

# AITANA

Advanced Instrumentation and data analysis in accelerators

## MATTER AND TECHNOLOGY

***Física experimental de precisión y búsqueda de nueva física en el LHC/ATLAS y en la futura factoría de Higgs. Desarrollo de nuevas tecnologías en instrumentación de detectores y componentes de aceleradores para futuros colisionadores de altas energías y sus aplicaciones médicas.***

El equipo investigador es un grupo multidisciplinar que engloba científicos de física de partículas y de física de aceleradores. Su actividad se centra fundamentalmente en los experimentos actuales ATLAS y MoEDAL del CERN, en el desarrollo de los futuros colisionadores y en tecnologías de aceleradores de partículas siendo uno de los grupos españoles de física de partículas y aceleradores con más proyección internacional. El grupo abarca un amplio portfolio de aspectos de física de partículas experimental, desde la creación de tecnología puntera en el campo de instrumentación de detectores y aceleradores, hasta el desarrollo de nuevos métodos de análisis y nuevas tecnologías de detectores. A destacar su contribución al desarrollo de nueva tecnología para detectores de trazas/microvértices y calorímetros. Recientemente el grupo se ha incorporado a la Colaboración CALICE cuyo principal objetivo es el desarrollo de los calorímetros para los futuros experimentos de física de partículas. El equipo está actualmente muy integrado en los experimentos de ATLAS y MoEDAL que operan en el Large Hadron Collider (LHC) donde se tiene una contribución importante al proceso de análisis de datos y computación. En el área de aceleradores se coopera en el proyecto ILC (International Linear Collider) y CLIC (Compact Linear International Collider) del CERN, tanto a nivel de prospectiva científica como para el desarrollo de las tecnologías aceleradoras a ser empleadas en los mismos. En concreto en el desarrollo de los sistemas de Radio-Frecuencia (RF). Se cuenta con un laboratorio operativo para el test de cavidades de RF de 2,95 GHz. También se tiene fuerte actividad para la aplicación industrial de estas tecnologías en física médica y en concreto para el desarrollo de nuevos aceleradores de iones. Se participa en varios proyectos en colaboración con varias empresas y asociaciones como INEUSTAR y centros tecnológicos tanto internacionales (CERN) como nacionales (CIEMAT, AIMPLAS, etc..). El grupo tiene visión de futuro y una clara estrategia de actuación combinando de manera óptima su participación en experimentos presentes y la actividad para las posibles futuras instalaciones. Internacionalmente el grupo es muy reconocido y sus miembros forman parte de comités determinantes para la definición de los futuros proyectos del campo. Así mismo el grupo no solo participa en el esfuerzo común de los grandes experimentos sino también complementa este papel con iniciativas propias y nuevas ideas que resultan en publicaciones científicas de carácter más fenomenológico.

El LHC en el CERN es el punto álgido de la física de partículas en las primeras décadas del siglo XXI. Un gran número de resultados, entre ellos el descubrimiento del bosón de Higgs, culmina medio siglo de avances en colisionadores. El grupo ATLAS/futuros colisionadores juega un papel importante en el experimento ATLAS, desde los años 1990, momento en el cual miembros del grupo iniciaron el desarrollo de detectores de silicio en España. En los 2000 este desarrollo dio lugar a la contribución del IFIC a la construcción del detector de trazas del experimento. En 2012 miembros del grupo se unieron al experimento MoEDAL.

En la actualidad el grupo deja una huella muy reconocible en los análisis de física del quark top, las búsquedas de Supersimetría y la reconstrucción de jets de ATLAS. El grupo ha desarrollado varios métodos nuevos en colaboración con físicos teóricos. Destacamos

aquí los métodos para el análisis de la producción de pares de quark top altamente energéticas [1], que han encontrado un uso en muchos análisis del ATLAS y CMS [2]. El resultado preliminar en datos del run 2 a 13 TeV revela una asimetría con una significancia de 4 sigmas [3]. Este análisis incluye una interpretación en teoría efectiva desarrollada por el grupo. Otro ejemplo es un método nuevo para la medida de la masa polo del quark top [4,5], desarrollado por miembros del grupo en colaboración con físicos teóricos de DESY en Hamburgo y la Humboldt U. en Berlín, que ha dado lugar a la medida más precisa de este parámetro fundamental [6,7]. El grupo está muy involucrado en el desarrollo de técnicas de subestructura de jets. En esta área cabe resaltar la publicación del experimento ATLAS sobre calibración de jets [8] y el “review” de subestructura de jets [9].

- [1] A. Altheimer et al. (M. Vos, editor), *Boosted objects and jet substructure at the LHC, Report of BOOST2012 held at IFIC Valencia, EPJC74 (2014) no. 3, 2792 (más de 150 citas en INSPIRE)*.
- [2] ATLAS collaboration (tesis V. Sánchez, U. Valencia 2016), *Measurement of the charge asymmetry in highly boosted top quark pair production in  $\sqrt{s} = 8$  TeV pp collisions with the ATLAS experiment, PLB756 (2016) 52-71 (40 citas en INSPIRE)*
- [3] ATLAS collaboration, *Inclusive and differential measurement of the charge asymmetry in  $t\bar{t}$  events at 13 TeV with the ATLAS detector, ATLAS-CONF-2019-026 (2019)*
- [4] S. Alioli, P. Fernandez, J. Fuster, A. Irlles, S. Moch, P. Uwer, M. Vos, *A new observable to measure the top quark pole mass at hadron colliders, EPJC 73 (2013), 2438 (más de 100 citas en INSPIRE)*
- [5] J. Fuster et al., *Extracting the top-quark running mass using  $t\bar{t}+1$  jet events produced at the Large Hadron Collider, EPJC 77 (2017) 11, 794*
- [6] ATLAS collaboration (tesis A. Irlles, U. Valencia, diciembre 2014), *Determination of the top quark pole mass using  $t\bar{t}+1$  jet events collected with the ATLAS experiment in 7 TeV pp collisions, JHEP 1510 (2015) 121 (más de 90 citas en INSPIRE)*
- [7] ATLAS collaboration, *Measurement of the top-quark mass in  $t\bar{t}+1$ -jet events collected with the ATLAS detector in pp collisions at  $\sqrt{s} = 8$  TeV, JHEP 11 (2019), 150 (34 citas en INSPIRE)*
- [8] ATLAS collaboration, *In situ calibration of large-radius jet energy and mass in 13 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector, EPJC 79 (2019) no.2, 135 (más de 50 citas en INSPIRE)*
- [9] R. Kogler, M. Vos et al., *Jet Substructure at the Large Hadron Collider: Experimental Review, Rev. Mod. Phys. 91 (2019) no.4, 045003 (más de 100 citas en INSPIRE)*

Miembros del grupo han introducido las búsquedas de Supersimetría (SUSY) con violación de la paridad-R (RPV) en ATLAS. Destaca el modelo con términos bilineales (bRPV) motivado por la explicación de la masa de neutrinos que ofrece. Las más recientes publicaciones en este contexto incluyen los artículos-resúmenes de las búsquedas de SUSY de Run-1 [10] y su interpretación para RPV SUSY [11]. Hemos iniciado el análisis con pares de leptones originados por la desintegración de un bosón Z. Un exceso de  $3\sigma$  se observó con los datos del run-1 a 8 TeV [12] sin haberse confirmado con los datos a 13 TeV del run-2 [13,14]. Estos análisis dieron lugar a estudios del perfil fenomenológico de sucesos con bosones de Z en el LHC con teóricos del IFIC [15] y del IFIC y de la Universidad de Granada [16]. Además nos involucramos en la primera búsqueda de higgsinos ligeros que forma un desafío a los leptones de bajo momento que hay que detectar [17].

- [10] ATLAS collaboration (tesis E. Torró, 2013), *Summary of the searches for squarks and gluinos using  $\sqrt{s} = 8$  TeV pp collisions with the ATLAS experiment at the LHC, JHEP 10 (2015), 054 (más de 200 citas en INSPIRE)*
- [11] ATLAS collaboration, *Constraints on promptly decaying supersymmetric particles*

- with lepton-number- and R-parity-violating interactions using Run-1 ATLAS data, ATLAS-CONF-2015-018
- [12] ATLAS collaboration (tesis E. Romero, 2017), Search for supersymmetry in events containing a same-flavour opposite-sign dilepton pair, jets, and large missing transverse momentum in  $\sqrt{s} = 8$  TeV pp collisions with the ATLAS detector, EPJ C 75 (2015) no.7, 318 ( más de 130 citas en INSPIRE)
  - [13] ATLAS collaboration, Search for new phenomena in events containing a same-flavour opposite-sign dilepton pair, jets, and large missing transverse momentum in  $\sqrt{s} = 13$  TeV pp collisions with the ATLAS detector, EPJC 77 (2017) no.3, 144
  - [14] ATLAS collaboration, Search for new phenomena using the invariant mass distribution of same-flavour opposite-sign dilepton pairs in events with missing transverse momentum in  $\sqrt{s} = 13$  TeV pp collisions with the ATLAS detector, EPJC C 78 (2018) no.8, 625
  - [15] G. Barenboim, J. Bernabeu, V. A. Mitsou, E. Romero, O. Vives, METing SUSY on the Z peak, EPJC 76 (2016), 57
  - [16] J. A. Aguilar-Saavedra, J. Bernabeu, V. A. Mitsou and A. Segarra, The Z boson spin observables as messengers of new physics, EPJC 77 (2017) no.4, 234
  - [17] ATLAS collaboration, Search for electroweak production of supersymmetric states in scenarios with compressed mass spectra at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the ATLAS detector, PRD 97 (2018) no.5, 052010 (130 citas en INSPIRE)

Miembros del grupo firman más de 400 publicaciones del experimento ATLAS en el periodo 2016-2020. Se distingue, además, por varias publicaciones que desarrollen ideas nuevas en colaboración con grupos teóricos tanto en la física del top quark como en supersimetría.

Desde el 2012, IFIC es uno de los institutos fundadores del experimento MoEDAL, optimizado para detectar monopolos magnéticos y otras partículas de vida media larga. Sus aportaciones incluyen la coordinación del software, estudios de la fenomenología de monopolos [18] y de supersimetría [19]. Destaca el liderazgo de la búsqueda de monopolos producidos en la fusión de dos fotones [20] que se hizo posible gracias al estudio [18]. Todos los aspectos teóricos y experimentales se presentan en un “review” reciente [21].

- [18] S. Baines, N. E. Mavromatos, V. A. Mitsou, J. L. Pinfold, A. Santra, Monopole production via photon fusion and Drell-Yan processes: MadGraph implementation and perturbativity via velocity-dependent coupling and magnetic moment as novel features, EPJC 78 (2018) no.11, 966
- [19] D. Felea, J. Mamuzic, R. Maselek, N. E. Mavromatos, V. A. Mitsou, J. L. Pinfold, R. Ruiz de Austri, K. Sakurai, A. Santra, O. Vives, Prospects for discovering supersymmetric long-lived particles with MoEDAL, EPJC 80 (2020) no.5, 431
- [20] MoEDAL Collaboration, Magnetic Monopole Search with the Full MoEDAL Trapping Detector in 13 TeV pp Collisions Interpreted in Photon-Fusion and Drell-Yan Production, PRL 123 (2019) no.2, 021802
- [21] N. E. Mavromatos, V. A. Mitsou, Magnetic monopolos revisited: Models and searches at colliders and in the Cosmos, Int. J. Mod. Phys. A 35 (2020) no.23, 2030012

Miembros del grupo han contribuido a la divulgación de la ciencia mediante publicaciones en revistas para el público como “investigación y ciencia” y el “CERN Courier” y la organización de eventos como la masterclass de física y los coloquios del IFIC.

Este proyecto apuesta fuertemente por un colisionador electrón-positrón lineal como próxima instalación puntera en física de partículas como futura factoría de Higgs (máxima prioridad definida en el reciente proceso de estrategia Europeo). Existen dos proyectos, el Compact Linear Collider (CLIC) en el CERN y el International Linear Collider (ILC) que se construiría en Japón. El grupo en el IFIC es el motor de la participación española en ambos

proyectos, coordinada a través la red española de futuros aceleradores.

El grupo ha tenido un papel importante en la definición de los proyectos ILC [22] y CLIC [23] y en el diseño del detector. Miembros del grupo han contribuido de manera esencial y altamente visible en la documentación científica propuesta durante el reciente proceso de estrategia europea para definir las prioridades de actuación del campo durante el periodo 2021-2026 y que ha sido aprobado por el Consejo del CERN en 2020. El grupo es, además, uno de los grupos de referencia en los estudios de potencial de física del quark top [24], especialmente en estudios de la masa [25] y acoplamientos electro-débiles [26]. Está contribuyendo al procedimiento Snowmass 2021 [27].

- [22] *ILC collaboration, The International Linear Collider Technical Design Report – Volume 4, Detectors, ILC-REPORT-2013-040, arXiv:1306.6329 (J. Fuster editor, más de 250 citas en INSPIRE)*
- [23] *CLIC collaboration, Updated baseline for a staged compact linear collider, CERN-2016-004, arXiv:1608.07537 (517 autores, 49 citas en INSPIRE)*
- [24] *Snowmass top WG, Working Group report: top quark, arXiv:1311.2028 (171 autores, 100+ citas en INSPIRE)*
- [25] *A. Juste et al., Determination of the top quark mass circa 2013: methods, subtleties, perspectives, EPJC 74 (2014) 3119 (8 autores, 50+ citas en INSPIRE)*
- [26] *M.S. Amjad et al., A precise characterisation of the top quark electro-weak vertices at the ILC, EPJC 75(2015) no. 10, 512. (13 autores del LAL Orsay e IFIC Valencia, 33 citas en INSPIRE)*
- [27] *K. Fujii, E. Fullana, J. Fuster, A. Irlles, M. Vos et al., ILC Study Questions for Snowmass 2021, arXiv:2007.03650 [hep-ph]*

La física de partículas experimental evoluciona gracias al progreso tecnológico. El grupo de futuros colisionadores y aceleradores del IFIC es muy activo en el desarrollo de cavidades de radiofrecuencia para aceleradores e instrumentación para futuros experimentos.

Los trabajos de I+D en detectores están orientados al desarrollo de detectores de píxeles de próxima generación. El grupo recientemente ha contribuido a la construcción del detector Belle II en tecnología DEPFET [28] y actualmente está comenzando un programa de desarrollo de tecnología de píxeles HV-CMOS conjuntamente con otros grupos del IFIC. El grupo es además responsable del diseño de una solución basada para las capas más internas de un experimento en el ILC y ha sido una pieza clave en el desarrollo de detectores con micro-canales de refrigeración integrados en el sensor [29].

- [28] *DEPFET collaboration, DEPFET active pixel detectors for a future linear e+e-collider, IEEE TNS 60, 2, 2 (2013) (88 autores, 23 citas en INSPIRE)*
- [29] *L. Andricek et al., Integrated cooling channels in position-sensitive silicon detectors, JINST 11 (2016) no 06, P06018 (9 autores del Max Planck society, la Universidad de Bonn e IFIC)*

Las contribuciones del IFIC al I+D de aceleradores se centran en desarrollo de tecnologías aceleradoras de Radio-Frecuencia (RF) compactas [30]. Para ello ha puesto en marcha un laboratorio de RF de alto-gradiente en las nuevas instalaciones del IFIC [31]. Las cavidades RF de alto gradiente son cruciales para futuros colisionadores [32] como CLIC, y pueden tener implicaciones importantísimas en aplicaciones médicas como la hadrón-terapia [33,34].

- [30] *A. Vnuchenko, D. Esperante, et. al., High-gradient testing of an S-band, normal-conducting low phase velocity accelerating structure, Phys. Rev. Accel. Beams 23, (2020)*
- [31] *Theodoros Argyropoulos (CERN) et al., Design, fabrication, and high-gradient testing of an X-band, traveling-wave accelerating structure milled from copper halves, Published in Phys.Rev.Accel.Beams 21 (2018).*
- [32] *D. Esperante et al., Construction and Commissioning of the S-Band High-Gradient*

*RF Laboratory at IFIC, J.Phys.Conf.Ser. 1067 (2018).*

- [33] *N. Catalán et al., Commissioning of XBox-3: A Very High Capacity X-band Test Stand, Conf. Proc. IPAC 2016.*
- [34] *S. Benedetti et al., Fabrication and Testing of a Novel S-Band Backward Travelling Wave Accelerating Structure for Proton Therapy Linacs, Conf. Proc. LINAC 2016.*

La proyección internacional del grupo ha dado lugar a una intensa colaboración del grupo con muchos grupos internacionales, entre ellos los principales centros de física de aceleradores y partículas: DESY en Alemania, KEK en Japón y CERN en Suiza. Gracias a esta colaboración el grupo ha podido conseguir financiación internacional para el I+D de aceleradores y detectores. Aquí cabe destacar el acuerdo de colaboración tecnológica con el CERN, especialmente en el I+D de aceleradores. El grupo es parte de varios proyectos de intercambio con DESY (Hamburgo), con Japón (KEK, Tokio y Tohoku) y participa en varios proyectos europeos. Además, es miembro de la colaboración internacional XLS-CompactLight para el diseño de una nueva fuente de radiación sincrotrón tipo XFEL (X-ray Free Electron Laser) [35,36], en el cual participa en el diseño de un inyector de electrones en banda X.

La financiación internacional, por un importe total de más de un millón de euros, multiplica la crucial inversión española obtenida en el plan nacional de física de partículas y en otras convocatorias.

Varios miembros del grupo han servido en los comités organizadores de un gran número de conferencias nacionales como internacionales, como Winter Meeting, la serie de conferencias ligadas al Linear Collider (LCWS, ALCW, AWLC, ECFA-LCW, CLIC, Linear Collider School, etc.), las conferencias de la serie BOOST, la Lepton-Photon e ICHEP. La edición de 2014 de ICHEP, la conferencia más importante del campo, fue organizada por Juan Fuster [37]. El grupo ha organizado varios eventos más especializados, como el International Workshop on Breakdown Science and High Gradient acceleration HG2017 y el workshop on LC top physics 2015 .

- [35] *Gerardo D'Auria et al., CompactLight design study, Conf. Proc. 10th International Particle Accelerator Conference (IPAC2019) IPAC 2019.*
- [36] *Gerardo D'Auria et al., Status of the CompactLight Design Study, Conf. Proc. 39th International Free Electron Laser Conference (FEL2019).*
- [37] *M. Aguilar-Benitez, J. Fuster, S. Marti-Garcia, A Santamaria (editors), Proceedings, 37th international conference on high-energy physics (ICHEP2014), Nucl. Part. Phys. Proc. 273-275 (2016)*

Benito Gimeno Martínez (Valencia, 1964) es Catedrático de Electromagnetismo en el Departamento de Física Aplicada y Electromagnetismo de la Universitat de València, y miembro del IFIC. Es responsable del subgrupo de aceleradores de Radio-Frecuencia y lidera la línea de investigación en aceleradores compactos para física médica. También es director del Laboratorio de Materiales de Alta Potencia para Espacio del Consorcio Espacial Valenciano, consorcio público formado por la UV, la UPV, la Generalitat Valenciana, el Ayuntamiento de Valencia y la Agencia Espacial Europea (ESA). Es especialista en teoría electromagnética y electrodinámica clásica aplicada al análisis y diseño de circuitos pasivos de microondas y fenómenos no lineales de alta potencia en Radio-Frecuencia.

Juan Fuster Verdú (Alcoy, 1960). Es el responsable del grupo y lidera la línea de física del quark top. Tiene un largo recorrido en física de partículas. Después de etapas como investigador de plantilla de centros de referencia como DESY en Hamburgo y el CERN en Ginebra, Juan Fuster volvió al IFIC en 1996 para formar el grupo de ATLAS-silicio. En la actualidad es profesor de investigación del CSIC en el IFIC. Juan Fuster ha sido investigador principal de un gran número de proyectos del plan nacional de física de

partículas y europeos (~8 Meuros), ha sido director del IFIC, gestor del plan nacional de física de partículas y coordinador de área del CSIC. Es el actual coordinador institucional del CSIC en la Comunidad Valenciana. En 2005 inició la aportación española al ILC, con la creación de la red de futuros colisionadores. Su aportación es reconocida a nivel internacional con varias posiciones de responsabilidad: presidente de la comisión C11 (partículas y campos) de la Unión Internacional de física básica y aplicada (IUPAP), presidente del grupo de física y detectores del European Linear Collider study, nominado por el European Committee for Future Accelerators (ECFA) y durante un tiempo delegado español en el grupo que gestiona infraestructuras de investigación del OECD Global Science Forum. Ahora es miembro del comité europeo científico nombrado por ECFA para la futura factoría de Higgs y también del grupo para el desarrollo de la fase Pre-lab del ILC. Forma y ha formado parte de comités científicos de laboratorios e institutos tales como DESY, CERN, IFAE, CSIC, IBS-Corea, etc. En 2018 obtuvo el Premio de Investigación Humboldt, uno de los galardones más prestigiosos a la trayectoria científica que se otorgan en Alemania.

Marcel Vos (Doorn, Países Bajos, 1972), licenciado por la Universidad de Utrecht y doctor por la Universidad de Twente, ambas en los Países Bajos. Después de etapas post-doctorales en el INFN de Pisa, el CSIC y la Universidad de Valencia, en la actualidad es científico titular del CSIC en el IFIC. Es investigador principal del proyecto europea AIDA2020 y coordinador del grupo de física del quark top de ATLAS. Representa el IFIC en los experimentos CLIC y Belle II y es miembro de ATLAS y el ILC. Marcel Vos lidera la línea de desarrollo de detectores de silicio de esta propuesta.

Vasiliki Mitsou (Atenas, Grecia, 1972), licenciada y doctora por la Universidad de Atenas y beneficiaria de una beca de CERN Doctoral Student. Tras de etapas post-doctorales en el CERN y el CSIC, en la actualidad es científico titular del CSIC en el IFIC. Es coinvestigadora principal del proyecto ATLAS/futuros colisionadores y coordina las búsquedas de SUSY en ATLAS dentro del grupo. Fundó y lidera el grupo MoEDAL en el IFIC, es Presidenta de la Junta de la Colaboración y recientemente se nombró Coordinadora de Análisis en MoEDAL.

Adrián Irlés Quiles, después de etapas post-doctorales en DESY y CNRS Orsay, se incorporó al IFIC primero con un contrato de Investigador Distinguido y recientemente como Investigador de Excelencia de PlaGenT. Fue miembro de ATLAS y representa el IFIC en el Consejo de Instituciones de CALICE. Lidera el grupo WP5 del proyecto AIDA2020 y es miembro de las colaboraciones ILC, ILD y CLIC. Es miembro del ECFA Early Career Researchers panel.

Daniel Esperante es el científico a cargo del laboratorio de aceleradores de RF de alto gradiente en banda-S del IFIC y profesor asociado en el departamento de ingeniería electrónica de la Universidad de Valencia. Tiene una notable experiencia experimental en instrumentación, electrónica, RF y diseño, puesta en marcha y operaciones de sistemas de adquisición. Ha desempeñado papeles importantes en el diseño, construcción y operación de experimentos CERN e instalaciones de acelerador de RF. Recientemente ha sido galardonado con una beca Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship.

Eduardo Ros Martínez (Madrid, 1956) es investigador titular del CSIC en el IFIC. Ha sido staff en DESY y CERN y ha formado parte de los experimentos DELPHI y ATLAS, donde ha sido responsable de búsquedas de física más allá del Modelo Estándar. Eduardo Ros participa en la línea de física del quark top en futuros colisionadores.

Tan importante como los investigadores de plantilla es el equipo de trabajo. Los post-docs senior como Esteban Fullana y Judita Mamuzic, que dan apoyo fundamental al desarrollo de la labor investigadora, con un contrato de asociado con el CERN para el desarrollo de labor investigadora en el experimento ATLAS y CLIC. El grupo también consta de otros post-docs junior como Nuria Fuster y Daniel González con perfiles científico-tecnológicos en el campo de física de partículas, radio-frecuencia y detectores, y un ingeniero

especialista en diseños mecánicos para instrumentación y en el campo de ultra-alto vacío (César Blanch), los cuales complementan la labor investigadora del grupo. Además se cuenta con el apoyo de ingenieros, tanto de los servicios centrales del instituto como de ingenieros integrados en los proyectos, en las tareas de I+D.

El entorno de un grupo multi-disciplinar es muy propicio para que jóvenes investigadores aprendan a moverse en el mundo de la física de partículas experimental. Los estudiantes doctorales del grupo han presentado tesis doctorales de muy alto nivel. En la tabla presentamos las tesis de doctorado de los últimos cuatro años. Cabe destacar la interdisciplinariedad de los trabajos doctorales, que abarcan varios aspectos del abanico de actividades del grupo. Para muchos de los estudiantes, la estancia en grupo ha abierto las puertas a posiciones de investigación posdoctorales en centros internacionales de reconocido prestigio. Gracias al alto nivel científico del grupo, este ha conseguido atraer estudiantes de gran talento contando con 6 estudiantes realizando su tesis doctoral con dos de ellos con contratos FPU, Pablo Martínez Reviriego (2020) y Alberto Prades Ibáñez (2018).

<b>Doctorando</b>	<b>Tesis (selección de últimos años)</b>	<b>Situación actual/comentarios</b>
Anna Vnuchenko,	Optimization of Medical Accelerators ITN, U. Valencia 2020, dir. B. Gimeno	Post-doc en CERN
Martín Perelló Roselló	Física del Top en colisionadores, U. Valencia 2020, dir. M. Vos	Industria
Pablo Gomis López	Física del top, I+D de detectores, U. Valencia 2019, dir. J. Fuster	Industria
Davide Melini,	HiggsTools ITN, U. Granada 2018, dir. J. Fuster	Post-doc en Technion Haifa
Elena Romero Adam	U. Valencia (2017), XIII Scientific-Technical Prize "City of Algemesí" for young researchers (2018), dir. V. Mitsou	Profesora de secundaria
Nuria Fuster Martínez	Física de aceleradores, U. Valencia 2017, dir. A. Faus-Golfe	CERN Fellow / Post-doc IFIC
Marça Boronat	Física del top, I+D de detectores, U. Valencia 2017, dir. J. Fuster	CERN Fellow
Daniel González	Multipactor en guías de microondas, U. Valencia 2017, dir. B. Gimeno, V. E. Boria. Premio extraordinario U. de Valencia	Post-doc IFIC
Ignacio García	Física del top, I+D de detectores, U. Valencia 2016, dir. E. Ros/M. Vos	Data scientist en Barcelona
Victoria Sánchez	Física del top en ATLAS/computación, U. Valencia 2016, dir. S. Gonzalez/M.Vos	Profesora de secundaria
Jorge Giner	I+D de aceleradores, U. Valencia 2016, dir. B. Gimeno	Contrato senior CIEMAT

## **TRAYECTORIA INTERNACIONAL DEL GRUPO**

El equipo investigador de esta propuesta tiene una intensa colaboración con centros internacionales. Miembros del grupo forman parte de las colaboraciones ATLAS, MoEDAL y de los proyectos ILC y CLIC, que consisten en centenares de físicos de todo el mundo. Desempeñan papeles de relevancia en comités internacionales de gestión de la ciencia. Destacamos aquí la colaboración con la organización europea de física de partículas CERN, en particular con el grupo CLIC, con el centro de física de partículas japonés KEK, el laboratorio alemán DESY de Hamburgo, las Universidades japonesas de Tokio y Tohoku, la Universidad Humboldt de Berlín y el LAL de Orsay. Con los dos últimos se están preparando acuerdos de colaboración específicos y con los demás ya se tienen.

El desarrollo tecnológico en aceleradores se lleva a cabo gracias en gran parte a financiación internacional. Cabe destacar el contrato de colaboración con el CERN para el desarrollo de tecnología de alto gradiente en CLIC y transferencia de conocimiento al laboratorio de alto-gradiente del IFIC. Esta actividad se ha visto reforzada todavía más por la beca post-doctoral del programa Marie Curie de Daniel Esperante y por ayudas conseguidas en el marco de varios proyectos europeos. En la actualidad se colabora con el CIEMAT-CERN para el desarrollo de un acelerador de iones para uso médico.

También el trabajo en I+D de detectores cuenta con una estrecha colaboración internacional. Dentro del marco de la colaboración de I+D DEPFET el IFIC tiene lazos fuertes con la sociedad Max Planck (MPI y HLL en Munich) y la Universidad de Bonn. El desarrollo de sensores con refrigeración integrada está financiado por los proyectos AIDA y AIDA2020.

Investigadores del grupo forman parte de los siguientes proyectos en el programa marco H2020 de la Unión Europea:

- I-LINK: proyecto de internacionalización del CSIC. El grupo del IFIC forma una red con DESY en Hamburgo, y KEK en Tsukuba, y las Universidades de Tokyo y Tohoku para estudiar los quarks de tercera generación en el LHC y el ILC. Contribución del CSIC: 24.000 euros.
- AIDA-innova: proyecto europeo para el desarrollo de infraestructura de I+D de detectores. Seleccionado en diciembre 2020 para iniciar en abril de 2021. Contribución EU: 90.000 euros. M. Vos es el coordinador de WP10 para el desarrollo de sensores de silicio ultra-delgados.
- AIDA2020: precursor de AIDA-Innova de 2015-2019. La contribución del IFIC se centró en el desarrollo de sensores de silicio con micro-canales de refrigeración integrados. Contribución EU: 100.000 euros.
- HiggsTools: red europea para el desarrollo de herramientas teóricas y experimentales para el estudio del bosón de Higgs. La red ha financiado la beca de un estudiante de doctorado (Davide Melini). Aportación EU: 249.000 euros.
- E-JADE: El Europe-Japan Accelerator Development Exchange Programme (E-JADE) fomenta el intercambio de ideas en el área de I+D para futuros colisionadores entre Europa y Japón. El proyecto facilita estancias de investigadores de dos institutos Japoneses (KEK, U. Tokyo) en Europa y estancias de investigadores de los institutos europeos líderes en el área en Japón. Aportación EU: 80.000 euros.
- OMA (Optimization of Medical Accelerators), Marie Curie Initial Training Networks (ITN): Este proyecto europeo reúne a universidades, centros de investigación y centros de tratamiento con haces de iones para afrontar los retos en el tratamiento

de cáncer con técnicas avanzadas. El proyecto define tres líneas de investigación principales: el desarrollo de soluciones para monitorizar los haces, la optimización de tratamientos, y el diseño de las instalaciones. Aportación EU: 248.000 euros.

- CompactLight: proyecto europeo para el desarrollo de las instalaciones “Free Electron Laser” de rayos X en Europa, y a nivel mundial. El proyecto persigue tecnologías de aceleración innovadoras que permitan reducir los costes de las fuentes de luz (hard X-ray). Aportación EU: 80.000 euro.
- HGRF-IFIC (prop nr. 750871), Marie Curie Individual Fellowship otorgada a Daniel Esperante Pereira, para la puesta en marcha y llevar a cabo las primeras pruebas en el laboratorio de RF de alto-gradiente que se está construyendo en el IFIC. “Commissioning, first tests and upgrade of a high-power S-Band Radio Frequency (RF) system for R+D of high-gradient normal-conducting accelerating cavities in breakdown science and RF conditioning”, 2017-2019. Aportación EU: 170.121 €.
- DosLINC6+, Proyecto de la Agencia Valenciana de Innovación (GV) , con una dotación de ~ 300.000 € para el desarrollo de la electrónica de lectura y adquisición del sistema de radiofrecuencia para un acelerador de hadronterapia.

El grupo ATLAS/futuros colisionadores del IFIC ha cerrado, además, varios acuerdos de colaboración con la división de aceleradores del CERN. El contrato de colaboración vigente en la actualidad financia la construcción y puesta a punto de un banco de pruebas para cavidades de radio-frecuencia de alto gradiente en las instalaciones del IFIC. Aportación CERN: 680.000 euros.

El Prof. Benito Gimeno ha participado en diferentes proyectos de la Agencia Espacial Europea y del CERN centrados en métodos para el cálculo electromagnético de estructuras complejas en guías de microondas y en el estudio y simulación de fenómenos de alta potencia, en particular el efecto multipactor, que limitan las prestaciones de componentes a bordo de naves espaciales y de cavidades aceleradoras.

- Novel Investigations in Multipactor Effect in Ferrite and Other Dielectrics used in High Power RF Space Hardware, Agencia Espacial Europea, Código AO1-7551/13/NL/GLC, 2013-2019. Dotación: 300.000 euros
- Development of a Software Tool for the Study of RF Breakdown for Realistic Scenarios: Multicarrier and Modulated Signals, Agencia Espacial Europea, Código 4000111147/14/NL/GLC, 2014-2016, Dotation: 60.000 euros

Los conocimientos en problemas electromagnéticos de microondas y de fenómenos no lineales permitirán abordar el estudio de ruptura en cavidades de radio-frecuencia, ya que las descargas electrónicas de ruptura son un fenómeno de descarga posterior al multipactor que aparece en sistemas de alta potencia de radio-frecuencia. Prof. Gimeno ha trabajado en el diseño de una cavidad de microondas para la detección de axones de materia oscura en colaboración directa con el experimento CAST del CERN.

En la tabla se presenta un resumen de las fuentes de financiación. La aportación total de la financiación internacional de proyectos internacionales alcanza 2.056.000 euros. Esto demuestra de manera significativa la gran capacidad del grupo para atraer recursos adicionales tanto de la Unión Europea como del propio CERN.

Proyecto	Descripción	Dotación (euros)
I-LINK (CSIC 2021-2022)	Red del CSIC para el estudio de quarks de tercera generación con DESY, KEK, U.	24.000

	Tokyo y U. Tohoku	
AIDAInnova (2021-2024)	I+D de detectores, detectores de silicio	90.000
HiggsTools (ITN 20)	Física, explotación de datos de ATLAS,LHC	249.000
AIDA2020 (2015-2019)	I+D de detectores, detectores de silicio	92.000
E-JADE (2017-2019)	Intercambio Japón, I+D de aceleradores y detectores	80.000
OMA (ITN 2016-2020)	Aceleradores, aplicaciones médicas	248.000
CompactLight (2018-2021)	Aceleradores, fuentes de rayos X	80.000
CERN contract KE3968/BE (2018-2020)	Aceleradores, desarrollo cavidades	160.000
CERN contract KE2638/BE (2015-2018)	Aceleradores, desarrollo cavidades	527.000
HGRF (Marie Curie 2017-2019)	Aceleradores, desarrollo cavidades	170.000
DosLINC6+ (AVI 2020-2021)	Aceleradores, desarrollo cavidades	300.000
ESA, AO1-7551/13/NL/GLC, (2013-2017)	Multipactor Effect in Ferrite and Other Dielectrics	300.000
ESA 4000111147/14/NL/GLC, (2014-2016)	Software Tool for the Study of RF Breakdown	60.000
PGC2018-094856-B-I00., Programa estatal de investigación. (2019-2021)	Física en el LHC/ATLAS y en colisionadores e+e	160.00
FPA2015-65652-C4-3-R (2016-2018)	ATLAS, aceleradores, detectores	290.000

En el ámbito autonómico, el grupo disfruta una subvención del programa Prometeo para grupos de investigación de excelencia: PROMETEO 2018/060, “Física de precisión a altas energías: el LHC y futuros colisionadores electrón-positrón”, dotado con 250.000 euros para 4 años. Además, la parte de MoEDAL está financiado del proyecto: PROMETEO II/2017/033, “De la Física del LHC a las Claves del Universo Primordial” dotado con 400.000 euros. Desde el 2017, el equipo de MoEDAL cuenta con el apoyo de la Generalitat Valencia a través de convenios de duración anual con la Universidad de Valencia para la “Ejecución del Experimento MoEDAL del Gran Colisionador de Hadrones (LHC) en el Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN)” que proporcionan 30,000€/año.