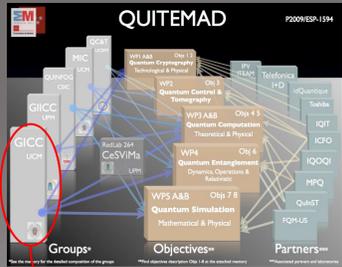
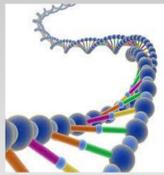


### Nuevas fases cuánticas de la materia

Exploramos nuevas fases exóticas de la materia, como el efecto Hall cuántico o aislantes topológicos. Aparte de su importancia fundamental para entender la naturaleza, permiten diseñar nuevos materiales, procesadores y memorias cuánticas.

### Propiedades cuánticas en sistemas complejos

Sistemas cuánticos que interactúan con su ambiente, como por ejemplo biomoléculas en organismos vivos, muestran comportamientos complejos. En nuestros trabajos cuestionamos el papel que podrían jugar efectos cuánticos como coherencia y entrelazamiento en procesos biológicos.



### Nuestro grupo internacional



Más información:  
<http://gicc.fis.ucm.es>  
Prof. M. A. Martín-Delgado

### Partners:

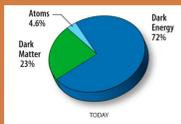
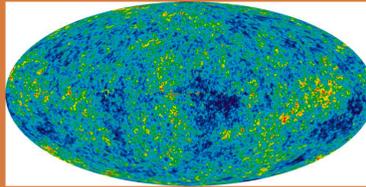
Telefonica I+D, idQuantique, Toshiba Research Europe Ltd., MPQ, IQOQI, CQDG, ICFO, QuINST, FQM-US, iTEAM GCO

### Sponsors:



## FÍSICA DE PARTÍCULAS Y COSMOLOGÍA

**Investigadores:** Antonio Dobado González (dobado@fis.ucm.es), Adolfo Guevara Escalante (adguevar@ucm.es) Felipe Llanes Estrada (fllanes@fis.ucm.es), Antonio López Maroto (maroto@ucm.es), María del Prado Martín Moruno (pradomm@ucm.es), José A. Ruiz Cembranos (cembra@fis.ucm.es), Juan J. Sanz Cillero (jusanz02@ucm.es)

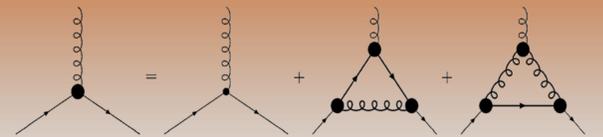
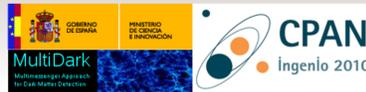


**Cosmología:** Las observaciones cosmológicas recientes muestran que sólo un 5% del contenido actual del universo es materia ordinaria. El resto está formado por un 26% de **materia oscura**, responsable de la mayor parte del contenido de galaxias y cúmulos, y un 69% de **energía oscura**, responsable de la expansión acelerada del universo. Nuestro grupo estudia modelos teóricos que pudieran arrojar luz sobre el problema de la naturaleza de estas componentes oscuras que, a día de hoy, es completamente desconocida. Entre las líneas de investigación se encuentran: **teorías de gravitación modificada**, teorías con dimensiones extras, teorías de inflación, teorías supersimétricas y otras extensiones del Modelo Estándar.

**Partículas elementales:** Abarcamos todos los aspectos del **Modelo Estándar**, pero en especial la **Cromodinámica Cuántica**, la **Física del Higgs** y las teorías efectivas que de ellas se derivan. Algunas líneas teóricas concretas:

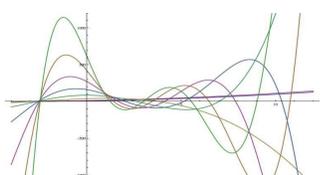
- Colisiones de iones pesados (en RHIC y el LHC)
- Física hadrónica (espectroscopía, g-2 del muón).
- Estrellas de neutrones
- Problemas fundamentales de la Teoría Cuántica de Campos (como confinamiento quark)
- Modelos alternativos al Estándar: teorías efectivas del Higgs, Little Higgs, Dimensiones Extra, modelos de unificación, ...

**Colaboraciones y financiación:** colaboramos con el CERN, GSI, CIEMAT y los proyectos Euclid y JPAS así como con las universidades de Ciudad del Cabo, California, Washington Saint Louis, México, Murcia, Barcelona, TU-Munich, UAM-IFT, Valencia. Recibimos financiación de varias fuentes: COST (H2020), MINECO, Redes Consolider CPAN y MULTIDARK UCM. Organizamos reuniones científicas internacionales de forma periódica.

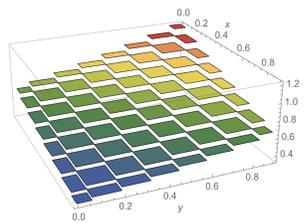


<http://teorica.fis.ucm.es/PaginaWeb/home.html>

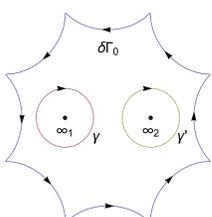
Polinomios ortogonales multivariantes, múltiples y matriciales. Relación con sistemas integrables. Problemas de factorización (Gauss-Borel, QR y Riemann-Hilbert). Polinomios excepcionales.



### Simetrías e integrabilidad en sistemas discretos

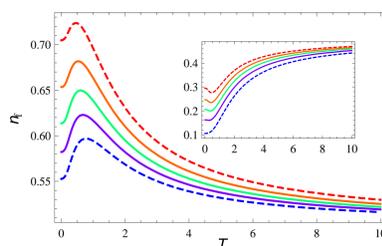


Modelos de matrices aleatorias. Modelos asociados a familias de polinomios clásicos. Aplicaciones en teoría de cuerdas. Modelos exactos. Instantones. Desarrollos topológicos.

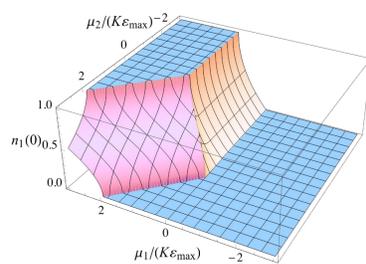


## FÍSICA MATEMÁTICA

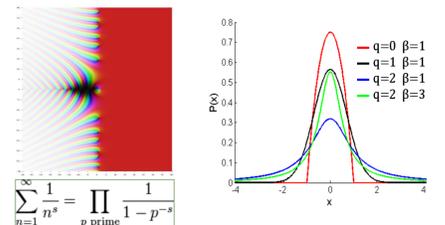
Entropías de entrelazamiento en cadenas de espines supersimétricas y sistemas de fermiones libres



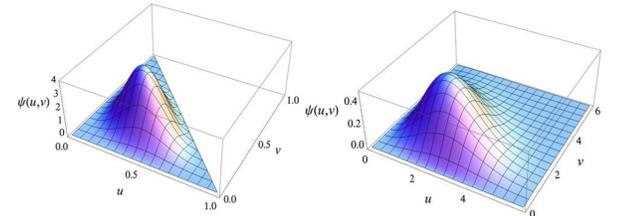
Propiedades termodinámicas y de criticalidad de cadenas de espines con interacciones de largo alcance



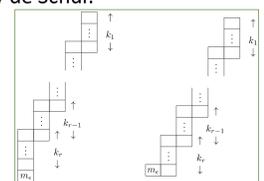
Teoría de números: series L y aplicaciones a la mecánica estadística. Entropías generalizadas y sistemas hamiltonianos



Estados producto de matrices y modelos cuánticos de N cuerpos con funciones de onda del estado fundamental de tipo Jastrow



Técnicas algebraicas en sistemas cuánticos de muchos cuerpos: operadores de Dunkl, motifs de Haldane y modelos de vértice, polinomios simétricos y de Schur.

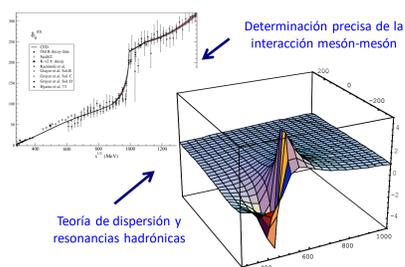


**Doctores:** Gabriel Álvarez Galindo, Federico Finkel Morgenstern, Artemio González López, Manuel Mañas Baena, Luis Martínez Alonso, Miguel Ángel Rodríguez González, Piergiulio Tempesta  
**Estudiantes de doctorado:** José Antonio Carrasco Blanco

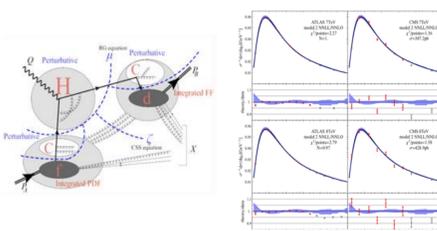
## FÍSICA HADRÓNICA Y QCD DESDE BAJAS ENERGÍAS AL LHC

Los hadrones son las partículas hechas de quarks y gluones que sienten la interacción fuerte (o de color). Nuestro grupo estudia sus propiedades desde energías próximas a la Física Nuclear hasta la frontera de más altas energías en el Large Hadron Collider (LHC), usando propiedades de simetría, teorías efectivas, teoría cuántica de campos y Cromodinámica cuántica (QCD). Nuestras principales líneas de investigación son:

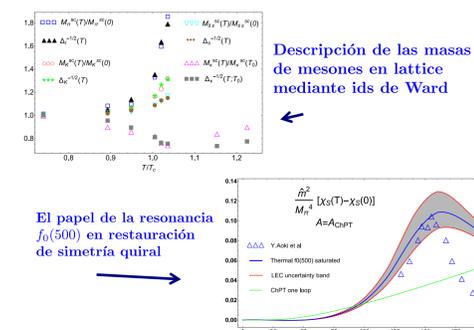
**Espectroscopía Hadrónica:** Existencia, clasificación y propiedades de mesones ligeros. Mesones no-ordinarios fuera del modelo quark (tetraquarks, moléculas hadrónicas)



Estudio de teorías efectivas de QCD (SCET, et al). Fenomenología de QCD en LHC, COMPASS, RHIC, EIC etc. Figura del código arTemide



Estudio de propiedades hadrónicas y restauración de simetría en condiciones extremas (temperatura finita, colisiones de iones, ...)



- Uso de Teorías Efectivas de QCD y Teoría de dispersión para espectroscopía hadrónica.
- Física Hadrónica en condiciones extremas.
- Estudio del movimiento y distribuciones de spin de quarks/gluones dentro de los hadrones.
- Cálculos de QCD perturbativa a ordenes más altos: renormalización, matching de operadores, estudio de la convergencia y precisión teórica de las series perturbativas.

### Miembros permanentes:

Ángel Gómez Nicola, José Ramón Peláez Sagredo, Ignazio Scimemi

### Estudiantes de doctorado e investigadores postdoctorales recientes:

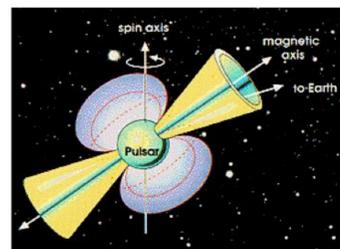
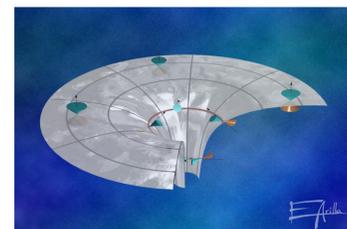
Miguel García Echevarría, Daniel Gutiérrez Reyes, Jenifer Nebreda Manjón, Guillermo Ríos Márquez, Arkaitz Rodas, Jacobo Ruíz de Elvira Carrascal, Ricardo Torres Andrés, José M. Alarcón, Santiago Cortés.

## RELATIVIDAD GENERAL

### AGUJEROS NEGROS, FLUIDOS Y ASTROFÍSICA RELATIVISTA

La relatividad general es una teoría geométrica de la interacción gravitatoria comprobada experimentalmente. Los agujeros negros, una de sus predicciones más sorprendentes, ya han sido observados. Uno de los retos de la física teórica actual es compaginar la relatividad general con la teoría cuántica. En la Astrofísica Relativista la comprensión de las Estrellas de Neutrones ocupa un lugar privilegiado (Pulsars, Glitches, Modos Cuasi-Normales, Colapso y Radiación Gravitacional,...). El estudio de los fluidos autogravitantes aparecen de manera natural en estos análisis. Nuestras principales líneas de investigación son:

- Estrellas Relativistas: Estrellas de Neutrones, Estrellas de Quarks, Pulsares, Glitches, Colapso gravitacional y supernovas.
- Modos Cuasi-normales: estabilidad y radiación gravitacional de objetos compactos.

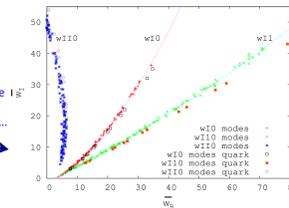


- Física de agujeros negros: Radiación de Hawking, proceso de evaporación
- Modelos análogos acústicos en materia condensada. Emergencia de la gravedad
- Teoría cuántica de campos en espaciotiempos curvos. Gravedad cuántica

- Campos producidos por fluidos autogravitantes en rotación estacionaria.
- Campos de Yang-Mills-Einstein: Agujeros Negros, Vórtices,...



Relaciones Fenomenológicas Universales para los modos cuasi-normales de Estrellas de Neutrones. Permiten estimar Masa, Radio, Presión central,...



### Doctores:

Francisco Javier Chinae, Luis Manuel González Romero, Luis J. Garay, Mercedes Martín Benito

### Estudiantes de doctorado y becarios postdoctorales recientes:

Ana Alonso, Ana Blasco, José Luis Blázquez, Luis C. Barbado, Raúl Carballo.

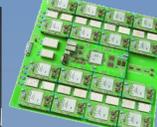
## TEORÍA ESTADÍSTICA DE CAMPOS

Más información:

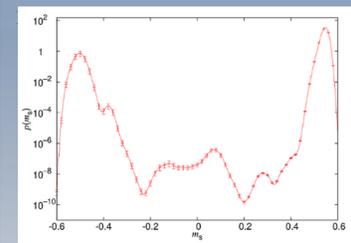


La **Teoría Estadística de Campos** aplica los métodos de Integración Funcional (o integral de camino) a problemas de muchos cuerpos. Este enfoque se ha demostrado de extraordinaria utilidad en diversas áreas: desde el estudio de la cromodinámica cuántica hasta los plasmas de fusión nuclear, pasando por las transiciones de fase en materia condensada y los sistemas complejos, como los vidrios. Conceptualmente, relaciona la Teoría Cuántica de Campos con la Mecánica Estadística. Se trata siempre de sistemas fuertemente acoplados lejos del régimen perturbativo, por lo que el método fundamental de investigación es la simulación de **Monte Carlo**.

**VIDRIOS DE ESPÍN:** Son aleaciones magnéticas desordenadas con un comportamiento desconcertante. Son el ejemplo más sencillo de un sistema con comportamiento vítreo (el vidrio es el estado más común, y más desconocido, de la materia). Las ramificaciones de su estudio con la ciencia de la complejidad computacional, la biología, sociología, etc. son innumerables. Su simulación desborda todos los recursos computacionales existentes. Nuestro trabajo se realiza en **SUPERORDENADORES** como *Mare Nostrum* o incluso en arquitecturas especiales, como las tarjetas gráficas (*Tianhe-1A*) o el **ORDENADOR DEDICADO JANUS**, fruto de una colaboración Zaragoza-Madrid-Badajoz-Roma-Ferrara.

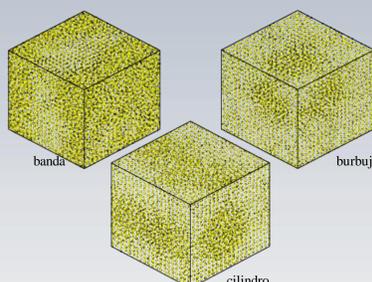


Ordenador dedicado Janus y una de sus 16 placas base. Permite actualizar  $10^{13}$  espines por segundo.



**SIMULACIONES DE MONTE CARLO CON LIGADURAS:** Los sistemas complejos se caracterizan por la proliferación de estados metaestables, separados por barreras de energía libre. En la figura, los estados metaestables se corresponden con los distintos máximos. Para hacer *tunnelling* entre uno y otro el sistema debe atravesar los mínimos, que son regiones de muy baja probabilidad (nótese la escala logarítmica). En una simulación de MC convencional, el tiempo de *tunnelling* crece exponencialmente con el tamaño del sistema. En nuestro grupo desarrollamos métodos de cálculo adecuados para esta situación.

**COLOIDES Y VIDRIOS ESTRUCTURALES:** Los avances recientes en técnicas de microscopía confocal han dado un gran relieve a la investigación de los sistemas coloidales en Física Fundamental. La comparación directa de los resultados experimentales con las simulaciones permite un diálogo muy fructífero entre la comunidad de físicos teóricos y experimentales. Algunos problemas clásicos de la Mecánica Estadística, como la cristalización o la transición vítreo en esferas duras, han pasado a la primera línea de investigación. Nuestro grupo desarrolla y aplica técnicas de Monte Carlo con ligaduras para estos estudios.



### MÉTODOS PERTURBATIVOS Y VARIACIONALES:

- Mecánica estadística fuera del equilibrio: modelización de la relajación al equilibrio termodinámico.
- Teoría de campos a temperatura finita cerca del equilibrio: aproximaciones de alta temperatura.
- Cadenas de macromoléculas: problemas teóricos y posibles implicaciones para el ADN.
- Dispersión Thomson en plasmas de fusión.

## CAMPOS Y CUERDAS

- ¿Existe relación entre la interpretación probabilística de los fenómenos cuánticos, la inestabilidad gravitacional a distancias menores que la longitud de Planck y la estructura del espacio-tiempo?
- ¿Es posible formular modelos de partículas que incluyan una longitud fundamental con significado de tamaño mínimo de celda observable?
- ¿Cómo puede incluirse la gravedad en nuestra descripción cuántica del universo?

El Grupo UCM de Campos y cuerdas se centra en estudiar estas cuestiones fundamentales y otras derivadas de ellas. La investigación que desarrolla es teórica, usa los métodos propios de Teoría de campos y cuerdas, Mecánica cuántica y Relatividad general, involucra aspectos de Geometría diferencial y Teoría de grupos, y se ayuda de ordenadores con los que efectuar manipulaciones simbólicas y cálculos numéricos.

**Líneas de investigación actuales:** Campos cuánticos no conmutativos y supersimetría, Gravedad unimodular, Dualidad gauge-gravedad y amplitudes de scattering, Simetrías gauge no semisimples, etc.

Miembros PDI: Rafael Hernández Redondo, Carmelo Pérez Martín, María Jesús Rodríguez Plaza, Fernando Ruiz. Creado en 1998. Financiado por Proyectos I+D del Plan Nacional y



COST de la Unión Europea. Más información en

<http://teorica.fis.ucm/ft7/grupo-cc.html>

