



IGFAE
Instituto Galego de Física de Altas Enerxías



**XUNTA
DE GALICIA**

Instituto Galego de Física de Altas Enerxías (IGFAE)

Centro de Investigación de Galicia (2019 – 2022)

Memoria 2021

Enero 2022



**EXCELENCIA
MARÍA
DE MAEZTU**

Instituto Galego de Física de Altas Enerxías (IGFAE)

igfae.usc.es

Índice

• Resumen ejecutivo	3
• Actividad científica de las áreas de investigación	7
○ 90A1 – THE STANDARD MODEL TO THE LIMITS	7
○ SA2_COSMIC PARTICLES AND FUNDAMENTAL PHYSICS	13
○ SA3_ NUCLEAR PHYSICS FROM THE LAB TO IMPROVE PEOPLE´S HEALTH	20
• Personal	31
• Gestión y financiación	35
○ Nuevos proyectos 2021	35
○ Proyectos y actividades apoyados por esta ayuda en el 2021	35
▪ Programa IGNITE	35
▪ Aportación a los laboratorios.	36
▪ Programa de visitantes y estancias de investigadores/as IGFAE	37
▪ Acreditación "Unidad de excelencia - María de Maeztu"	39
▪ Reunión Comité Asesor Externo	39
○ Resumen de la distribución de gasto durante la anualidad 2021	39
• Producción Científica	41
○ Publicaciones destacadas	41
• Investigación e Innovación Responsable (RRI)	45
• Valorización y Transferencia	46
• Carrera Científica	47
○ Talleres, cursos y congresos organizados por el IGFAE	48
• Divulgación y promoción de la cultura científica	53
○ Outreach	53
○ Programación ArtLAB	59
○ Programación EduLab	61
• Anexo 1. Nuevos proyectos	63

- Anexo 2 Publicaciones 2021 66
- Anexo 3. Impacto en medios 68

Índice de ilustraciones

Imagen 1. Vista de la mitad del detector VELO antes de su envío al CERN (26 módulos).....	7
Imagen 3. Diseño modelo para la fabricación de las piezas a medida.....	37
Imagen 4. Nueva identidad visual de los IGFAE-Labs.....	45
Imagen 5. Carteles de los PhD seminars organizados.....	48
Imagen 6. Cartel del curso 'Black holes and Quantum Information'.....	48
Imagen 7. Carteles del congreso y la escucela IDD2021.....	49
Imagen 8. Cartel de los webinar 'How to prepare a ERC call'.....	50
Imagen 9. Curso "Neutron stars physics".....	50
Imagen 10. Pantallazo de algunos de los participantes en la masterclass.....	53
Imagen 11. Cartel de la mesa redonda por el 11F.....	54
Imagen 12. Portada del video 'Particulas de longa vida'.....	55
Imagen 13. Capturas del primer y segundo vídeo en colaboración con Quantum Fracture.....	56
Imagen 14. Capturas del primer y segundo vídeo en colaboración con O son das ideas.....	57
Imagen 15. Carteles: Concurso comunicación científica y IV Semana da Ciencia.....	57
Imagen 16. Cartel de la jornada Ciencia Singular.....	58
Imagen 17. Carteles de los diálogos de 'Transfronteirizas: conversas de arte e ciencia' con Marta Macho Stadler, Anna R. Figueiredo, y Agustín Fernández Mallo y Guillermo Martínez	59
Imagen 18. Cartel y algunos momentos del espectáculo de 'O sonho musical dos mapas celestes'.....	60
Imagen 19. Cartel de taller de construcción de cámaras de niebla.....	61
Imagen 20. Profesorado durante el taller de construcción de cámaras de niebla en el IGFAE.	62
Imagen 21. Modelo de detector de LEGO junto al detector real CMS del CERN.....	63
Imagen 22. Vitrina de exposición de la carta de núcleos.....	63

Resumen ejecutivo

Después de las dificultades derivadas de la situación de pandemia Covid-19 en el año 2020, primer año efectivo de la actividad de Centros de Investigación del SUG, con retrasos significativos en varios de los planes iniciales del IGFAE, en el año 2021 la casi totalidad de las acciones previstas para los dos primeros años de la ayuda fueron puestas en marcha. Los retrasos y cancelaciones en la contratación de extranjeros del año 2020 no se produjeron en el 2021; las acciones de RRI y outreach recuperaron la presencialidad y, con ello, el impacto esperado; los viajes y visitas de investigadores se fueron recuperando poco a poco, etc. En definitiva, pese a que la situación dista de la dinámica habitual pre-pandemia en la vida científica de un centro y de sus investigadores, el impacto se redujo considerablemente respecto al año anterior.

Es de destacar que el IGFAE permaneció abierto durante todo el 2021, con restricciones más fuertes al inicio del año y menores en la segunda mitad – las correspondientes normas vienen siempre dictadas por la aplicación que la Universidade de Santiago de Compostela hace de las normas superiores. Con el fin de favorecer el día a día de los investigadores del IGFAE, así como recuperar la comunicación con el exterior, se pusieron en marcha pequeños programas no inicialmente previstos, como programas de visitantes o programa de viajes, para apoyar a los diferentes programas científicos. Se llevó a cabo también una reestructuración de los espacios del IGFAE, creando despachos comunes para postdocs y reorganizando los puestos de estudiantes de doctorado y junior staff. También se instalaron pizarras en los pasillos – una acción modesta pero que permitió crear dinámicas de comunicación que se habían perdido durante el confinamiento, también por falta de espacios adecuados – y se movió la sala de reuniones después de una cesión de un aula por parte de la Facultad de Física (cuya remodelación para adaptar la ventilación a los requisitos Covid19 fue financiada por el IGFAE).

Las instalaciones del centro siguen siendo uno de los principales problemas a los que nos enfrentamos. El proyecto de ampliación fue terminado durante el 2021 y las obras de demolición en las plantas -2 y -1 de los locales del edificio Monte da Condesa donde se implementará la ampliación se están llevando a cabo y se espera que terminen durante el 2023. Estas obras de demolición significaron también la pérdida de unos espacios en la planta -2 (antiguos locales del INCIPIT) incluyendo un laboratorio de detectores gaseosos que hubo que instalar temporalmente en el

pequeño local que albergaba el CPD del IGFAE antes de su traslado al edificio del CiTIUS y el CESGA. En este momento, después de los derribos, la financiación de la construcción de la ampliación del IGFAE está pendiente de acuerdo entre la USC y la Xunta de Galicia que se espera para los primeros meses del 2022.

En el **apartado de talento**, en el año 2021 se completó la incorporación de los *junior staff* captados en 2020: dos Ramón y Cajal, dos "La Caixa Junior Leader", un Investigador Distinguido de la Xunta de Galicia y un Global Talent, el programa de captación de talento propio del IGFAE. Es de destacar que la normativa desarrollada por la USC durante 2021, con la creación de nuevas figuras de Investigador Distinguido, fue plenamente aprovechada por el IGFAE para sincronizar lo más posible nuestra organización de la carrera científica con las figuras contractuales que la universidad desarrollo a partir de la Ley de la Ciencia. Así, del total de 6 plazas de Investigador Distinguido para los Centros Singulares, el IGFAE financia 3, dos en la categoría Manuela Barreiro y uno en Sergio Vidal.

En este apartado se pusieron también en marcha **acciones para promover y acompañar las solicitudes en programas europeos ERC y MCSA**. Como resultado, se consiguió un contrato Marie Skłodowska-Curie Postdoctoral Fellowship, después de que en las últimas tres convocatorias se incrementasen significativamente el número de solicitudes. La labor de captación llevada a cabo en los últimos años permitió también que se presentasen, por primera vez, tres solicitudes ERC en el mismo año, aunque ninguna de ella consiguió pasar a segunda fase. En noviembre se llevó a cabo un training específico para solicitudes ERC con una consultora con experiencia en el panel PE2 y se está haciendo un seguimiento de los posibles candidatos para 2022 que, sin duda, incrementaron en número a los de 2021.

En febrero de 2021 se completó la solicitud para la renovación **María de Maeztu** y la correspondiente evaluación fue conocida en el mes de julio. Aunque el IGFAE no consiguió renovar en esta ocasión la acreditación, la evaluación fue muy positiva quedando, con 95,30 puntos, y primer centro/unidad por debajo del corte. Esto llevó aparejada una financiación de 200.000 euros para realizar un proyecto estratégico en 2022. La excelente evaluación nos permite ser moderadamente optimistas para el éxito en la siguiente convocatoria de un esquema cada vez más competitivo y complicado.

En el apartado de la **agenda científica del IGFAE** los resultados son plenamente satisfactorios, cumpliéndose los compromisos con las distintas colaboraciones internacionales y publicaciones de relevancia que se detallan en el texto. Queremos

destacar aquí que en 2021 llegaron a su fin los proyectos IGNITE lanzados con la María de Maeztu que fueron presentados por los correspondientes IPs en la reunión del SAB, que llevará a cabo una evaluación de estos. Como estaba previsto, en 2021 **se lanzó la convocatoria IGNITE+ financiada por el programa** de Centros de la Xunta de Galicia, siendo seleccionados dos proyectos después de evaluación internacional. En el apartado de dificultades tenemos que hacer notar que una **grave avería del láser de alta potencia** instalado en L2A2, en el que se llevan a cabo los experimentos del programa de aceleración láser, tuvo parada esta instalación gran parte del año. Como consecuencia, fue necesario un cambio en la planificación de los fondos del IGFAE para financiar la reparación y minimizar el impacto de estos problemas en la actividad científica – que en cualquier caso está siendo grande en el programa SA3_LACC.

Durante 2021 las acciones de RRI que el IGFAE diseñó en forma de unas nuevas estructuras denominadas "IGFAE-Labs" recibieron un impulso definitivo después del parón de 2020. Dos IGFAE-Labs tuvieron una actividad relevante durante este año. **ArtLab**, con la presentación de la performance de música, teatro, artes plásticas y ciencia "O sonho musical dos mapas celestes" que da continuidad a la exposición "CosmoloXías" de 2019, así como la serie de encuentros en YouTube "Transfronteirizas, conversas de arte e ciencia". **EduLab**, el espacio de comunicación con la comunidad educativa llevó también a cabo varias actividades durante el año, como la elaboración de un kit para construir una cámara de niebla – 12 docentes de instituto recibieron un curso y se llevaron un kit para su centro; un videojuego para adquirir intuición sobre el concepto de tiempo en Teoría de la Relatividad; o unos sets de LEGO con diseños de detectores de partículas que fueron distribuidos durante la jornada de puertas abiertas "Ciencia Singular".

Las actividades de outreach continuaron a un ritmo alto, como fue el caso también en años pre-pandemia, incrementándose en este año con un nuevo programa propio de charlas en institutos de secundaria de Galicia. Por último, se comenzaron una serie de colaboraciones con conocidos divulgadores en YouTube, *O Son das Ideas*, especializado en divulgación científica en gallego y *Quantum Fracture*, uno de los divulgadores más seguidos en español en el mundo, con casi tres millones de suscriptores. Los dos primeros vídeos con este último llevan casi un millón y medio de visualizaciones.

El **Scientific Advisory Board (SAB)** del IGFAE se reunió presencialmente el 28 y 29 de octubre, casi medio año más tarde de lo habitual para permitir que las menores

restricciones pandémicas permitiesen la presencialidad. Cinco de los siete miembros del SAB acudieron a la reunión, en la que se llevó a cabo una presentación de las actividades del IGFAE en su conjunto y de tres de sus programas científicos (SA1_LHCB, SA1_HQCD, SA2_NEXT). Los cinco restantes programas se evaluarán en la reunión de 2022 y está previsto continuar esta dinámica de evaluaciones en años alternos en el futuro, permitiendo un uso más eficiente de la visita del SAB. Como se dijo, los resultados finales de los proyectos IGNITE fueron asimismo presentados al SAB para evaluación.

A continuación, presentamos un informe detallado de estas actividades

Santiago de Compostela – enero 2022 – Carlos A. Salgado – Director del IGFAE

Actividad científica de las áreas de investigación

90A1 – THE STANDARD MODEL TO THE LIMITS

Nuestro instituto trabaja activamente en el estudio del Modelo Estándar (SM) de la Física de Partículas, la mejor teoría de la que disponemos actualmente para describir la realidad microscópica. Nuestra actividad investigadora juega un papel fundamental en este campo tan amplio, incluyendo la búsqueda de nueva física más allá del SM en el experimento LHCb (SA1_LHCb), el estudio de la materia en Cromodinámica Cuántica (QCD) en condiciones extremas (SA1_HQCD) y la investigación en teoría de cuerdas tanto desde un punto de vista formal como aplicado (SA1_STRI).

SA1_LHCb: Beyond the Standard Model with LHCb

El experimento LHCb completó su toma de datos de modo muy satisfactorio en 2018, y el periodo de instalación de la fase I de su actualización comenzó en 2019. La flexibilidad inherente al nuevo *trigger* permitirá extender el programa de física del experimento a áreas importantes más allá de la física de sabor.

Investigadores del IGFAE trabajan en la actualización del sub-detector de vértice de LHCb (VELO, Vertex Locator), y el trigger de nivel más alto (HLT). La instalación del nuevo VELO está muy avanzada. Se han fabricado todos los módulos de detección, y finalizado todos los sistemas auxiliares. En estos momentos, una de las mitades del detector ha sido ensamblada y se encuentra de camino al CERN para su instalación en la caverna, ver imagen 1. La segunda mitad, será instalada en febrero del próximo año 2022.



Imagen 1. Vista de la mitad del detector VELO antes de su envío al CERN (26 módulos).

El grupo ha comenzado ya el desarrollo I+D+i en detectores altamente resistentes a la radiación y con medida temporal para la fase 2 de la mejora del experimento (4D tracking ~2030). Las tecnologías de base son, detectores 3D y detectores I-LGAD pixelados.

Hitos 2020 - 2021

PhD Thesis: Development of electronics for the VELO upgrade detector. Antonio Fernández Prieto. Supervisor: Pablo Vázquez. November the 24th 2020.

- Readout Firmware of the Vertex Locator for LHCb Run 3 and Beyond. IEEE Transactions on Nuclear Science. (2021) DOI:10.1109/TNS.2021.3085018.

-Phase I Upgrade of the Readout System of the Vertex Detector at the LHCb Experiment. IEEE Trans.Nucl.Sci. (2020) DOI: 10.1109/TNS.2020.2970534.

-LHCb VELO Timepix3 telescope. 2019 JINST 14 P05026. DOI:10.1088/1748-0221/14/05/P05026.

2019 Organization: Topical Workshop on Electronics for Particle Physics TWEPP-19. Santiago de Compostela.

2019-2022. VELO DAQ and firmware coordinator (Edgar Lemos).

2019-2022 LHCb Spanish link in the LHCb Finance board and deputy of the LHCb RRB (Abraham Gallas).

2019-present LHCb VELO Project Collaboration chair (Abraham Gallas).

2021-2023 VELO ECS commissioning & Calibration coordinator (Antonio Fernández).

Una de las características principales de la actualización de LHCb es el trigger implementado completamente en software. La posibilidad de un trigger del nivel más alto basado en GPUs en vez de en CPUs puede mejorar significativamente la potencia de cálculo por euro de la farm para todas las fases de la actualización. El IGFAE contribuye al desarrollo de los algoritmos de clusterización e identificación de muones y trazas del VELO, usando GPUs. El trabajo en un trigger de identificación de desintegración de partículas con extrañeza progresa adecuadamente. La implementación completa de un trigger de primer nivel para la actualización del detector LHCb se ha completado y publicado: *Allen: A high level trigger on GPUs for LHCb, Computing and Software for Big Science 4, 7 (2020)*. Allen es el primer trigger completo de alta capacidad propuesto para un experimento de física de altas energías.

Desde 2018, las tareas de reconstrucción y trigger de LHCb se organizan en un grupo de trabajo análogo al de los subdetectores, llamado Real Time Analysis (RTA). El IGFAE participa en la parte española del RTA.

El año 2021 ha sido muy exitoso para la producción de resultados físicos de LHCb, con unos 600 artículos publicados desde el comienzo de la colaboración. En la base de datos SCOPUS, más del 95 % de los artículos publicados, lo han sido en revistas del primer decil.

Las líneas principales de análisis en el IGFAE son: la medida de observables sensibles a la violación de la universalidad leptónica en desintegraciones de hadrones con quarks b, la medida de observables que violan CP en desintegraciones de Bs, el estudio de desintegraciones muy poco frecuentes de mesones con quarks b y s, y la medida de observables en colisiones protón-plomo.

Las siguientes publicaciones de LHCb durante 2021 se encuentran entre las más relevantes:

Evidence of a structure and observation of excited states in the decay.

R. Aaij et al. (LHCb Collaboration),

Science Bulletin 66 (2021) 1278–1287.

DOI: 10.1016/j.scib.2021.02.030

Angular analysis of the decay.

R. Aaij et al. (LHCb Collaboration)

Phys. Rev. Lett. 126, 161802 (2021)

DOI: 10.1103/PhysRevLett.126.161802

Measurement of differential bb and cc-dijet cross-sections in the forward region of pp collisions at TeV.

R. Aaij et al. (LHCb Collaboration)

JHEP 02 (2021) 023.

DOI: 10.1007/JHEP02(2021)023

Calibration of the momentum scale of a particle physics detector using the Armenteros-Podolanski plot.

P. Baladron et al.

JINST 16 P06036 (2021).

DOI:10.1088/1748-0221/16/06/P06036

Este artículo, realizado por miembros del IGFAE, describe un nuevo método para calibrar la escala de momentos de un detector de partículas. El método se basa en medir la masa de las partículas del estado final (tales como muones o protones) en desintegraciones a dos cuerpos, y usar dichos valores para corregir la escala de momentos, usando una versión modificada del plot de Armenteros-Podolanski

Nuevos proyectos, como el experimento Codex-b desarrollado por Xavier Cid Vidal, han empezado recientemente, Esta iniciativa cuenta con financiación en el marco de IGFAE Ignite projects.

En cuanto a gestión científica, los investigadores del IGFAE ocupan puestos relevantes, como la dirección de diferentes grupos de LHCB: Xavier Cid Vidal coordina el de Dark Matter y Jeremy Dalseno el de B-meson decays. Abraham Gallas Torreira es director del VELO project en la colaboración.

SA1_HQCD: Hot and dense QCD in the LHC era and beyond

El estudio de la materia de QCD a altas temperaturas y densidades constituye el área de interés fundamental del grupo de fenomenología del IGFAE. A condiciones extremas de temperatura y presión, la materia se encuentra formando un plasma de quarks y de gluones (QGP) que originalmente formaría nuestro universo tras el Big Bang. Tratamos de caracterizar este estado desarrollando actividades de investigación en diferentes líneas: colisiones de iones pesados, QCD a alta energía y modelos efectivos como el modelo de Skyrme.

A continuación, pasamos a detallar algunos de los resultados obtenidos.

Mediante el uso de las llamadas **pruebas duras**, como el quarkonio o los jets, se puede caracterizar el QGP. Algunos de los artículos relacionados son:

- The nature of X(3872) from high-multiplicity pp collisions, Eur.Phys.J.C 81 (2021) 669
- Medium evolution of a static quark-antiquark pair in the large N_c limit, Phys.Rev.D 103 (2021) 3, 034010
- Bottomonium suppression in an open quantum system using the quantum trajectories method., JHEP 05 (2021) 136
- Phenomenological study of quarkonium suppression and the impact of the energy gap between singlets and octets, Phys.Rev.D 104 (2021) 5, 054034

- From soft to hard radiation: the role of multiple scatterings in medium-induced gluon emissions, JHEP 03 (2021) 102
- Jet quenching test of the QCD matter created at RHIC and the LHC needs opacity-resummed medium-induced radiation, Phys.Lett.B 816 (2021) 136251
- A modified in-medium evolution equation with color coherence, JHEP 05 (2021) 148
- A quantum strategy to compute the jet quenching parameter \hat{q} , Eur.Phys.J.C 81 (2021) 862

El quakonium constituye el objetivo de estudio de los primeros 3 artículos mencionados. Así, en el primero de ellos se estudia la posibilidad de aplicar fenómenos hasta el momento únicamente implementados en colisiones nucleares a las colisiones protón-protón de alta densidad. Ello permitiría identificar la naturaleza de las nuevas partículas descubiertas en el LHC, como el X(3872). Esta partícula no está constituida por un conjunto de 3 quarks o de un quark y antiquark, como los bariones y mesones, sino que tiene una naturaleza diferente. Dos posibilidades se abren para su identificación: molécula o tetraquark. Nuestro análisis favorece la segunda de las dos posibilidades y abre una nueva vía de estudio para estos estados, genéricamente denominados XYZ.

El estudio de partículas de alto momento transversal, denominadas jets, constituye el objetivo de los otros artículos mencionados. Además, el uso de jets para el estudio de los primeros instantes de las colisiones nucleares del LHC constituye el eje central de la ERC Advanced Grant "Yoctosecond Imaging of QCD collectivity using jet observables (YoctoLHC)" otorgada a Carlos Salgado.

Hemos continuado nuestro estudio de los estados iniciales a través del Color Glass Condensate en:

- Particle correlations from the initial state, Eur.Phys.J.A 56 (2020) 8, 215
- Angular correlations in pA collisions from CGC: multiplicity and mean transverse momentum dependence of v_2 , Eur.Phys.J.C 81 (2021) 7, 583
- Multi-particle production in proton-nucleus collisions in the color glass condensate, Eur. Phys. J. C 81 (2021) 8, 760

Nuestro grupo está implicado en la elaboración de casos físicos para los experimentos futuros. Concretamente, durante 2021 hemos estudiado oportunidades a desarrollar en los experimentos de blanco fijo en el LHC (AFTER@LHC), y en el LHeC (e-Print: 2007.14491, aceptado en J. Phys. G).

Néstor Armesto es miembro del comité del LHeC y Elena G. Ferreiro es miembro de la comisión del Electron Ion Collider.

Finalmente, la aplicación del modelo de Skyrme y sus soluciones solitónicas aparecen detalladas en:

- Incompressible topological solitons, Phys.Rev.D 102 (2020) 10, 105007
- BPS Skyrme neutron stars in generalized gravity, JCAP 08 (2020) 041
- The Dielectric Skyrme model, Phys.Lett.B 807 (2020) 135560
- Adding crust to BPS Skyrme neutron stars, Phys.Rev.D 102 (2020) 2, 023019
- Inflationary twin models, Phys.Rev.D 101 (2020) 6, 063514
- Quasiuniversal relations for generalized Skyrme stars, Phys. Rev. D103 (2021) 023022

En este último artículo, aparece la aplicación del modelo Skyrme para ondas gravitacionales, y posibilita una relación entre SA_1 y SA_2.

Como hemos mencionado, los miembros de este grupo han tenido importantes roles institucionales este año, como la función de Elena G. Ferreiro como presidenta del Governing Board del consorcio Strong2020, donde Carlos Salgado es miembro del Executive Board y Néstor Armesto leader de una de las acciones o Working Packages, así como la ERC Advanced Grant "Yoctosecond Imaging of QCD collectivity using jet observables (YoctoLHC)" dirigida por Carlos Salgado.

SA1_STRI: String theory and related fields

Por último, el grupo de teoría del IGFAE ha desarrollado su investigación en áreas formales como la Teoría de Cuerdas, que relaciona la Relatividad General y la Mecánica Cuántica. Tres líneas fundamentales son: Métodos holográficos, correspondencia AdS/CFT y gravedad cuántica. La correspondencia AdS/CFT, también denominada dualidad holográfica, es una bisagra que se sitúa en el vértice entre la gravedad cuántica y las teorías de las interacciones gauge.

Por el lado de las teorías cuánticas de campos fuertemente acopladas, gracias a la correspondencia AdS/CFT se pueden reformular modelos para estos sistemas físicos cuánticos en términos de una teoría de gravedad clásica con materia en una variedad auxiliar de dimensión mayor.

Poniendo el énfasis en la gravedad cuántica, el uso de holografía permite, mediante modelos de mecánica cuántica como el denominado SYK escudriñar propiedades cuánticas de la gravitación como la evaporación de agujeros negros.

Algunas de las publicaciones relacionadas son:

- Risking your NEC, JHEP 10 (2021) 112
- Universal renormalization procedure for higher curvature gravities in $D \leq 5$, JHEP 09 (2021) 142
- Towards geometric inflation: the cubic case, Phys.Lett.B 802 (2020) 135272
- Geometric Inflation, Phys.Lett.B 802 (2020) 135242
- Holographic Floquet states in low dimensions, JHEP 10 (2020) 013
- Holographic spontaneous anisotropy, JHEP 04 (2020) 062

SA2_COSMIC PARTICLES AND FUNDAMENTAL PHYSICS

Los **neutrinos**, son las partículas elementales más abundantes del universo. Varios descubrimientos en la última mita del siglo XX los han situado en el foco de atención de diversas investigaciones sobre cuestiones fundamentales acerca de la naturaleza de la materia y evolución del universo. En 2021 el IGFAE ha participado activamente en dos experimentos dedicados a estos estudios: NEXT (España), DUNE (E.E.U.U.), iniciando además el estudio de las posibilidades de participación en un tercero: Hyper-Kamiokande (Japón).

Participación en el experimento de doble beta NEXT:

NEXT es una colaboración internacional compuesta principalmente por instituciones españolas: IFIC (Valencia), DIPC (Donosti), IGFAE (Santiago) y de E.E.U.U.: FermiLab (Chicago, Illinois), U. Texas Arlington, U. Harvard (Massachusetts), y cuyo objetivo es la construcción del detector NEXT-100 en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) en España con el que realizar la búsqueda de una desintegración hipotética, la desintegración doble beta sin neutrinos del núcleo de Xenón 136, que en caso de descubrirse demostraría que el neutrino es su propia antipartícula, lo que supondría un profundo cambio en nuestra comprensión de la Física de Partículas y Cosmología de Universo.

El grupo de IGFAE-NEXT ha participado en la toma de datos, desarrollo de software y análisis de datos del prototipo NEXT-White que ha estado operativo desde 2017 al 2021 en el LSC; y también en la preparación y estimación de las capacidades del próximo detector, NEXT-100, que se espera entre en funcionamiento en el LSC en

2022. El grupo NEXT del IGFAE también participa en la toma y análisis de datos de un prototipo mas pequeño, DEMO++, instalado en IFIC (Valencia).

J. A. Hernando, profesor titular e investigador del IGFAE, es miembro del “steering committee” del experimento NEXT, M. Kekic, postdoc del grupo, ha sido la directora técnica del software de la colaboración. J. Renner, igualmente postdoc, ha dirigido la toma de datos del prototipo DEMO++, en el IFIC de Valencia. G. Díaz, es el principal autor de la implementación por simulación del detector NEXT-100 y participa en los estudios de los datos del detector DEMO++, así como en la estimación del rendimiento del detector en construcción NEXT-100. El grupo se ha reforzado en 2021 con la incorporación de dos nuevos estudiantes en el grupo: C. Hervés, que participa en los estudios de calibración de NEXT-100, y M. Pérez, que junto con M. Kekic, ha desarrollado redes neuronales para mejorar la capacidad de identificación de la señal en NEXT. M. Kekic es la autora del artículo, “*Demonstration of background rejection using deep convolutional neural networks in NEXT experiment*”, JHEP 01 (2021) 189, [[arXiv:2009.10783](https://arxiv.org/abs/2009.10783)]

Participación en el experimento de neutrinos Hyper-Kamiokande

Hyper-Kamiokande (HK) es el siguiente gran detector de neutrinos que se construye en la mina de Kamioka en Japón, y que sucede a los exitosos Super-Kamiokande y Kamiokande, con los que se descubrieron las oscilaciones de neutrinos atmosféricos, por los cuales, el director del experimento, A. Kajita recibió el premio Nobel en 2015. Gracias a un acuerdo bilateral Japón-España, el grupo de neutrinos IGFAE participa en HK desde 2021, junto con otras instituciones españolas, UAM (Madrid), IFAE (Barcelona), UPV (Valencia), DIPC (Donosti), bajo la dirección del LSC (Canfranc).

J. Renner dirige la contribución del IGFAE con el diseño y construcción de una fuente externa de calibración de los sensores PMTs, que para su validación se va a instalar en el prototipo de HK, denominado WCTE, en el CERN (Ginebra). Dicha fuente será construida por la industria española, se valida su funcionamiento en el instituto antes de hacerla operacional el WCTE en el CERN. El grupo plantea en el futuro contribuciones en el WCTE y HK en el desarrollo de algoritmos de reconstrucción e identificación de partículas y de aplicaciones de redes neuronales.

Participación en el experimento de neutrinos DUNE:

El año 2021 ha sido muy importante dado que durante él se ha establecido la viabilidad de una nueva mezcla de gases compatible con el uso del centelleo

primario en el detector cercano de DUNE (NDGAR). En concreto, se ha demostrado que el uso de Ar-CF₄ al 1% (molar) proporciona una intensidad de centelleo que permitiría detectar hadrones de energías tan bajas como 5 MeV así como leptones energéticos que atraviesan la TPC completamente, con resoluciones temporales por debajo del ns. Esto permitirá extender el programa experimental actual a la reconstrucción de

i) neutrones y gammas (los primeros en especial son predominantes en interacciones de neutrinos a través de corriente neutra, y para los cuales es necesario hacer una medida de tiempo de vuelo con la ayuda del calorímetro externo, que tiene esta resolución en tiempo por diseño) así como

ii) eventos 'beyond standard model' producidos en la dirección hacia adelante aprovechando la configuración 'beam-dump' de los aceleradores de neutrinos y, lo que es más importante,

iii) Dota a NDGAR de su propio programa de física independiente, centrado en la reconstrucción en 4pi de interacciones de neutrinos hasta energías potencialmente tan bajas como 1 MeV, incluyendo corriente cargada y neutra.

iv) Aumenta la sensibilidad a la fase CP del programa principal de oscilaciones a través de la mejora en la reconstrucción de procesos hadrónicos de baja energía, así como en la reconstrucción de la producción múltiple de piones, aspectos cuya importancia ya ha sido demostrada en simulación.

La posibilidad de obtener una reconstrucción por centelleo de hasta 1 ns para trazas de 5 MeV se basa en las medidas realizadas en el laboratorio de detectores gaseosos del IGFAE, simulaciones de transporte de electrones en gases, simulaciones de Geant4 incluyendo la propagación de la luz en la TPC y una primera propuesta conceptual que está ya en fase de diseño ingenieril.

De manera importante, el proyecto NDGAR ha recibido a finales de Octubre el espaldarazo directo del DOE, con una carta del Director Asociado de Ciencia para Física de Altas Energías (J. Siegrist) dirigida al director de FermiLab (N. Lockyer) en la que aboga por el inicio oficial del programa de I+D relativo a NDGAR en EEUU. Al haberse iniciado el I+D en IGFAE con anterioridad (hace dos años), el centro queda así en una posición estratégica de liderazgo natural y de hecho Diego González coordina las reuniones tri-semanales del proyecto ('DUNE-TUNE') además de haber sido invitado como ponente en la conferencia de TPCs de París este Diciembre, designado por la colaboración DUNE. Con anterioridad, este año, Diego González

también ha sido el ponente de la temática de TPCs para la detección de eventos extraños designado para la reunión ECFA en Europa. DGD también está en la actualidad implicado en el proceso Snowmass en EEUU con trabajos relacionados con el estudio de reacciones elementales en neutrino-H / neutrino-d y neutrino-He así como nuevas estructuras de amplificación.

En la actualidad los esfuerzos se centran en captar financiamiento en plan nacional con un proyecto coordinado con la Universidad de Vigo para poder así avanzar en los aspectos de diseño y prototipaje y, especialmente, poder estabilizar el equipo de trabajo.

La **Astronomía de Multimensajeros** consiste en la observación y estudio del universo con diferentes tipos de partículas (neutrinos, fotones y rayos cósmicos) así como con diferentes tipos de radiación (ondas electromagnéticas y ondas gravitacionales). El IGFAE está contribuyendo activamente a desarrollo de este tipo de Astronomía, en pleno auge y en la que la comunidad científica internacional está realizando grandes esfuerzos, a través de su participación en el Observatorio de Rayos Cósmicos Pierre Auger (Argentina) y en los interferómetros de Ondas Gravitacionales LIGO (EE. UU.) y Virgo (Italia).

Participación en el Observatorio de rayos cósmicos y neutrinos Pierre Auger.

El Observatorio Pierre Auger en Malargüe, Mendoza (Argentina) es el detector de rayos cósmicos de ultra-alta energía (UHECR), con energías alrededor y por encima de 10^{18} eV, más grande y preciso del mundo. El grupo de Astrofísica de Partículas del IGFAE ha estado involucrado en la construcción y operación de este Observatorio desde sus comienzos liderando la participación española.

En 2021 el Grupo de Astrofísica de Partículas del IGFAE ha contribuido de manera directa a la primera medida del contenido de muones en cascadas de partículas iniciadas por UHECR detectados en el Observatorio Pierre Auger en Argentina (*Measurement of the fluctuations in the number of muons in extensive air showers with the Pierre Auger Observatory*. A. Aab et al. - The Pierre Auger Collaboration - Physical Review Letters 126, 152002 (2021), DOI: 10.1103/PhysRevLett.126.152002). Ya desde el año 2015 se sabe que el número de muones en las cascadas es significativamente mayor que el que predicen los modelos de interacción hadrónica. Esta nueva medida demuestra que las fluctuaciones en dicho número se predicen de manera adecuada. La conclusión es que el déficit de muones observado en las simulaciones probablemente se deba a algún cambio relativamente pequeño en las interacciones hadrónicas con respecto a lo teorizado hasta el momento, cambio que

se va acumulando a medida que se desarrolla la cascada, un resultado de gran relevancia en Física Hadrónica realizada con detectores de rayos cósmicos. Estas investigaciones fueron responsabilidad directa de varios miembros del IGFAE.

En 2021, el grupo de Astrofísica de Partículas del IGFAE ha contribuido a la medida del espectro de rayos cósmicos (UHECR) por encima de 0.1 EeV, utilizando para ello los eventos detectados con la red de detectores a 750 m de distancia unos de otros del Observatorio de Rayos Cósmicos Pierre Auger en Argentina (*The energy spectrum of cosmic rays beyond the turn-down around 0.1 EeV as measured with the surface detector of the Pierre Auger Observatory*, P. Abreu et al. - The Pierre Auger Collaboration - European Physics Journal C 81, 966 (2021). DOI: 10.1140/epjc/s10052-021-09700-w). Esta publicación complementa a la medida más precisa realizada hasta el momento del espectro de los rayos cósmicos con energía superior a 2.5 EeV realizada con la red de detectores separados 1500 m (*Features of the energy spectrum of cosmic rays above 2.5 EeV using the Pierre Auger Observatory* A. Aab et al. - The Pierre Auger Collaboration - Physical Review Letters 125, 121106 (2020). DOI: 10.1103/PhysRevLett.125.121106). La importancia de la precisión y amplio rango de energía de estas medidas radica en que el espectro contiene información acerca de las fuentes todavía no identificadas de los UHECR, una de las cuestiones fundamentales en Astrofísica de Partículas.

El grupo del IGFAE además ha llevado a cabo estudios de Astronomía de Multimensajeros. En concreto en el artículo *A search for ultra-high energy neutrinos from TXS 0506+056 using the Pierre Auger Observatory*, A. Aab et al. - The Pierre Auger Collaboration - The Astrophysical Journal, 90, 105 (2020). DOI: 10.3847/1538-4357/abb476 se presenta el seguimiento en UHE neutrinos con Auger de la galaxia activa TXS 0506+056. Esta es la primera fuente detectada en neutrinos de más baja energía que los que se buscan en Auger detectados por el observatorio IceCube y en rayos gamma observados con satélites y observatorios en tierra. La no observación de neutrinos de ultra-alta energía procedentes de la dirección de esta fuente condujo al establecimiento de límites superiores al flujo de neutrinos. Estas investigaciones fueron responsabilidad directa de dos miembros del IGFAE, E. Zas como coordinador de la tarea de Multi-Mensajeros y J. Álvarez como coordinador de la tarea de Partículas Neutras dentro de la Colaboración experimental internacional Pierre Auger.

Cabe destacar que todos estos resultados han sido presentados en 2021 en la 37th International Cosmic Ray Conference ICRC 2021, celebrada en Berlin (online por

motivos de la COVID-19), la conferencia de mayor importancia en el campo de la Astrofísica de Partículas.

Desarrollos de radiodetección para futuros experimentos de neutrinos.

En 2021 el grupo de Astrofísica de Partículas del IGFAE continuó su participación en el desarrollo conceptual de varios experimentos de enorme exposición para la detección de neutrinos de ultra-alta energía mediante la llamada técnica de radio. Esta técnica consistente en la observación de ondas electromagnéticas de frecuencias MHz – GHz generadas en las cascadas de partículas iniciadas por neutrinos bien en la atmósfera o en medios transparentes y densos como el hielo de la Antártida. En concreto el grupo ha contribuido al estudio del diseño y sensibilidad del experimento Particle Universe Extreme Observatory (PUEO) consistente en un globo que vuela alrededor de la Antártida llevando una red de antenas para la observación de neutrinos que interaccionen con el hielo de energías superiores a 10^{18} eV (*The Payload for Ultrahigh Energy Observations (PUEO): A White Paper*, Q. Abarr et al. - JINST 16 (2021) 08, P08035. DOI: 10.1088/1748-0221/16/08/P08035). PUEO se beneficiará de la experiencia acumulada con su antecesor el experimento ANITA (ANtarctic Impulsive Transient Antenna) incorporando un diseño que mejora la sensibilidad de ANITA en más de un orden de magnitud a energías por debajo de 3×10^{19} eV. Este diseño también se ha presentado en la conferencia ICRC 2021 indicada antes.

Participación en análisis de datos del experimento de ondas gravitacionales LIGO

El grupo de Astronomía con Ondas Gravitacionales del IGFAE liderado por T. Dent es miembro de la colaboración LIGO, que ha desarrollado, mantiene y constantemente actualiza el canal de búsqueda de ondas gravitacionales denominado "PyCBC" entre los datos de los interferómetros LIGO en EE.UU. y Virgo en Italia para la detección de ondas gravitacionales. En 2021 el grupo continuó sus actividades de análisis de datos recogidos en estos detectores y en concreto la búsqueda de señales procedentes de la fusión de objetos binarios compactos como agujeros negros (BBH) o estrellas de neutrones (BNS), así como el estudio de las propiedades y mecanismos de formación de los sistemas binarios de agujeros negros, y también en colaboración con el grupo de Astrofísica de Partículas el seguimiento de estas fuentes en neutrinos de ultra-alta energía.

Después de varios meses de análisis exhaustivo, las colaboraciones LIGO y Virgo publicaron en 2021 la segunda parte del catálogo de detecciones de ondas gravitacionales (disponible en [arXiv:2010.14527](https://arxiv.org/abs/2010.14527)) y que complementa a la primera parte ya publicado (*GWTC-2: Compact Binary Coalescences Observed by LIGO and Virgo during the First Half of the Third Observing Run*. R. Abbott et al. - LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration - Physical Review X 11, 021053 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevX.11.021053). Entre los eventos detectados destaca la señal GW190512 que corresponde a un nuevo tipo de agujero negro de 150 masas solares formado a partir de la fusión de dos agujeros negros. Este tipo de agujeros negros de “*masa intermedia*” representan una especie de eslabón perdido entre agujeros negros estelares de menos de 100 masas solares y agujeros negros supermasivos de millones de masas solares (*GW190521: A Binary Black Hole Merger with a Total Mass of 150 Msun*. R. Abbott et al. - LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration. Phys. Rev. Lett. 125, 101102 (2020). DOI: 10.1103/PhysRevLett.125.101102). Es más, el investigador del IGFAE Juan Calderón Bustillo en un artículo de gran impacto mundial, ha participado en una interpretación alternativa a la fusión de dos agujeros negros de GW190521 (*GW190521 as a merger of Proca stars: a potential new vector boson of 8.7×10^{-13} eV*. Juan Calderón Bustillo et al. Physical Review Letters 126, 081101 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevLett.126.081101). Esta señal presenta evidencias de que la fusión podría haber sido en realidad una colisión de estrellas constituidas por partículas bosónicas de muy baja masa, también llamadas estrellas de Proca, aportando indicios de Física más allá del Modelo Estándar de las interacciones fundamentales. Además, entre los datos analizados por los investigadores del IGFAE se encuentran las primeras señales que podrían tener su origen en la fusión de una estrella de neutrones y un agujero negro (NSBH) un nuevo tipo de sistema astrofísico binario jamás observado (*Observation of gravitational waves from two neutron star-black hole coalescences*. R. Abbott et al. - LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration - Astrophysical Journal Letters, 915, L5 (2021). DOI: 10.3847/2041-8213/ac082e).

El estudio de la distribución de masas y espines de las fuentes en el que IGFAE ha participado, ha conducido a una mejor comprensión del mecanismo que ha originado las fusiones de agujeros negros (Population Properties of Compact Objects from the Second LIGO–Virgo Gravitational-Wave Transient Catalog. R. Abbott et al. - LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration - Astrophysical Journal Letters 913, L7 (2021). DOI: 10.3847/2041-8213/abe949). Además, gracias a estas nuevas

observaciones se ha comprobado la Teoría de la Relatividad de Einstein de manera más profunda en comparación con estudios anteriores (*Tests of General Relativity with Binary Black Holes from the second LIGO-Virgo Gravitational-Wave Transient Catalog*. R. Abbott et al. – LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration - Physical Review D 103, 122002 (2021). DOI: 10.1103/PhysRevD.103.122002).

El IGFAE cuenta además con un clúster de computación de altas prestaciones financiado por la Xunta de Galicia para uso del grupo de Astronomía de Ondas Gravitacionales, con 38 máquinas en el Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA) con una potencia de cálculo agregada de 21016 SI17 (el SI17 es una unidad de medida definida por el test "SPEC Integer base 2017" de la organización SPEC <https://spec.org> desarrollado para evaluar la potencia de cálculo de los procesadores). Todas las máquinas poseen un disco duro SSD de al menos 256 Gb para alojar el sistema operativo y otro disco de al menos 1 TB para el almacenamiento temporal de los datos necesarios para ejecutar los trabajos que se envíen al clúster.

Desarrollos para el experimento de ondas gravitacionales Virgo

En lo referente a las actividades de instrumentación del experimento de ondas gravitacionales Virgo en Italia, ya en 2020 se realizó un estudio de mercado para la adquisición del equipamiento necesario del futuro laboratorio de ondas gravitacionales, a saber, un láser estable y de alta precisión para la caracterización del interferómetro Virgo. No se procedió a su adquisición en 2021 puesto que el IGFAE todavía carece de un espacio acondicionado para su instalación.

SA3_ NUCLEAR PHYSICS FROM THE LAB TO IMPROVE PEOPLE'S HEALTH

La actividad desarrollada en el IGFAE en el área de física nuclear cubre un espectro de actuación muy amplio que va desde la investigación fundamental, en grandes instalaciones internacionales hasta el desarrollo de aplicaciones sociales en el campo de la radiactividad natural y de la física médica. Estas actividades están articuladas entorno a tres ejes: el estudio de la estructura y dinámica de los sistemas nucleares y sus implicaciones astrofísicas y cosmológicas, la explotación del Laboratorio Laser para Aplicaciones y Aceleración de Partículas (L2A2) y la actividad desarrollada alrededor del Laboratorio de Análisis de Radiaciones (LAR)

Desarrollamos a continuación algunos de los principales hitos alcanzados en los diferentes programas de investigación.

SA3_NUCL: The structure of the nuclear many-body systems and its astrophysical and cosmological implication

En este programa de investigación desarrollamos actividades experimentales en instalaciones y colaboraciones internacionales

Experimentos en instalaciones de alta energía. Contribution al experimento R3B/FAIR

Siguiendo la estrategia del IGFAE, desarrollamos un programa científico en la mayor instalación de Física Nuclear del mundo FAIR (<https://fair-center.eu/>). Nuestro programa hace uso de reacciones nucleares inducidas por haces de proyectiles exóticos a energías relativistas a partir de las cuales caracterizamos los mecanismos de reacción y obtenemos información acerca de la estructura y dinámica de los sistemas nucleares lejos de la estabilidad en el experimento R3B. El compromiso del IGFAE con este experimento es muy alto. Dolores Cortina es desde 2017 Spokesperson de este experimento y estamos entre los grupos con mayor inversión (capital humano e instrumentación) en el mismo, financiada por proyectos competitivos del MICIN y financiación estructural de la Xunta de Galicia (GRC).



Figura 1. Vista aérea del estado de avance de la obra civil del proyecto FAIR. La construcción de la HEC (High Energy Cave) que albergará el experimento R3B está muy avanzada

La obra civil del complejo de aceleradores, así como la construcción de las áreas experimentales de FAIR, está muy avanzada tal y como se muestra en la Figura 1. La puesta en marcha de este proyecto FAIR se realiza en etapas. La primera (Phase 0), que utiliza el acelerador SIS18 de GSI y sus áreas experimentales mejoradas con instrumentación construida para FAIR se inició en 2020. En 2021 R3B ha desarrollado una importante actividad experimental con una participación muy relevante del equipo del IGFAE.

- Lideramos el primer experimento de fisión $S455$ inducida por un haz relativista de ^{238}U sobre un blanco de LH_2 en régimen cuasielástico ($p, 2\text{pf}$). Este experimento utiliza un complejo sistema de detección (ver Figura 2) en el cual el calorímetro CALIFA diseñado y parcialmente construido en Santiago juega un papel primordial. Este experimento servirá de base para la determinación de barreras de fisión de núcleos exóticos relevantes para el proceso r de nucleosíntesis estelar. Dos de nuestros estudiantes : AG y GM están a cargo del análisis e interpretación de este experimento.

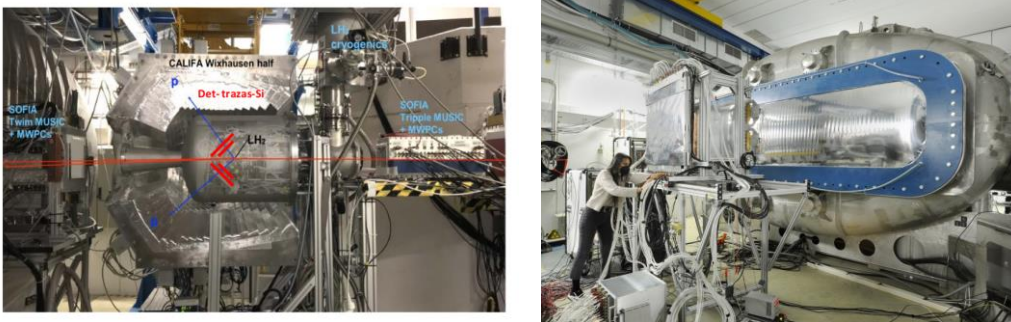


Figura 2: Sistema de detección utilizado en el experimento $S455$. Izquierda: Detalle de los detectores en la zona del blanco de reacción. Derecha: Detalle de la rama de detección de fragmentos pesados

- Participamos en el experimento $S515$ dedicado al estudio del término de energía de simetría de la ecuación de estado de la materia nuclear para densidades próximas a la saturación, a partir de la determinación de secciones eficaces de arranque de un neutrón en núcleos pesados ricos en neutrones. Otra de nuestras estudiantes: MF realiza su proyecto de tesis doctoral en este proyecto.
- Participamos en la preparación de la campaña de medidas en R3B (montaje, pruebas de funcionamiento, desarrollo de software) para 2022 dedicadas al estudio de las correlaciones de corto alcance en materia nuclear exótica.

- Participamos en la preparación de Letters of Intent organizada por FAIR para definir la estrategia de la colaboración R3B en los años 2023 – 2025. Una de las propuestas está liderada por el equipo de Santiago y que tiene por objetivo comprender la supresión del canal de arranque de protones en reacciones inducidas por haces ricos en neutrones.

Desde el punto de vista instrumental, nuestro equipo ha centrado su contribución en los detectores que se encuentran en la zona del blanco de R3B.

- Durante mas de 10 años lideramos la construcción de CALIFA. Actualmente lo hacemos en el sector **CEPA** (entre 7 y 24 grados polar). Desarrollamos e una doble solución
 - un detector tipo phoswich CsI/GAGG(*CEPA_GAGG*) leídos con fotosensores de avalancha LAAPD. Los primeros prototipos de GAGG acaban de llegar a nuestro laboratorio e iniciamos un periodo de I+D que se extenderá hasta finales de 2022.
 - en paralelo, y para garantizar la cobertura angular de CALIFA para los experimentos a partir de 2023 hemos iniciado la construcción de una solución basada en cristales de CsI CEPA-CsI. La respuesta de los primeros prototipos de esta solución está siendo probada (noviembre de 2021) con un haz de protones en el acelerador alemán COSY Jülich.
- El **Si-Tracker** rodea el blanco de R3B. Es un instrumento fundamental para la determinación de barreras de fisión de isótopos muy ricos en neutrones, o el estudio de las distribuciones de masa y carga de estos fragmentos de fisión en función de la energía de excitación. Trabajamos en una propuesta con dos, o tres capas de detectores de Si altamente pixelados cuyo espesor sea tan delgado como sea posible. El punto de partida, la tecnología desarrollada (y en curso de desarrollo) en otras colaboraciones ALICE, AMBER. Nuestro primer hito, junto con otros equipos de R3B en York y Munich, es la redacción de un CDR (Conceptual Design Report) en diciembre de 2021.

Entre otros hitos importantes destacamos

- Captación de un investigador Ramón y Cajal SB, que ha solicitado la incorporación a nuestro equipo. Lamentablemente esta solicitud no ha sido aceptada por parte de la Universidad de Santiago.
- Defensa de la tesis doctoral de MF "Fission dynamics investigated in inverse kinematics in reactions induced by relativistic ^{236}U projectiles".

- Co-organización del Curso de formación "Estrellas de neutrones" 15-19 de noviembre

Resumen producción científica 2021: **4** publicaciones, asistencia a **1** congreso, lectura de **1** tesis doctoral y **4** en curso en la USC, 1 en la ULisboa

Desarrollo de nuevas tecnologías de detección de fotones aplicadas a la imagen médica.

En 2020, tomando como germen el I+D realizado para el detector CALIFA, y tras la concesión de un proyecto **IGNITE**, se abría una nueva línea de investigación para transferir el conocimiento adquirido en el desarrollo de detectores al diseño y construcción de dispositivos de imagen médica, en particular dispositivos PET (Tomografía por emisión de positrones) y SPECT (Tomografía computarizada por emisión de fotón simple). Esta nueva línea se consolidó definitivamente a lo largo de 2021.

- Basándose en la protección industrial obtenida en 2020 bajo un Modelo de Utilidad de la Oficina Nacional de Patentes y Marcas (ES1247974), se ha construido un dispositivo de imagen médica PET y SPECT basado en cristales centelladores GAGG/CsI en configuración phoswich y leídos con APDs. El prototipo funcional de detector PET, consiste en dos cámaras detectoras fijas, opuestas, cada una con 9 canales de detección leídos por APDS, su electrónica de amplificación y todo el sistema de adquisición de datos (ver Figura 3). Los principales elementos estructurales del prototipo han sido también diseñados y mecanizados en nuestros laboratorios, así como el desarrollo completo de una interfaz de "slow control". Hemos validado su funcionamiento y obtenido las primeras imágenes PET reales.
- Las prestaciones técnicas del sistema incluyen una excelente resolución en energía, ~ 7% para g de 511 keV, y sobre todo su capacidad de separación de las señales provenientes de cada uno de los tipos de materiales centelladores, lo que permite evaluar la profundidad de interacción del rayo gamma y consecuentemente una mejora en la calidad final de la imagen.
- Hemos trabajado en la reconstrucción de la imagen con una simulación realista. Hemos desarrollado e implementado dos métodos diferentes:
 - un método analítico basado en Retroproyección Filtrada, más simple de implementar, pero muy sensible a artefactos,

- y otro método iterativo basado en un desarrollo previo para otro tipo de sistemas.
- El segundo método es mas adecuado para reconstruir imagen PET con un prototipo como el nuestro, con dos cámaras opuestas pero estáticas, en donde no se cubre todo el rango de ángulos y proyecciones. Así, con este método hemos conseguido evaluar las capacidades de reconstrucción de imagen del dispositivo, obteniéndose resoluciones espaciales del orden de mm en imagen de objeto real (fuente radioactiva pequeña de ^{22}Na) (ver Figura 4).

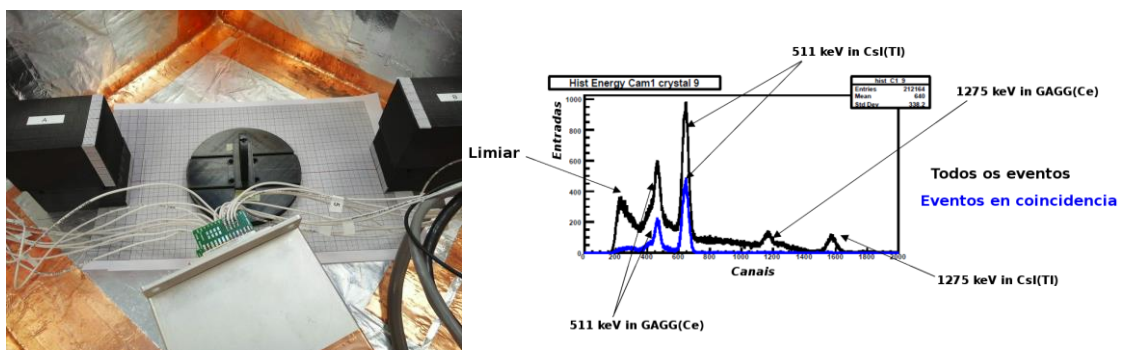


Figura 3 Izquierda: Fotografía del prototipo real y funcional construido en nuestro laboratorio; las dos cámaras detectoras fijas están colocadas opuestas una a la otra, con el objeto emisor en el centro. Derecha: Espectro de rayos gamma reconstruido para una de las unidades de detección de las cámaras; se observa como después de requerir coincidencia con la cámara opuesta se obtiene una perfecta separación entre la contribución al espectro de los dos tipos de materiales centelladores.

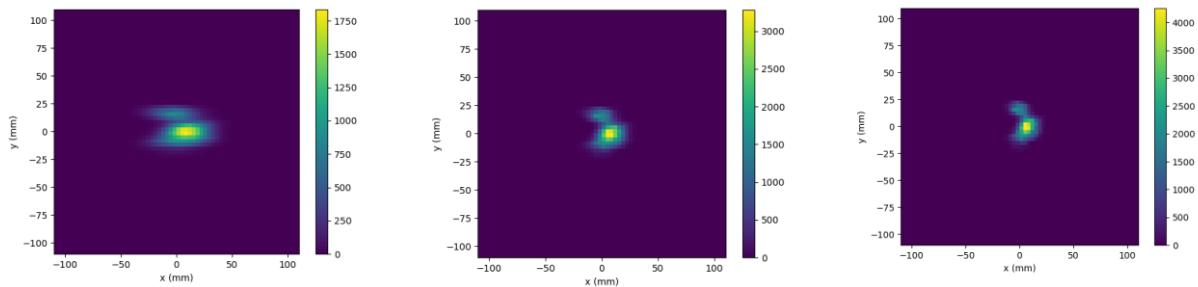


Figura 4 Reconstrucción de imagen PET real (fuente radiactiva de ^{22}Na de forma desconocida) con el prototipo funcional con el método iterativo, después de 5, 20 y 40 iteraciones, de izquierda a derecha respectivamente. Se observa como el dispositivo es capaz de distinguir objetos emisores de tamaños de un par de mm.

Resumen producción científica 2021: participación en 1 congreso, 1 tesis en curso MJC, 1 TFG SG finalizado y otro en curso EGP, 2 estudiantes en prácticas externas, 1 publicación SCI en preparación.

Experimentos con haces estables y radiactivos en instalaciones de baja energía

El trabajo realizado continúa las líneas de investigación de estructura y dinámica nuclear en instalaciones de baja energía que se mantienen desde hace un tiempo en el IGFAE. En particular, se centra en el estudio de la estructura de núcleos exóticos en los límites de estabilidad nuclear basado en experimentos realizados en varias instalaciones internacionales y con un uso importante de nuevas tecnologías de blancos activos. También se continúa con las actividades relacionadas con el proceso de fisión: desde el estudio experimental con la campaña en VAMOS/GANIL y la participación en n_TOF/CERN, hasta tareas de evaluación de datos nucleares en la IAEA. Además de estas actividades experimentales, se continúa con el desarrollo de un nuevo detector basado en lectura óptica para experimentos nucleares. Destacamos algunos de las tareas y resultados liderados por el IGFAE.

- Se ha propuesto una carta de intenciones para medir la dispersión de neutrones a baja energía en NFS.
- Se ha equipado la TPC que el grupo desarrolla con una nueva cámara óptica TIMEPIX. Esto permitirá aumentar la sensibilidad del dispositivo

experimental. Se ha establecido una nueva colaboración con la Universidad de Nuevo Méjico en EE.UU.

- La colaboración ACTAR TPC de blancos activos ha publicado sus resultados en Nature Communications. Gracias a ACTAR TPC, que permite una visualización completa en 4D, se ha medido la desintegración de un isómero 10^+ a alta energía de excitación en el isótopo de ^{54}Ni .
- Se han presentado dos experimentos en GANIL para estudiar la fisión del Torio y de elementos ligeros con VAMOS.
- Para ampliar nuestra campaña de fisión a las instalaciones de LNL (Legnaro, Italia) en colaboración con el grupo de AGATA se ha presentado una propuesta experimental para estudiar estructura de ricos en neutrones cerca del $\text{Ni}78$.
- Contribuidor del White Paper "Nuclear Physics opportunities at the IFMF-DONES facility" de IFMF-DONES (Granada)
- Se ha incorporado un nuevo investigador Ramon y Cajal (1 de Mayo de 2021) que aporta nuevas líneas de investigación en física nuclear de baja energía y desarrollo de instrumentación asociado. Dos estudiantes de doctorado (AM USC y TT (FRIB)) y un TFM (EP USC).
 - Se inicia una nueva actividad en las colaboraciones SOLARIS de la Facility For Rare Isotope Beams (FRIB) de la Michigan State University (MSU) y ISOLDE Solenoidal Spectrometer (ISS) del CERN.
 - Varias propuestas experimentales en FRIB e ISOLDE aprobadas por los comités de cada instalación. El objetivo es el estudio de resonancias de baja energía y estudio de emparejamiento neutrón-protón dentro del núcleo atómico.
 - Desarrollo de detectores de radiación de para haces de iones pesados intensos y para la localización e identificación de material radioactivo.

Resumen producción científica 2021: Publicación de 12 artículos, 3 ponencias en cworkshops internacionales y 4 tesis en curso 1 en USA.

SA3_LACC: Explotación del Laboratorio Laser para Aceleración de Partículas y Aplicaciones

El programa científico liderado por el IGFAE en el Laboratorio Láser para aceleración y Aplicaciones (L2A2) tiene como objetivo el desarrollo de tecnologías relacionadas

con la aceleración de partículas por láser y su uso en aplicaciones médicas. Trabajamos en dos iniciativas: el uso de fuentes de R-X generadas por interacción láser y su aplicación en técnicas de imagen médica (LaseX) y la producción de radioisótopos por interacción láser para imagen médica (LaserPET). Describimos a continuación los principales hitos de 2021:

LaseX

- Construcción y puesta en marcha de la fuente microfoco generada por láser para la realización del proyecto Retos Colaboración 2019 coordinado por la empresa Sedecal S.L para desarrollar un mamógrafo de alta resolución. (proyecto de tesis doctoral AC).
- Primeras irradiaciones de cultivos celulares con electrones generados por la fuente láser de R-X (pulsos láser de baja energía) (ver Figura 5). Se trata de un estudio previo para el desarrollo de estudios de terapia flash con protones (toda la puesta a punto se está realizando con electrones ya que el láser L2A2 no es capaz de suministrar protones). Este proyecto se desarrolla en colaboración con la UPValencia y el IDICHUS USC.



Figura 5: Imagen de la fuente microfoco de R-X. Exposición de los primeros cultivos celulares irradiado

LaserPET:

- Entrega del espejo plasma (diseñado y construido por nuestro equipo) a la instalación internacional ELI-ALPS. Realización del FAT (Factory Acceptance Test) en L2A2 en Abril de 2021 y SAT (Site Acceptance Test) en Segetz (Hungria) en Junio 2021.

- El proyecto Retos de Investigación 2018 dedicado al estudio del potencial de los pulsos de partículas ultracortos generados por laser para su uso en radioterapia flash está en fase de prueba de fase de concepto en la estación de baja energía a espera que funcione la salida de alta energía para la generación de protones. Dos estudiantes (JP y AB) realizan sus tesis en esta línea de investigación. El desarrollo de ambas tesis está comprometido por las dificultades del láser de L2A2 para suministrar haces de alta energía en régimen multidisparo.
- El desarrollo del proyecto de colaboración con la Universidad de Sevilla y el Centro Nacional de Aceleradores (CAN) para investigar la generación de neutrones por interacción laser se traslada al láser de HZDR Desde donde se ha realizado en noviembre 2021 un primer experimento de producción de neutrones a partir de protones acelerados por el láser DRACO. En esta misma línea se ha solicitado un experimento al CLPU (Salamanca) para 2022 ante la imposibilidad de realizarlos en el L2A2
- Se han ejecutado las compras para el montaje de una nueva línea de haz para aceleración de partículas financiada por la convocatoria de infraestructuras 2018.
- Se ha incorporado un investigador de la convocatoria La Caixa Junior Leader al IGFAE cuya actividad principal se resume en el desarrollo de un sistema de colimado y focalización de haces de iones acelerados por láser basado en plasma, capaz de operar a alta tasa de repetición; así como su uso para activación de radio-isótopos de interés en imagen médica.
- Hemos tenido 2 estudiantes de fin de grado AFR y MRF y 1 en prácticas externas SGG, y visitantes de la Universidad Politécnica de Valencia: Michael Seimetz y Alicia Reija y Universidad de Salamanca: Ramiro Contreras, Camilo Ruiz.

Resumen producción científica 2021: Publicación de 1 artículo y 4 tesis en curso en la USC, 1 UPV

A pesar del gran capital material y humano invertido en L2A2 el láser continúa sin operar correctamente a alta energía y por lo tanto la instalación no proporciona haces de protones, función principal para la que se construyó.

Esta situación puede definirse como muy crítica y compromete seriamente el desarrollo de los proyectos arriba descritos y las actividades del IGFAE en esta instalación.

Radiactividad natural: aplicaciones a la sociedad

Desde el Laboratorio de Análisis de Radiaciones, partiendo de nuestra experiencia en investigación fundamental, implementamos técnicas para cuantificar la radiación natural, que reviertan en una mejora de nuestra calidad de vida.

Nuestra principal línea de actuación se centra en la detección de Rn, el principal agente de exposición a radiación para los humanos y que además tiene una incidencia particular en nuestra comunidad autónoma.

- Continuamos siendo laboratorio de referencia en la determinación de radón en aire y laboratorio asociado a una spin-off en la que participa la USC para diseñar y guiar acciones de mitigación de elevadas concentraciones de este gas en interiores utilizando un protocolo de medida propio.
- Estamos finalizando un proceso de acreditación de las medidas asociadas a este protocolo según la norma ISO 17025 (auditoría en diciembre 2021).
- Hemos iniciado el proceso de redacción de una patente para proteger el sensor desarrollado en un proyecto Retos Colaboración 2017, en el que hemos desarrollado en colaboración con el CNM de Barcelona (monitorización en continuo de Rn en interiores basado en detectores de Si).
- Estamos en la lista provisional de concesión de un proyecto del CSN destinado al estudio de la exhalación de Rn en materiales de construcción.

Realizamos medidas de parámetros radiactivos en aguas de consumo humano para con la Consellería de Sanidad y el CSN

- Contrato para la realización de un estudio estacional de la determinación de los índices alfa y beta total y radón en aguas gallegas.

Hemos establecido un acuerdo de asistencia técnica con la empresa AMS Lab (ams-lab.com), para la determinación de parámetros radiológicos en aguas de consumo humano.

Personal

El número total de personas adscritas al centro durante el año 2021 es de 154 miembros, 32 mujeres (21%) y 122 hombres (79%). En la memoria presentada para el año 2020 la proporción era 20% mujeres, 80% hombres. La distribución del personal científico y técnico con adscripción a áreas estratégicas por área estratégica, programa de investigación y género es:

Área Estratégica	Programa de investigación	Personas		
		m	h	total
SA1 The Standard Model to the Limits	HQCD	2	28	30
	LHCB	6	30	36
	STRI	2	15	17
SA2 Cosmic particles and Fundamental Physics	AUGE	0	8	8
	GRWA	2	4	6
	NEXT	3	13	16
SA3 Nuclear Physics from the Lab to improve people's health	LACC	2	4	6
	NUCL	10	15	25
Total		27	117	144

De las 10 personas no adscritas a áreas estratégicas, personal de gestión y administración y personal técnico de servicios comunes, el 50% son mujeres y el 50% hombres. El 100 % de las mujeres son parte de la unidad de gestión del instituto mientras que el 60% de los hombres no adscritos a áreas estratégicas desarrolla funciones técnicas de ingeniería.

En 2021 se gestionaron 142 procedimientos de contratación. El 45% (64) fueron nuevos contratos, de los cuales el 26,6% (17) se costearon con financiación del IGFAE como Centro de Investigación do Sistema universitario de Galicia (IGFAE@Cigus). De

los 17, el 17,6% (1 contrato postdoctoral y 2 contratos predoctorales) supusieron la incorporación de personas que nunca habían tenido relación laboral con el instituto.

Las personas que firmaron nuevos contratos fueron (en negrita el apellido de las nuevas incorporaciones) clasificados según la categoría profesional propuesta por la Xunta de Galicia en esta convocatoria¹:

2.7 Postdoutoral contratado (7, el 71,4% no españoles/as, 1 mujer)

- Pier Paolo Giardino (investigador distinguido USC, IGFAE Junior staff)
- Pablo Cabanelas Eiras (IGFAE Postdoc)
- Miguel Ángel Escobedo Espinosa (IGFAE Postdoc hasta el 30/06/2021)
- Tan Luo (IGFAE Postdoc)
- Niall Thomas **Macpherson** (IGFAE Postdoc)
- Titus Mombächer (IGFAE Postdoc)
- Claire Prouve (IGFAE Postdoc)

3.5 Predoutoral contratado (6, el 16,6% no españoles/as, 1 mujer). El 50% (3, marcados con *, 0% no españoles, 1 mujer) tuvieron contratos de investigación de la convocatoria 2020 costeados con fondos IGFAE@Cigus

- Luigi **Bellafronte** (captado en la convocatoria PhD internacional de 2020, IGFAE Student)
- Caetano **Eirea Orro** (IGFAE Student)
- Miguel Fernández Gómez* (IGFAE Student)
- Clara Landesa Gómez* (IGFAE Student)
- Julio Novoa Fernández* (IGFAE Student)
- Marcos Romero Lamas (IGFAE Student)

5.1 Licenciado ou equivalente (3, 0% no españoles/as, 0 mujeres)

- Eliseo Pérez Trigo (IGFAE Administrative and Technical staff)
- Marcos Antonio Seco Miguélez (IGFAE Administrative and Technical staff)
- José Daniel Viqueira Cao (contrato de iniciación a la investigación de 2020, IGFAE Administrative and Technical staff)

¹ La categoría profesional propuesta por la Xunta de Galicia y que se emplea en la red CIGUS no coincide con las categorías IGFAE. Por ejemplo, Pier Paolo Giardino fue contratado en el programa Global Talent 2020, Junior staff en las categorías IGFAE es R3 en la clasificación Euraxess mientras que IGFAE Postdoc es R2.

6.2 Técnicos de Xestión (Tec. transferencia) (1, 0% no españoles/as, 0 mujeres)

- Pablo Cabanelas Eiras (IGFAE Administrative and Technical staff desde el 01/07/2021)

Con respecto a la captación de nuevos perfiles, este tercer año, en la práctica el segundo ya que en 2019 el período de ejecución fue muy corto, fue un periodo de continuidad en el que los fondos de disponibles permitieron dar continuidad al personal incorporado en 2020 y cumplir con la planificación de captación de nuevo talento comprometido en el programa de investigación "Teoría de cuerdas y campos relacionados" (STRI).

Es particularmente reseñable la contribución a consolidación de la investigación en fenomenología no hadrónica, necesidad resaltada por el SAB del instituto, iniciada con la captación de Pier Paolo Giardino como investigador Global Talent en 2020 y su firma de un contrato como investigador distinguido "Manuela Barreiro" de la USC para comenzar el 1 de octubre de 2020.

En la misma convocatoria de investigadores/as distinguidos/as de la USC, *Programa piloto da Universidade de Santiago de Compostela para a contratación temporal de persoal distinguido, convocatoria de 2021*, publicada en mayo de este año, el IGFAE ofreció dos contratos más, uno en la modalidad Manuela Barreiro y otro en la modalidad Sergio Vidal. En total, de los seis contratos ofrecidos por la red de centros singulares de la USC, el 50% fue del IGFAE. Veronika Chobanova obtuvo el contrato para investigación sobre "Oscilacións de mesóns B en LHCb" y Thomas Dent, investigador Global Talent captado en 2018 con fondos del IGFAE como Unidad de Excelencia María de Maeztu, el contrato para investigar sobre "Detección Experimental de Ondas Gravitacionais", contribuyendo así a consolidar el programa de investigación "Ondas Gravitacionales", una de las apuestas estratégicas del instituto. Thomas Dent firmará el nuevo contrato durante el mes de diciembre para continuar como investigador distinguido a partir del 1 de enero de 2022 con cargo a los fondos obtenidos en la convocatoria Centros de Excelencia «Severo Ochoa» y «Unidades María de Maeztu» de 2020.

Otro caso relevante es la evolución de un investigador postdoctoral con larga trayectoria en el IGFAE, contratado como investigador postdoctoral de la Xunta de

Galicia, posteriormente como investigador postdoctoral con cargo a la financiación del IGFAE como Unidad de Excelencia entre 2019 y 2020, líder de un proyecto IGNITE de la misma unidad de excelencia con vacación de transferencia de tecnología, y contratado postdoctoral en 2021 con cargo a los fondos del IGFAE@Cigus, trabaja en la actualidad como técnico de transferencia e innovación con cargo a la misma financiación desde julio de 2021. El instituto es consciente del potencial de transferencia de la nuestra investigación y decide apostar por incorporar un perfil orientado a su dinamización.

También en 2021 se incorporaron los dos investigadores Ramón y Cajal de la convocatoria 2019, Lorenzo Cazón Boado y Francesc Yassid Ayyad Limonge.

De las convocatorias de captación de talento de la Xunta de Galicia, se incorporaron tres contratados predoctorales (Jorge Castelo Mourelle, Miguel Huidobro García y Ramón Ángel Ruiz Fernández). De las del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020, Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad en I+D+i, Subprograma Estatal de Formación, Juan Ammerman Yebra como investigador en formación con una ayuda para la formación de doctores asociada el IGFAE como Unidad de Excelencia "María de Maeztu".

Continuamos con la apuesta por la formación de personas candidatas para concurrir a la convocatoria *Marie Skłodowska-Curie Postdoctoral Fellowships* (MSCA-PF). En 2021 se publicó una nueva convocatoria interna de expresiones de interés para la presentación de candidaturas en la que se identificaron 8 candidaturas. Siguiendo el mismo esquema que en 2020, la firma Trend 2000 Ltd. Impartió una jornada de formación sobre la convocatoria y asesoró a las personas candidatas y sus tutores/as para la mejora de la calidad de las propuestas. Finalmente, se presentaron 4 candidaturas. De las cinco candidaturas presentadas en 2020, una tuvo éxito: Andrey Sadofyev, investigador captado en 2020 con fondos de ERC Advanced Grant del proyecto YoktoLHC liderado por Carlos A. Salgado, firmó su contrato *Marie Curie Fellow* el 1 de octubre de 2021.

Con una orientación semejante a la de la formación y soporte para MSCA-PF, se facilitaron durante el mes de noviembre dos seminarios de formación a cargo de Stewe Bekk para candidaturas que se vaya a presentar a las convocatorias del *European Research Council (ERC)*. Asistieron 15 investigadores/as. Esperamos

presentar candidaturas a las convocatorias *Advanced*, *Consolidator* y *Starting Grants*.

Gestión y financiación

Nuevos proyectos 2021

Durante este año 2021 se han puesto en marcha, adicionalmente a los ya vigentes, **18 nuevos proyectos** con financiación externa, logrando captar un total de **1.452.836€²**.

De los nuevos proyectos incorporados 4 son financiados por la Agencia Estatal de Investigación, 6 financiados por la Xunta de Galicia, 1 por la Agencia Gallega de Innovación (GAIN), 1 financiado por la Comisión Europea y 3 contratos de servicios, En el marco del Plan de Captación e Retención de Talento Investigador da USC, con la convocatoria del Programa Piloto para a contratación temporal de persoal investigador distinguido, el IGFAE ofreció y captó tres prazas (en la USC hubo un total de 6 ofertadas para los centros de investigación).

En el **Anexo 2** se incluye el detalle de los proyectos con fecha de concesión durante el año 2021, no se incluyen aquí los proyectos asociados a las ayudas Ramón y Cajal, FPI, FPU,

Proyectos y actividades apoyados por esta ayuda en el 2021

Programa IGNITE

El programa IGNITE+ sirve para apoyar iniciativas emergentes, identificando nuevas oportunidades científicas, especialmente para investigadores jóvenes, es otro pilar de la estrategia de fortalecimiento científico del IGFAE.

Durante el presente año se ha continuado apoyando financiando algunos viajes a congresos y reuniones científicas la convocatoria anterior, que había financiado un proyecto del programa de ondas gravitacionales (SA2_GRWA) liderado por Thomas Dent.

Como estaba previsto, este 2021 se ha convocado IGNITE+ en la que se ha otorgado financiación a dos de los 9 proyectos presentados:

"*Coaxial Prompt Gamma-ray Monitoring*" de Dr. Antonio Fdez. Prieto sobre la aplicación de la terapia de hadrones al tratamiento del cáncer.

"*Gravitational Wave Patterns for Compact Stars*" de Dr. Juan Calderón Bustillo, este Proyecto pretende dotar al IGFAE a largo plazo de la capacidad de producir localmente sus propios modelos de señales de ondas gravitacionales.

En este momento se está completando el proceso de selección en la convocatoria 10/2021 de la USC de una persona como investigador/a en formación con perfil orientado a la instrumentación para el proyecto "*Coaxial Prompt Gamma-ray Monitoring*". En la próxima convocatoria, se publicará otro perfil para el mismo proyecto, orientado a la ingeniería electrónica. Ya se hizo difusión con el anuncio de la oferta a través de nuestro sitio web y el portal Academic Jobs Online: es muy complicado captar perfiles atractivos con las condiciones de entorno (salarios, sistema de selección, instalaciones, etc).

Aportación a los laboratorios.

Como una de las líneas estratégicas del IGFAE está el fortalecimiento de la actividad experimental, el año pasado se llevó a cabo gracias a esta convocatoria una mejora sustancial a nivel instrumental. Y este año se ha realizado un esfuerzo importante e imprevisto para afrontar la reparación del láser de alta potencia del L2A2 del programa SA3_LACC. A su vez se ha prestado un pequeño apoyo a otros laboratorios:

Laboratorio TRASGO

Tragaldabas es un detector de rayos cósmicos de alta resolución de la familia Trasgo, entre sus líneas de trabajo, el estudio de la atmosfera, la actividad solar y la búsqueda de nuevas signaturas para identificar rayos cósmicos primarios de alta energía. El detector funciona con gas freón R134 y a un ritmo de consumo de aproximadamente 1 botella de 60kg cada 10 meses.

Laboratorio de Microelectrónica

Gracias al apoyo de este programa se ha llevado a cabo el diseño a medida por TVP y la fabricación de algunas piezas fundamentales para el uso de la cámara de vacío Ø500mm.



Imagen 2. Diseño modelo para la fabricación de las piezas a medida.

Con esta cámara se trabaja en el desarrollo, fabricación y test de hardware (tarjetas de circuito impreso, sensores, cables de datos, etc) para el subdetector VELO del experimento LHCb del CERN. El mencionado VELO trabaja en condiciones de alto vacío, del orden de 10^{-6} mbars. Esta cámara nos permite alcanzar en nuestro laboratorio ese nivel de vacío, y por lo tanto podemos testar, dentro de ella, en condiciones reales de funcionamiento el hardware que desarrollamos para el CERN

Laboratorio L2A2 y LDD

Como hemos indicado anteriormente la avería del láser en este laboratorio ha implicado la compra de material fungible para sustituir las piezas por valor de 43.000€, y el servicio especializado de asistencia para su instalación.

Programa de visitantes y estancias de investigadores/as IGFAE

Otra de las grandes líneas de trabajo del IGFAE es facilitar la movilidad internacional de los investigadores del instituto y la acogida con otros centros de investigación de referencia. Este año mantener esta apuesta ha sido arriesgado, la previsión inicial era de poder realizar un número de intercambios similar a los que se realizaban antes de la pandemia, pero dada la incertidumbre ante la evolución de la pandemia las actividades previstas se retrasaron. En último momento, los propios participantes o algunas instituciones con dificultades para cubrir seguros COVID optaron por formatos online. Es esto por lo que nuestra previsión de gasto en fondos de ayuda a costes de locomoción y alojamiento ha sufrido una desviación sustancial y sin margen de maniobra para reubicar estos fondos.

En todo caso se ha logrado cubrir 7 ayudas solicitadas para realizar estancias y talleres por un importe en torno a 24.000€ y se han financiado estancias de nuestros investigadores en los siguientes centros:

- ICCUB de Barcelona. Análisis de datos en experimento LHCb. Imanol Corredoira.
- Grand Accélérateur National d'Ions Lourds. GANIL (Francia). Campaña experimental con ACTAR TPC. Beatriz Fernández, Daniel Fernandez. Juan Lois. Manuel Caamaño.
- LIP. Portugal. Calibración de los detectores de RPCs tipo TRASGO. Marwan Ajoor, LIP de Portugal.
- Universidad de Buenos Aires. Colaboración con Nicolas Grandi. Jose Edelstein.
- University of Bologna. Colaboración con Dr. Lorenzo Capriotti. Alessandra Gioventu,
- Universidad de Radboud (Países Bajos). Análisis de datos y software de radio detección. Juan Ammerman.
- CERN (Suiza). Experimento LHCb. Saul López.

En esta convocatoria interna del 2021 se ha solicitado también 6 solicitudes para financiar la visita de investigadores de referencia internacional, por un total de 5.340€.

- Maria Pestana (Universidad de Miño), colaboradora del investigador del IGFAE, Xabier Cid
- David Friday (Universidad de Glasgow). Colaborador del investigador del IGFAE, Jeremy Dalseno.
- Vladimir Peskov, investigador del CERN y colaborador del investigador del IGFAE, Diego Martinez.
- Teresa Kurtukian, del Centre National de la Recherche Scientifique de Paris y colaboradora de la investigadora del IGFAE, Beatriz Fernández.
- Lorenzo Capriotti de la Universidad de Bologna y colaborador de la investigadora del IGFAE, Alessandra Gioventu.

Sistema de monitorización y vigilancia competitiva

Una actividad especialmente relevante en la programación estratégica y el seguimiento de las actividades del instituto es el sistema de monitorización. Entre

los desarrollos realizados, se ha trabajado en el sistema de monitorización de resultados del centro incorporando ítems de información relativos al análisis de publicaciones y métricas científicas. Se ha contado con el diagnóstico y apoyo técnico de una empresa tecnológica especializada.

Acreditación "Unidad de excelencia - María de Maeztu"

Uno de los objetivos prioritarios era renovar la acreditación María de Maeztu en la convocatoria 2020, finalmente la acreditación no fue renovada a pesar de las buenas valoraciones recibidas por los evaluadores, con una puntuación final de 95,30 sobre 100. Prueba del buen posicionamiento del IGFAE a las puertas de la renovación de la acreditación es que le fue concedida una de las dos financiaciones especiales de 200.000€ para el desarrollo de un proyecto estratégico de un año ([Resolución](#)).

En el último trimestre del año 2021 se ha estado trabajando a nivel de dirección y unidad de gestión con un consultor en la definición de las líneas estratégicas para la nueva propuesta, que previsiblemente será publicada en enero de 2022.

Reunión Comité Asesor Externo

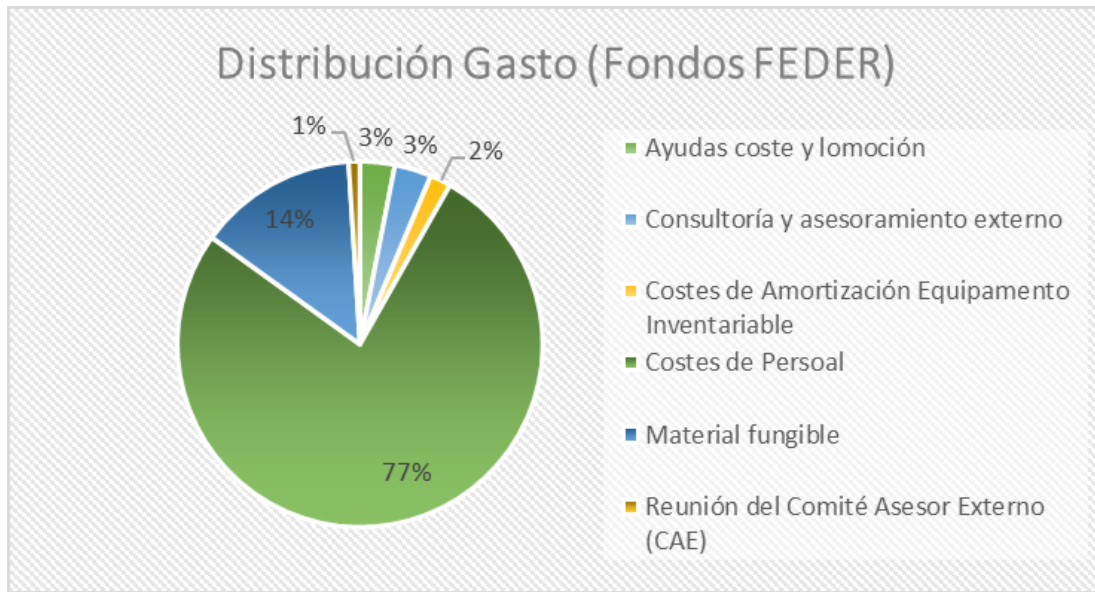
La reunión de este año fue celebrada el 27 de octubre con la asistencia presencial de cinco de los siete miembros del SAB. El factor que comentábamos antes de incertidumbre por la pandemia todavía genera ciertas reticencias a la hora de realizar reuniones presenciales y viajes de cierta envergadura como en este caso transoceánicos. Adicionalmente por causa también de la pandemia no se han gastado muchas de las partidas de viajes de algunas instituciones y uno de los miembros del SAB se ha costeado su propio vuelo. Esta ha sido la principal causa del DESVIO SUSTANCIAL en la planificación de esta partida, se ha gastado menos en alojamiento y desplazamiento de los miembros del SAB,

En todo caso, el resultado de las reuniones de evaluación del SAB han sido muy satisfactorias y productivas, adicionalmente a las reuniones con dirección, executive board del IGFAE y un representante de la junta de Gobierno se han reunido con investigadores junior/ senior y con los investigadores que lideran los proyectos IGNITE. En el momento de redacción de este documento estamos a la espera del informe de evaluación del centro producto de esas jornadas.

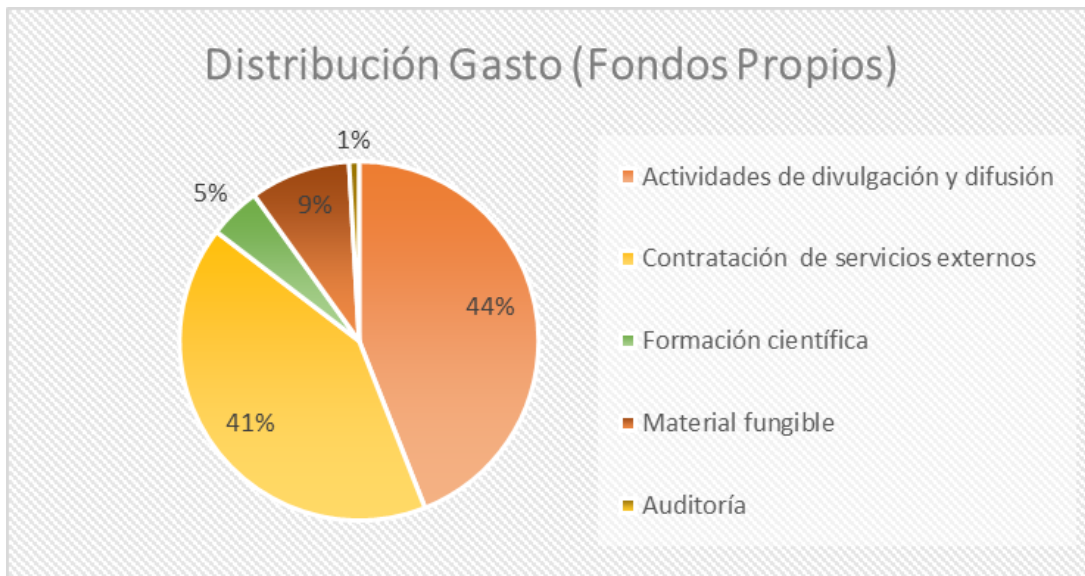
Resumen de la distribución de gasto durante la anualidad 2021

La inversión más importante en el caso del IGFAE sigue siendo igual que en la anualidad anterior, el coste de personal supone el 77% de los fondos FEDER y el 60%

del total. Coincide con el esfuerzo en desarrollar una política fuerte de captación de talento internacional.



En el caso de los fondos propios el volumen más importante está en las actividades de divulgación (44%) y contratación de servicios externos (41%). Este patrón coincide con la apuesta del IGFAE por la actividad de los Labs y por la necesidad de acudir a ciertos servicios especializados a la hora de informes técnicos relacionados con el sistema de monitorización del centro, con la preparación de candidatura para la renovación de la acreditación María de Maeztu, etc...



Producción Científica

A fecha de elaboración de este informe se han publicado un total de **124 artículos** cuyo detalle se recoge en el Anexo 2, se espera un incremento en este número de artículos en el tiempo restante de 2021³. **76 artículos** se sitúan en el primer decil (61%) y **98** en el primer cuartil (79%). El índice de impacto (cite score de Scopus) por artículo es de 8,60. La distribución de artículos por programa de investigación:

Área de investigación	Programa de investigación	Nº Artículos	Nº Citas
SA1 The Standard Model to the Limits	SA1_HQCD	26	25
	SA1_LHCB	40	53
	SA1_STRI	8	6
Total de área SA1		74	84
SA2 Cosmic Particles and Fundamental Physics	SA2_AUGE	9	2
	SA2_GRWA	17	370
	SA2_NEXT	7	6
Total de área SA2		33	378
SA3 Nuclear Physics from the Lab to Improve People's Health	SA3_LACC	1	0
	SA3_NUCL	16	5
Total de área SA3		17	5

Publicaciones destacadas

Listamos a continuación una serie de publicaciones destacadas de este año 2021. En todas ellas los investigadores del IGFAE han tenido un papel fundamental:

Evidence of a $J/\psi \Lambda$ structure and observation of excited Ξ^- states in the $\Xi b^- \rightarrow J/\psi \Lambda K^-$ decay.

R. Aaij et al. (LHCb Collaboration)
Science Bulletin 66 (2021) 1278–1287.
DOI: 10.1016/j.scib.2021.02.030

La existencia de estados ligados de cinco quarks (pentaquarks), formados por cuatro quarks y un anti-quark, ha sido considerada posible desde el establecimiento del modelo de quarks en física de partículas. La primera observación de pentaquarks fue realizada ya por el experimento LHCb en 2015 en el análisis del canal de desintegración $\Lambda b^0 \rightarrow J/\psi p K^-$, pero se necesitan más medidas para conocer con precisión las propiedades de estos estados exóticos. En este artículo se publica la primera evidencia de una estructura en la distribución de masa invariante de las parejas $J/\psi \Lambda$, que provienen de desintegraciones $\Xi b^- \rightarrow J/\psi \Lambda K^-$. Las medidas realizadas indican que la naturaleza de la estructura observada es compatible,

³ Se incluyen 7 proceedings que no aportan citas y corresponden a revistas por debajo del primer cuartil.

dentro de 3.1 desviaciones estándar, con estar formada por un pentaquark de tipo charmonium con extrañeza.

Angular analysis of the $B^+ \rightarrow K^{*+} \mu^+ \mu^-$ decay.

R. Aaij et al. (LHCb Collaboration)

Phys. Rev. Lett. 126, 161802 (2021)

DOI: 10.1103/PhysRevLett.126.161802

En el Modelo Estándar, las transiciones entre quarks b y quarks s con la emisión de una pareja de leptones cargados ($b \rightarrow s \ell^+ \ell^-$), sólo pueden ocurrir indirectamente a través de la emisión intermedia de partículas virtuales (diagramas de lazo). Ello hace que estas desintegraciones sean muy sensibles a la presencia de nuevas partículas más allá del Modelo Estándar, que pueden contribuir a modificar tanto las tasas de desintegración como las distribuciones angulares. En este artículo se presenta un análisis angular de la desintegración $B^+ \rightarrow K^{*+} \mu^+ \mu^-$ usando datos de colisiones protón-protón tomados por experimento LHCb en los años 2011, 2012 (run 1) y 2015-2018 (run 2). Se mide por primera vez el conjunto completo de observables promediados CP en intervalos de la masa invariante al cuadrado de la pareja de muones. Los resultados muestran desviaciones respecto a las predicciones del Modelo Estándar, confirmando las tensiones previamente encontradas en el análisis angular del canal $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$.

Measurement of differential bb and cc-dijet cross-sections in the forward region of pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV.

R. Aaij et al. (LHCb Collaboration)

JHEP 02 (2021) 023.

DOI: 10.1007/JHEP02(2021)023

El estudio de la sección eficaz de producción inclusiva cc y bb es de especial interés, tanto porque permite poner a prueba las predicciones de la cromodinámica cuántica, como porque éste es un fondo muy habitual para búsquedas más allá del modelo estándar o de medidas de la física del bosón de Higgs, que por lo tanto conviene conocer con precisión. Además, la medida de la sección eficaz diferencial en la región cinemática de LHCb, siendo inaccesible para otros experimentos, permite obtener información única de la estructura interna del protón. En esta publicación hemos llevado a cabo estas medidas, además de la fracción de producción de bb/cc, usando datos tomados por el detector LHCb en el año 2016. Esta es la primera medida que realiza LHCb de un estado final que sólo incluye jets.

The nature of X(3872) from high-multiplicity pp collisions

Angelo Esposito, Elena G. Ferreira, Alessandro Pilloni, Antonio D. Polosa and Carlos A. Salgado

Eur.Phys.J.C 81 (2021) 669

DOI: 10.1140/epjc/s10052-021-09425-w

En este artículo se estudia la posibilidad de aplicar fenómenos hasta el momento únicamente implementados en colisiones nucleares a las colisiones protón-protón

de alta densidad. Ello permitiría identificar la naturaleza de las nuevas partículas descubiertas en el LHC, como el X(3872). Esta partícula no está constituida por un conjunto de 3 quarks o de un quark y antiquark, como los bariones y mesones, sino que tiene una naturaleza diferente. Dos posibilidades se abren para su identificación: molécula o tetraquark. Nuestro análisis favorece la segunda de las dos posibilidades y abre una nueva vía de estudio para estos estados, genéricamente denominados XYZ.

GWTC-2: Compact Binary Coalescences Observed by LIGO and Virgo during the First Half of the Third Observing Run

R. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

Physical Review X 11, 021053 (2021)

DOI: 10.1103/PhysRevX.11.021053

En este artículo se presenta la primera parte del segundo catálogo de señales de Ondas Gravitacionales detectadas con los interferómetros LIGO en Estados Unidos y Virgo en Italia. Se trata de 39 nuevas señales casi todas procedentes de fusiones de sistemas binarios de agujeros negros con masas entre 3 y 150 masas solares. La segunda parte de este catálogo se ha enviado a publicación en noviembre de 2021. El grupo de Ondas Gravitacionales del IGFAE que pertenece a la Colaboración Científica LIGO ha contribuido directamente a la detección e interpretación de todas estas nuevas fusiones.

GW190521 as a merger of Proca stars: a potential new vector boson of 8.7×10^{-13} eV

Juan Calderón Bustillo et al.

Physical Review Letters 126, 081101 (2021)

DOI: 10.1103/PhysRevLett.126.081101

En este artículo se realiza una interpretación alternativa a la fusión de dos agujeros negros correspondiente a la señal de ondas gravitacionales GW190521 interpretada originalmente como una fusión de un sistema binario de agujeros negros. Esta señal presenta evidencias de que la fusión podría haber sido una colisión de estrellas constituidas por partículas bosónicas de muy baja masa, también llamadas estrellas de Proca. Este artículo ha tenido un gran impacto mundial y ha tenido una contribución muy importante por parte de Juan Calderón Bustillo, investigadores del grupo de Ondas Gravitacionales del IGFAE.

Measurement of the fluctuations in the number of muons in extensive air showers with the Pierre Auger Observatory

A. Aab et al. (The Pierre Auger Collaboration)

Physical Review Letters 126, 152002 (2021)

DOI: 10.1103/PhysRevLett.126.152002

En este artículo se presenta la primera medida del contenido de muones en cascadas de partículas iniciadas por rayos cósmicos de ultra-alta energía detectados en el Observatorio Pierre Auger en Argentina. Ya desde el año 2015 se sabe que el

número de muones en las cascadas es significativamente mayor que el que predicen los modelos de interacción hadrónica. En este artículo se demuestra que las fluctuaciones en dicho número se predicen de manera adecuada. La conclusión es que el déficit de muones observado en las simulaciones probablemente se deba a algún cambio relativamente pequeño en las interacciones hadrónicas que se va acumulando a medida que se desarrolla la cascada, un resultado de gran relevancia en Física Hadrónica realizada con detectores de rayos cósmicos y en el que ha participado de manera directa el Grupo de Astrofísica de Partículas del IGFAE.

A search for ultra-high energy neutrinos from TXS 0506+056 using the Pierre Auger Observatory

A. Aab et al. (The Pierre Auger Collaboration)
The Astrophysical Journal, 90, 105 (2020)
DOI: 10.3847/1538-4357/abb476

En este artículo se han utilizado los datos recogidos en el Observatorio de Rayos Cósmicos Pierre Auger en Argentina para realizar una búsqueda de neutrinos de ultra-alta energía procedentes de la fuente TXS 0506+056, un tipo de fuente astrofísica denominada blazar. TXS 0506+056 es además la primera fuente extragaláctica de neutrinos de muy alta energía, si bien de energía un factor 1000 menor que los que se buscan con el Observatorio Pierre Auger. Este artículo ha sido responsabilidad directa de los miembros del Grupo de Astrofísica de Partículas del IGFAE que son miembros de la Colaboración Internacional Pierre Auger.

Development of very-thick transparent GEMs with wavelength-shifting capability for noble element TPCs

M. Kuzniak, D. González-Díaz, P. Amedo, D.J. Fernández-Posada, A. Saa Hernández, et al.
Eur. Phys. J. C 81, 609 (2021)
DOI: 10.1140/epjc/s10052-021-09316-0

En este artículo se propone un nuevo concepto para la detección simultánea de centelleo primario y secundario por medio de un detector gaseoso de ionización denominado GEM, cuya producción, caracterización y primeras medidas se abordan en este trabajo. Estos detectores GEM se pueden utilizar como parte de otros detectores tipo Time Projection Chambers (TPC) que se usan en experimentos de búsqueda de materia oscura y física de neutrinos, como puede ser el futuro experimento DUNE en Estados Unidos, colaboración experimental a la que pertenece el IGFAE participando en la caracterización experimental de las propiedades ópticas de centelleo en mezclas de argón.

4D-imaging of drip-line radioactivity by detecting proton emission from ^{54m}Ni pictured with ACTAR TPC

J. Giovinazzo, H. Alvarez-Pol, M. Caamaño-Fresco, B. Fernández-Domínguez, J. Lois-Fuentes, M. Versteegen
Nature Commun. 12 (2021) 1, 4805
DOI: 10.1038/s41467-021-24920-0

En este artículo se describe la medida de las desintegraciones del ^{54}mNi por emisión de protones, un tipo de desintegraciones de gran importancia para establecer el límite de déficit de neutrones que puede existir en la materia nuclear y, por tanto, limitar el número de núcleos que pueden existir en la naturaleza. Se observó que estas emisiones tienen lugar con momentos angulares inusualmente altos, $\ell = 5$ y $\ell = 7$, y que pueden ser aproximadas por la combinación de un modelo de potencial para la penetración de la barrera coulombiana junto con el uso de funciones de onda del modelo de capas para los estados iniciales y finales.

Investigación e Innovación Responsable (RRI)

Durante este año se ha avanzado en la consolidación de la programación de los IGFAE-Labs. El detalle de las actividades llevadas a cabo en este marco se detalla en el apartado de Divulgación y Promoción de la cultura científica. Paralelamente se ha trabajado con la empresa de diseño en el desarrollo de la marca que acompañe a toda la línea de trabajo de estos, un desarrollo que refleje los valores que se pretenden fomentar.



Imagen 3. Nueva identidad visual de los IGFAE-Labs.

En el marco del trabajo de la Red Europea de [GENERA](#) (Gender Equality Network in the European Research Area), la propuesta COST presentada el año pasado no fue aceptada, este año se ha trabajado en la presentación de otra propuesta, pendiente de evaluación en el momento de presentación de esta memoria "Integrate equality, diversity and inclusion in international cooperation in the math-intensive sciences" – INTEGRATE (Proposal Reference OC-2021-1-25181).

En el marco del grupo de trabajo de género, y en consonancia con los contenidos del III Plan Estratégico de Igualdad de Oportunidades entre hombres y mujeres de la USC, se ha llevado a cabo durante todo el año, el diseño, la redacción y la aprobación de la *Estrategia del IGFAE para la igualdad y la diversidad*, aprobada en la Xunta de Gobierno del 6 de Julio de este año 2021. La estrategia define los objetivos, líneas de actuación y las acciones que pretenden ser implementadas en los próximos cuatro años. Se puede consultar este documento en la sección "[Género y diversidad](#)" de la web del IGFAE.

Valorización y Transferencia

Gracias a este programa se ha contratado un perfil específicamente para el ámbito de transferencia y una empresa con experiencia en el acompañamiento de este proceso (Knowledge Innovation Market Consulting). La idea es crear la hoja de ruta para la posible creación de una Unidad de Transferencia y Tecnología en el IGFAE en el marco de la estrategia general de Industrial and Social Engagement Strategy. Durante este año se ha llevado a cabo las siguientes acciones de formación:

- Acciones formativas sobre I+D+i y Transferencia de Conocimiento y Tecnología para este perfil.
- Formación ejecutiva para investigadores. GAIN-Oxentia.
- Transferencia de conocimiento e interacción con el sistema de I+D+i. GAIN.
- Como identificar y evaluar donantes potenciales, definir nuestra propuesta de valor. FEUGA.

Asistencia a reuniones sobre acciones de I+D+i y Transferencia de Conocimiento y Tecnología:

- I Encuentro Universidad-Empresa. Sherpa do Mar - Interreg. 28-30 de junio.
- Foro IGNICIA: a transferencia de conocimiento en Galicia. GAIN. 16 de julio.
- II Encuentro Universidad-Empresa. Sherpa do Mar - Interreg. 28-30 de septiembre.
- Jornada de Innovación Responsable - Implicaciones de la innovación en tecnologías emergentes. GAIN. 30 de septiembre.

Actualmente se está trabajando con todos los investigadores del IGFAE en la detección de líneas de trabajo alineadas con una Unidad de Tecnología y Transferencia propia.

Contratos de I+D y servicios tecnológicos.

Se sigue llevando a cabo el servicio de medida de radón y otros parámetros radiactivos en muestras ambientales para empresas como Biotécnicas Aplicadas S.L. etc. En marcha hay un acuerdo de confidencialidad "posible acción comercial y posterior estudio técnico consistente en el análisis de la normativa aplicable a potenciales actividades comerciales e industriales de SENRA" y el proyecto de Aplicaciones médicas de los aceleradores láser.

En el marco de la mejora de los laboratorios y de cara a la prestación de ciertos servicios desde el Laboratorio de Análisis de Radiaciones (LAR), se está llevando a cabo la certificación UNE-EN/ISO/IEC 17025:2017. En España, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) aconseja que la determinación de la concentración de radón la realicen laboratorios acreditado según la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 que acredita tanto la gestión de la calidad administrativa como técnica de los laboratorios de ensayo y calibración.

Carrera Científica

Durante este año el IGFAE, ha ofrecido 6 contratos de iniciación a la investigación para alumnado que cursa el Máster Universitario en Física, con un coste de 5.000 euros por contrato. Se presentaron 10 candidaturas.

Dentro de la oferta formativa también se incluye:

- Programa de Capacitación Académica (**Academic Training Program**).
- International Postdoctoral Training Program.
- Programa **internacional de doctorado y plan de desarrollo profesional (International PHD Program)**. Se lanzó, como el año anterior, un *international call for PhD students* a través de la plataforma Academic Jobs Online, de referencia en Física de Partículas, recibándose un total de 62 solicitudes, identificándose una serie de candidatos que se pusieron en contacto con los grupos del centro.

En relación con los dos primeros puntos, se organizaron tres cursos para doctorandos y postdoctorales. Además, se apoyó la participación de estudiantes en escuelas internacionales, tanto en España como en el extranjero. Como refuerzo y tal y como ya se ha comentado anteriormente se ha prestado apoyo específico a los candidatos del IGFAE que estaban preparando propuestas MSCA IF, ITN y ERC

(Starting y Consolidator Grants). En el apartado siguiente de la memoria se proporcionan detalles sobre estas actividades.

Talleres, cursos y congresos organizados por el IGFAE

PhD Seminars

Serie de seminarios impartidos por investigadores predoctorales del IGFAE en los que presentan sus últimos trabajos o resultados al resto de doctorandos.

22.04.21 13:00
Aula C | IGFAE

PhD seminars

Pedro Agostini
IGFAE predoctoral researcher
The Color Glass Condensate
The Color Glass Condensate is an effective theory that is relevant in the high energy limit of Quantum Chromodynamics, and it encodes a state of high density gluonic matter which controls the hadronic matter in this regime. In this talk we will review the basics of this theory, which is applied in the description of ultrarelativistic nuclear collisions.

Alessandra Gioventù
IGFAE predoctoral researcher
Lepton Flavour Universality tests at the LHCb experiment
In the Standard Model (SM) of particle physics, the muon and the tau particles are simply heavier copies of the electron, coupling with gauge bosons independently of their generation. This feature is called Lepton Flavour Universality (LFU). Latest measurements of LFU violating observables corresponding to $b \rightarrow s$ and $b \rightarrow c$ at the quark level show tension with the SM predictions. These results have opened the door to new scenarios of LFU violating processes also in the charm sector. An overview of the measurements performed by LHCb is reported.

20.05.21 13:00
Aula C | IGFAE

PhD seminars

Óscar Boente García
IGFAE predoctoral researcher
Charged particle production in proton-lead & proton-proton collisions at LHCb
In high energy collisions of hadrons at LHC, the production rate of charged particles (mainly pions) is the same, irrespective of the system size. This observation can be compared in different collision systems, like proton-proton and proton-lead collisions. This provides valuable information to test phenomenological models that describe the initial state of the medium in a heavy ion collision, like the Color Glass Condensate (CGC) or the Color Glass Condensate (CGC). In this seminar, recent measurements of the transverse momentum spectra of charged particles in proton-lead and proton-proton collisions at the LHCb experiment will be presented.

Miguel Huidobro García
IGFAE predoctoral researcher
The Skyrme model and neutron stars
The Skyrme model is a low energy effective field theory of QCD. In this theory, pions are the fundamental degrees of freedom and baryons emerge as topological solitons. As a theory for nuclear matter it also must describe neutron stars properties, then I will explain how large baryon number solutions and their equations of state (EoS) are constructed. Neutron stars are obtained solving the Einstein equations for the given EoS and the results are shown.

17.06.21 13:00
Aula C | IGFAE

PhD seminars

Juan Lois Fuentes
IGFAE predoctoral researcher
Transfer reactions for the study of the nuclear structure
A single-neutron transfer reaction is a powerful experimental tool to populate certain interesting states in nuclei. With this method we can probe the energies of shell model orbitals and obtain their charge as we vary the energy from stability. Therefore, as more exotic beams become available, this new detection devices, such as ACTAR-TPC, are starting to be used for the study of this kind of reactions.

Alejandro Vilar López
IGFAE predoctoral researcher
Holography: the connection between gravity and quantum field theory
The discovery that black holes behave as thermodynamic objects with a non-vanishing entropy in the first and most promising hint we have towards unravelling the microscopic structure of gravity. Holography is a novel idea that emerged from this discovery and it proceeds to describe gravity in D dimensions as a theory in one dimension less. In this talk, we will review these ideas, presenting also the best holographic model we have to date: Maldacena's AdS/CFT correspondence.

Imagen 4. Carteles de los PhD seminars organizados.

Curso de 'Agujeros negros e información cuántica'

Formación incluida en el Academic Training Programa del IGFAE dirigida a estudiantes de máster y doctorado para revisar aspectos básicos de los agujeros negros y su termodinámica y formular el problema de la información en términos modernos haciendo uso de las herramientas de la teoría cuántica de la información.

IGFAE Academic Training Program

COURSE

Black Holes & Quantum Information

For PhD students & Master's students interested in gravitation or quantum information

29 & 30 June 10:00 - 11:30
6, 8 & 13 July 10:00 - 11:30

IGFAE

bit.ly/BlackHolesQuantumInfo

Imagen 5. Cartel del curso 'Black holes and Quantum Information'

Congreso y escuela 'Integrability, dualities and deformations IDD2021'

[Congreso y escuela](#) organizados por Riccardo Borsato entre el 30 de agosto y el 3 de septiembre y el 23 y 27 de agosto, respectivamente. El objetivo fue reunir a expertos de los campos de deformaciones de modelos integrables; dualidades de hoja y teorías de campo extendido; QFT no conmutativa y no asociativa; sistemas integrables cuánticos en dualidad calibre/gravedad.



Imagen 6. Carteles del congreso y la escuela IDD2021.

Curso 'HT Condor'

Curso impartido entre el 20 y el 24 de octubre de 18 horas más horas de consultoría extra al que asistieron 6 personas. Se enseñaron a los posibles usuarios cómo enviar trabajos al sistema de condor y familiarizarse con la administración del sistema de colas HTCondor, instalado en tres sistemas diferentes en el IGFAE:

- El sistema LIGO que tiene un HTCondor-CE.
- El Tier 2 que da servicio al experimento LHCb que tiene un HTCondor-CE como puerta de entrada y que, además, usa HTCondor como sistema de colas subyacente.
- El nuevo sistema de colas para parte de los usuarios del instituto es HTCondor.

Webinar "How to prepare a ERC call"

Formación compuesta de dos seminarios online para aprender a preparar propuestas para la convocatoria de ayudas *Starting Grant* y *Consolidator Grant* del Consejo Europeo de Investigación (ERC).

IGFAE Training: 11 - 12 November

EXCELENCIA MARIA DE MAEZTU IGFAE USC XUNTA DE GALICIA

WEBINAR

How to prepare a ERC call

Training program consisting of two webinars to learn the basics of ERC calls and how to prepare a competitive StG/CoG proposal

Webinar 1 - 11 Nov
11:00 - 13:00
bit.ly/11novERC

Webinar 2 - 12 Nov
11:00 - 13:00
bit.ly/12novERC

XUNTA DE GALICIA EUROPEAN UNION Xacobeo 21-22

FONDO EUROPEO DE DESENVOLVEMENTO REXIONAL "Unha maneira de facer Europa"

Imagen 7. Cartel de los webinar 'How to prepare a ERC call'

Curso "Neutron stars physics"

[Curso](#) incluido en el Academic Training Program del IGFAE para estudiantes de máster y doctorado especialmente en el que se ofrece una visión multidisciplinar del conocimiento actual de la física de estrellas de neutrones.

IGFAE Academic Training Program

EXCELENCIA MARIA DE MAEZTU IGFAE USC XUNTA DE GALICIA

COURSE

Neutron Stars Physics

For master students, PhD students & researchers interested in a multi-disciplinar overview on the present understanding of the neutron star physics

15 & 19 November
IGFAE & Online

bit.ly/neutronstarscourse

XUNTA DE GALICIA EUROPEAN UNION Xacobeo 21-22

FONDO EUROPEO DE DESENVOLVEMENTO REXIONAL "Unha maneira de facer Europa"

Imagen 8. Curso "Neutron stars physics"

100xCiencia.5: International dimension of science

El IGFAE y SOMMa coorganizaron el congreso [100xCiencia.5](#), el punto de encuentro anual de la red de excelencia de Centros Severo Ochoa y Unidades María de Maeztu, que tuvo lugar en Santiago de Compostela el 26 y 27 de noviembre de 2021, en la Cidade da Cultura. La reunión 100xCiencia.5 puso de manifiesto la importancia de la colaboración científica internacional, la industria y la sociedad para resolver los problemas y afrontar los retos globales del futuro, como ha demostrado la crisis sanitaria de COVID-19. Inaugurado por la presidenta de la alianza SOMMa María

A. Blasco, el rector de la USC Antonio López, el conselleiro de Cultura, Educación e Universidade Román Rodríguez y el director del IGFAE Carlos Salgado, acudieron unas 120 personas, entre directores, investigadores de prestigio internacional, gestores y comunicadores científicos. La directora general del CERN Fabiola Gianotti abrió la primera sesión, Cosmos, a la que le siguieron otras tres áreas temáticas: COVID, Crisis Climática y Cultura Científica. El congreso pudo seguirse por *streaming* en [canal de YouTube del IGFAE](#), donde se encuentra alojado para visualizarlo posteriormente, además en la web del congreso creada *ex profeso* para [la difusión y organización del evento](#).



Viernes, 26 noviembre

10:00 | Welcome

COSMOS

- 10:30 Fabiola Gianotti (Director-General of CERN)
- 11:10 Berta Rubio (IFIC)
- 11:30 Luisa María Lara (ESA)
- 11:50 Mario Martínez (IFAE)
- 12:10 Discussion
- 12:40 End of the session

SOCIETY

13:10 Round table: Public perception of science: communication in the digital era with Rafael Vilasanjuan (ISGlobal), Patricia Fernandez de Lis (EL País/Materia), Eduardo Sáenz de Cabezón (Big Van Ciencia founder, 'Órbita Laika' (La2) tv presenter) and Gema Revuelta (UPF)

14:40 End of the session

COVID

16:00 Raúl Rabadán (Columbia U./CNIO)

16:20 Mariano Esteban (CNB)

16:40 Helen Cole (ICTA)

17:00 Discussion

18:00 End of the session

CLIMATE CRISIS

18:30 José Manuel Gutiérrez (IFCA)

18:50 Juan Manuel López (IPHES)

19:10 Aurelio Tobías (IDAEA)

19:30 Discussion

20:00 End of the session

Sábado, 27 noviembre

9:30 – 11:00 | **SOMMa General assembly**

11:00 – 11:30 | **Coffee break**

11:30 – 13:00 | **Working Group meetings (parallel sessions)**



Divulgación y promoción de la cultura científica

Outreach

Masterclass de Física de Partículas (*International Masterclass – Hands on*)

Setenta estudiantes del último curso de bachillerato de 28 centros de Galicia participaron el 11 de marzo de 2021 en la [Masterclass virtual "Física de Partículas con las manos"](#) organizada por el Instituto Galego de Física de Altas Enerxías (IGFAE), en colaboración con la Sociedad Europea de Física, el CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear) y Fermilab (Laboratorio Nacional Fermi), y promovida por el Grupo Internacional de Divulgación de Física de Partículas (IPPOG). En esta edición, en la que el alumnado participó desde sus centros educativos o desde casa debido a la situación sanitaria, cabe destacar la participación femenina, de un 47%. En 2020, las jóvenes inscritas solo supusieron el 24%.



Imagen 9. Pantallazo de algunos de los participantes en la masterclass.

Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia - "De niñas a investigadoras: el camino de la ciencia"

El 11 de febrero, Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, la Red de Centros Singulares de la USC (RCSI), conformada por el IGFAE, CiMUS, CiQUS y CiTIUS, organizó la mesa redonda virtual "[De niñas a investigadoras: el camino de la ciencia](#)" para acercar las experiencias de investigadoras de diferente perfil y etapa profesional con el objetivo de promover vocaciones científicas. Investigadoras en fase predoctoral, postdoctoral, jefas de grupo y directivas de los cuatro centros singulares de la USC contaron las claves, anécdotas y logros de sus trayectorias antes más de 500 alumnos y alumnas a fin de despertar la llamada de la ciencia en

Mesa redonda virtual da Rede de Centros Singulares de Investigación da USC (RCSI)

xoves, 11 febreiro
10:00 horas

**"De nenas a investigadoras:
o camiño da ciencia"**

Participan:

María José Gómez, investigadora predoutoral (IGFAE).
Catarina Allegue, investigadora posdoutoral (CiMUS).
María Giménez, investigadora principal (CiQUS).
Paula López, directora adxunta (CiTIUS).

Modera:

Elena Mora, responsable de comunicación do IGFAE.

cienciasingular cienciasingular www.11defebrero.org

Inscripcións:
bit.ly/11Fsingular

11Febrero
Día internacional de la mujer
y la niña en la ciencia

galicia Fondo Europeo de Desenvolvemento Rexional "Unha maneira de facer Europa" USC Xacobeo 2021 XUNTA DE GALICIA

Os centros da RCSI (CiQUS, CiMUS, CiTIUS e IGFAE) contan con financiamento da Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria a través do programa de axudas para a acreditación, estruturación e mellora de centros de investigación singulares e agrupacións estratéxicas consolidadas do Sistema Universitario de Galicia, cofinanciadas polo FEDER (programa operativo Feder Galicia 2014-2020).

Imagen 10. Cartel de la mesa redonda por el 11F.

niñas y jóvenes.

Vídeo divulgativo "Codex-B"

Estreno del [vídeo divulgativo](#) (tres versiones: castellano, galego e inglés) el 1 de febrero sobre un proyecto del investigador del IGFAE Xabier Cid Vidal, actualmente en desarrollo. El proyecto consiste en el diseño, construcción e instalación de un detector, denominado Codex-b, en la caverna



Imagen 11. Portada del vídeo 'Partículas de longa vida'.

del experimento LHCb del CERN cuando éste inicie en 2021 su tercer periodo de funcionamiento (*Run 3*). Su objetivo es medir partículas de "larga vida" (*long-lived particles*) que en la actualidad escapan a los detectores existentes. El vídeo explica a través de animaciones y entrevistas al propio investigador qué es la física de partículas, cómo se estudia con aceleradores y qué supone el descubrimiento de nuevas partículas. El vídeo está pensado para presentar el proyecto al público general y al personal investigador.

Trilogía de vídeos en colaboración con "Quantum Fracture"

El IGFAE está realizando una trilogía de vídeos divulgativos en colaboración con José Luis Crespo, alias Quantum Fracture, físico y *youtuber* con más de 2.7 millones de seguidores en su canal de Youtube.

Con el título "[¿Hemos Descubierto un Objeto Astronómico Nuevo? Las Estrellas de Bosones](#)", Juan Calderón Bustillo, (investigador Marie Curie "la Caixa junior leader"), Thomas Dent (coordinador del programa de ondas gravitacionales del IGFAE) y Verónica Villa Ortega (estudiante de doctorado de este programa) participan en esta primera pieza audiovisual, publicada el 25 de julio, para explicar un trabajo liderado por el primero de éstos, publicado en Physical Review Letters recientemente. Este estudio propone que la colisión de agujeros negros más masiva jamás observada, que produjo la onda gravitacional GW190521, podría ser algo todavía más misterioso: la fusión de dos estrellas de bosones. El vídeo cuenta en la actualidad con más de 620.000 visualizaciones.



Imagen 12. Capturas del primer y segundo vídeo en colaboración con Quantum Fracture.

['Este es el Líquido más Perfecto del Universo'](#) fue el segundo vídeo en colaboración con Quantum Fracture, publicado el 26 de septiembre. En esta pieza, Elena G. Ferreiro y Carlos Salgado explican este extraño estado de la materia y la teoría que gobierna los quarks y gluones: la cromodinámica cuántica (QCD). El vídeo cuenta en la actualidad con más de 760.000 visualizaciones.

El tercer vídeo está en elaboración y se estrenará en enero de 2022.

Serie de videos en colaboración con "O son das ideas"

El IGFAE también está realizando una serie de pequeños vídeos divulgativos en colaboración con Darío Lago, alias O son das ideas, físico y youtuber y divulgador gallego. Los vídeos harán un recorrido por la historia del universo.

["Por que a noite é escura?"](#) es el primer vídeo de la serie, publicado el 26 de septiembre, y en el se explica la por qué el cielo no está iluminado si está poblado de una infinidad de estrellas y el papel que juega la expansión en ello.

["A luz máis antiga do universo"](#) es la segunda pieza audiovisual, publicada el 7 de noviembre, que enlaza con el tema introducido en el vídeo anterior. La noche es oscura, pero si observamos en un rango específico del espectro electromagnético el universo está inundado de una radiación, el Fondo Cósmico de Microondas, la primera luz tras el Big Bang.

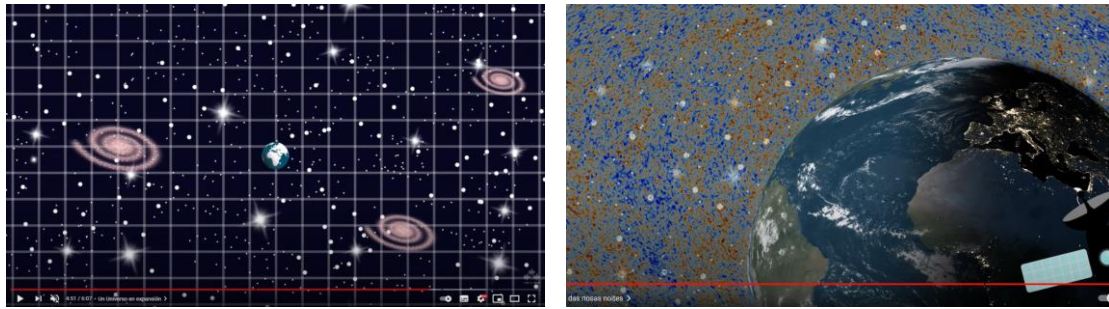


Imagen 13. Capturas del primer y segundo vídeo en colaboración con O son das ideas.

IV Semana da Ciencia

Del 15 al 25 de noviembre tuvo lugar la [IV Semana de la Ciencia](#), el gran evento divulgativo del IGFAE. El programa incluyó una nueva edición del Concurso de Comunicación Científica (con más del doble de obras recibidas respecto del 2020), formación en comunicación con perspectiva de género para el personal del IGFAE, un nuevo diálogo online del ciclo "Transfronteirizas: conversas de arte e ciencia" con Agustín Fernández-Mallo (físico y escritor) y Guillermo Martínez (matemático y escritor) y una conferencia pública el casco histórico de Santiago del investigador Iván Martí-Vidal (Universidad de Valencia), responsable de obtener la polarización de la luz de la primera imagen de un agujero negro de la historia.



Imagen 14. Carteles: Concurso comunicación científica y IV Semana da Ciencia.

Ciencia Singular 2021

La Red de Centros Singulares de Investigación (RCSI) de la Universidade de Santiago de Compostela (USC) celebró el sábado 20 de noviembre 'Ciencia Singular' una jornada de divulgación destinada a mostrar a la sociedad la labor de excelencia que realizan los cuatro centros de la red (CiQUS, CiMUS, CiTIUS e IGFAE). Se trata de una jornada dedicada a la divulgación de la ciencia y la tecnología desarrolladas en estos centros de investigación, en un ambiente lúdico y festivo, con el objetivo de ofrecer un enfoque ameno y atractivo para un público de todas las edades y todos los tipos de educación. Asistieron 164 personas en total, repartidas en los 4 turnos en los que se organizaron las charlas, talleres y demostraciones. Está jornada está fundamentalmente financiada gracias al convenio de la Consellería de cultura, educación e universidades: "Accións transversais I+D+i. Accións dinamización: xornada de portas abertas 2021", pero debido a la envergadura de algunas actividades desarrolladas y su relación con la IV Semana da Ciencia también se ha apoyado económicamente desde este programa.



Imagen 15. Cartel de la jornada Ciencia Singular.

Programación ArtLAB

Durante el año 2021 se han llevado a cabo las siguientes actividades en el marco del espacio ArtLab:

Ciclo "Transfronteirizas, conversas de arte e ciencia"

["Transfronteirizas, conversas de arte e ciencia"](#) es un ciclo de diálogos virtuales emitidos en Youtube en el que invitamos a figuras del ámbito cultural a explorar las intersecciones entre el arte y la ciencia con nuestro personal investigador, buscando un enfoque interdisciplinar. Esta iniciativa, creado en mayo de 2020 se inserta dentro del programa ArtLAB, que pretende tender puentes y fomentar la participación entre la sociedad y la comunidad investigadora a través de distintas expresiones artísticas. En 2021 se han celebrado un diálogo con la matemática y divulgadora Marta Macho Stadler y la física y escritora Anna R. Figueiredo. Próximamente tendrá lugar el tercero con Agustín Fernández-Mallo (físico y escritor) y Guillermo Martínez (matemático y escritor). En la actualidad, el ciclo cuenta con más de 28.000 visualizaciones, 14.00 interacciones, hasta 170 espectadores simultáneos y 1090 suscriptores conseguidos desde mayo de 2020, cuando se creó.

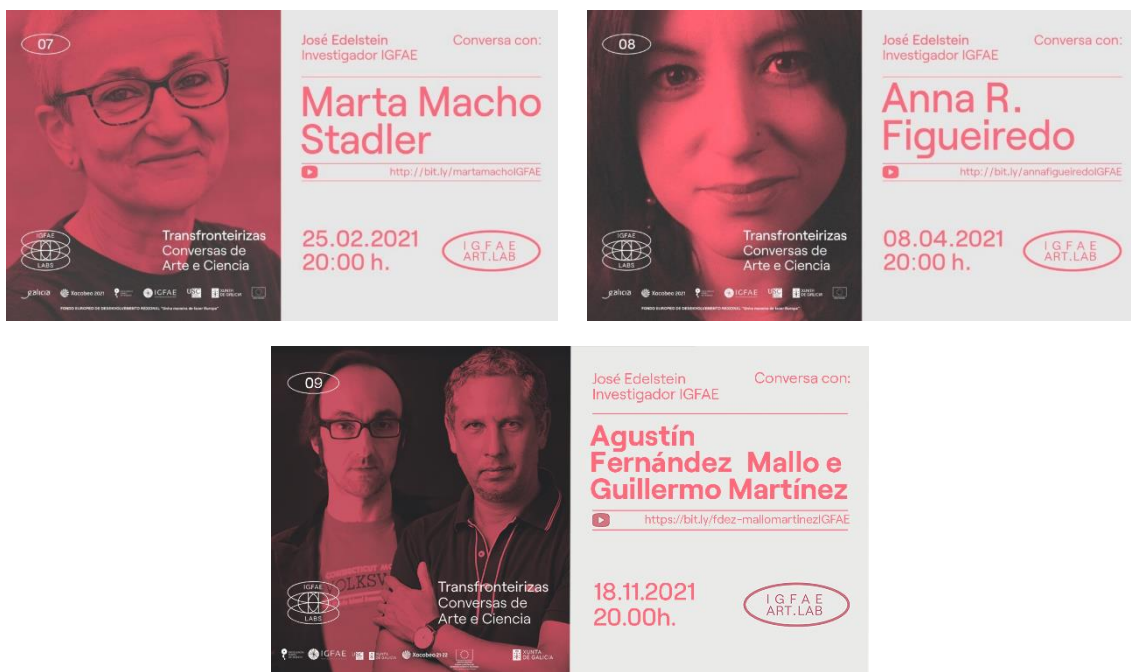


Imagen 16. Carteles de los diálogos de 'Transfronteirizas: conversas de arte e ciencia' con Marta Macho Stadler, Anna R. Figueiredo, y Agustín Fernández Mallo y Guillermo Martínez

"O soño musical dos Mapas Celestes"

El ArtLab del IGFAE promovió una iniciativa de artes escénicas y audiovisuales que acercó al público el milenarísimo Camino de Santiago de una forma diferente y transdisciplinar, vinculando arte y ciencia, así como tradición y modernidad. Las representaciones de este espectáculo fueron el 8, 9 y 10 de septiembre en el Colexio de Fonseca, a las que acudieron más de 360 personas en total. El proyecto contó con el apoyo de la Unión Europea a través de fondos FEDER, la Xunta de Galicia, el Concello de Santiago y la Universidade de Santiago de Compostela.



Imagen 17. Cartel y algunos momentos del espectáculo de 'O soño musical dos mapas celestes'

Programación EduLab

Durante el año 2021 se han llevado a cabo las siguientes actividades en el marco del espacio EduLab:

Taller de "O Fiouco: Obradoiro de construcción de cámaras de niebla"

Las cámaras de niebla fueron uno de los primeros detectores de partículas desarrollados a comienzos del siglo XX, y gracias a ellas se descubrieron partículas elementales como el positrón (1932) o el muón (1936). En la actualidad, constituyen una herramienta de incuestionable valor pedagógico para la divulgación y comprensión de la física de partículas, pues nos permite observar con nuestros propios ojos las trazas de las partículas subatómicas que atraviesan la cámara.

El objetivo de este proyecto ha sido construir desde cero pequeñas cámaras de niebla empleando placas termoeléctricas para a su refrigeración, fácilmente transportables y de sencillo mantenimiento

Con las 14 cámaras, el IGFAE impartió un [taller](#) el 9 de octubre para 12 profesores de secundaria y bachillerato de Galicia en el que se enseñó el funcionamiento básico de estos dispositivos y el procedimiento para montarlo a partir de un kit de montaje y de materiales proporcionados por el propio IGFAE. Una vez finalizado el taller, el detector se entregó a los centros educativos de los docentes con para que sea utilizado como recurso educativo.



Imagen 18. Cartel de taller de construcción de cámaras de niebla.



Imagen 19. Profesorado durante el taller de construcción de cámaras de niebla en el IGFAE.

Proyecto Lego

Desde el instituto se ha querido transmitir al público los avances en materia de física nuclear y de partículas a través de algunos de los detectores que se usan actualmente en experimentos y a través del diseño de una carta de núcleos en tres dimensiones, para ello, se planteó construir alguna maqueta a escala de estos detectores con bloques de LEGO.

Mediante la dinámica de la actividad explicando su montaje y con charlas complementarias se detallan los mecanismos que los detectores reales utilizan. Se diseñó por ordenador como sería esa carta de núcleos con bloques de LEGO, lo que ayudaría a explicar algunos fundamentos y avances específicos de física nuclear y en concreto, los descubrimientos de nuevos núcleos. Algunos de estos descubrimientos, descubiertos específicamente por investigadores del IGFAE.

Este proyecto lleva gestándose con anterioridad al 2020 pero siempre muy limitado por la financiación, tras más de un año de trabajo, tenemos las piezas y las primeras versiones de los diseños, incluidas las instrucciones de montaje, para una experiencia completa.

A corto, medio plazo se podría relacionar esta actividad con unidades didácticas de explicación de la estructura de la materia, haciendo de puente entre el IGFAE y los estudiantes. Además, la carta de núcleos con más de 40.000 bloques de LEGO será una exposición permanente en el instituto ya que se diseñó una vitrina para poder exhibirla. En la jornada de puertas abiertas Ciencia Singular de 2021 se realizaron varios talleres con los detectores de LEGO y la carta de núcleos.



Imagen 20. Modelo de detector de LEGO junto al detector real CMS del CERN.

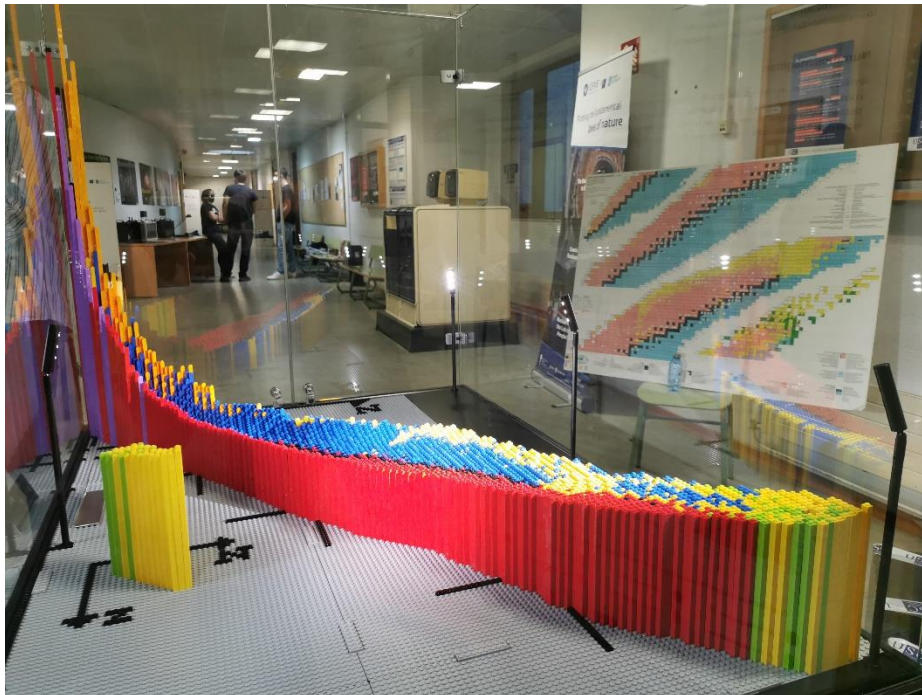


Imagen 21. Vitrina de exposición de la carta de núcleos.

Anexo 1. Nuevos proyectos

Ref.	Título			
101004761	Advancement and Innovation for Detectors at Accelerators (AIDAInnova)			
IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Gallas Torreira, Abraham Antonio	Comisión Europea	01/04/2021	31/03/2025	75.000 €

Ref.	Título			
PID2020-119632GB-I00	Materia hadrónica a altas temperaturas y necesidades en el LHC y en Estrellas de Neutrones - GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO 2020			
IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
González Ferreiro, Elena	Agencia Estatal de Investigación	01/09/2021	31/08/2024	242.000 €

Ref.	Título			
PID2020-114157GB-I00	Holografía, gravedad e integrabilidad - GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO 2020			
IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Vázquez Ramallo, Alfonso	Agencia Estatal de Investigación	01/09/2021	31/08/2024	138.424 €

Ref.	Título			
PID2020-118635GB-I00	Astronomía de ondas gravitacionales con fusiones de objetos compactos de alta masa: de agujeros negros a estrellas de bosones - GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO 2020			
IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Calderón Bustillo, Juan	Agencia Estatal de Investigación	01/09/2021	31/08/2024	55.660 €

Ref.	Título			
2021-AD037	Accións transversais I+D+i. Accións dinamización: Xornadas de portas abertas IGFAE. Convenio Accións I+D. Acción 4.2 (Xunta 2021)			
IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Salgado López, Carlos Alberto	Consellería de Cultura, Educación e Universidade	01/01/2021	31/12/2021	10.000 €

Ref.	Título			
2021-CP041	Convenio de colaboración entre a Axencia Galega de Innovación a Universidade de Santiago de Compostela e a Universidade de Vigo para fomentar a Actividade Investigadora do Persoal Universitario beneficiario dunha axuda do ERC no marco H2020			
IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Salgado López, Carlos Alberto	Axencia Galega de Innovación (GAIN)	01/01/2021	31/12/2021	6.500 €

Ref.	Título			
2021-HU004	Accións transversais I+D+i. Accións dinamización: Bolsas de verán. Convenio Accións I+D. Acción 4.2 (Xunta 2021) - IGFAE			
IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Salgado López, Carlos Alberto	Consellería de Cultura, Educación e Universidade	01/01/2021	31/12/2021	10.000,00 €

Ref.	Título			
2021-HU010	PROGRAMA PILOTO INVESTIGADOR DISTINGUIDO IGFAE I			
IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe

Salgado López, Carlos Alberto	Universidade de Santiago de Compostela	01/08/2021	31/12/2024	-
-------------------------------	--	------------	------------	---

Ref.	Título			
2021-HU015	PROGRAMA PILOTO INVESTIGADORES DISTINGUIDOS IGFAE II			

IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Salgado López, Carlos Alberto	Universidade de Santiago de Compostela	01/08/2021	31/12/2024	-

Ref.	Título			
2021-HU016	PROGRAMA PILOTO INVESTIGADORES DISTINGUIDOS IGFAE III			

IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Salgado López, Carlos Alberto	Universidade de Santiago de Compostela	01/08/2021	31/12/2024	-

Ref.	Título			
ED431C 2021/22	Consolidación 2021 GRC GI-2033 - Teoría y Fenomenología de Partículas, Astropartículas, Campos y Cuerdas - TEOFACC			

IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Miramontes Antas, José Luis	Consellería de Cultura, Educación e Universidade	01/01/2021	30/11/2024	320.000 €

Ref.	Título			
ED431B 2021/12	Consolidación 2021 GPC GI-2070 - Física Corpuscular e Aplicacións - FICA			

IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Fernández Domínguez, Beatriz	Consellería de Cultura, Educación e Universidade	01/01/2021	30/11/2024	90.000 €

Ref.	Título			
ED431C 2021/38	Consolidación 2021 GRC GI-1493 - Grupo experimental de núcleos y partículas - GENP			

IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Benlliure Anaya, José Fernando	Consellería de Cultura, Educación e Universidade	01/01/2021	30/11/2024	280.000 €

Ref.	Título			
ED481D-2021-018	Estudios de fisión nuclear inducida por colisións (p,p) e produción de hipernúcleos pesados co novedoso experimento da colaboración R3B instalado no laboratorio GSI-FAIR.			

IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Rodríguez Sánchez, José Luis	Consellería de Cultura, Educación e Universidade	31/03/2021	30/03/2024	25.000 €

Ref.	Título			
2021-SG043-1	Medida de radón e outros parámetros radiactivos en mostras ambientais			

IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Cortina Gil, María Dolores	Biotécnicas Aplicadas, S.L.	01/01/2021	31/12/2025	121€

Ref.	Título			
2021-SG043-2	Medida de radón e outros parámetros radiactivos en mostras ambientais			

IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
Cortina Gil, María Dolores	Concello de Trabada	01/01/2021	31/12/2025	65 €

Ref.	Título	IP	Financiador	Inicio	Fin	Importe
2021-SG043-3	Medida de radón e outros parámetros radiactivos en mostras ambientais	Cortina Gil, María Dolores	María Dolores Falcón Lains	01/01/2021	31/12/2025	65 €

Anexo 2 Publicaciones 2021

Título Experimental Study of 4n by Directly Detecting the Decay Neutrons

Huang S.W. et al. (103 authors) Autores IGFAE: Caamaño M., Cortina D., Fernández-Domínguez B.

Referencia Few-Body Syst. 62 (2021) 102

Programa de investigación SA3_NUCL

DOI 10.1007/s00601-021-01691-4

Título The MUGAST-AGATA-VAMOS campaign: Set-up and performances

Assié M. et al. (50 authors) Autores IGFAE: Fernández-Domínguez B.

Referencia Nucl Instrum Methods Phys Res Sect A 1014 (2021) 165743

Programa de investigación SA3_NUCL

DOI 10.1016/j.nima.2021.165743

Título Branching Fraction Measurements of the Rare $B_s^0 \rightarrow \phi \mu^+ \mu^-$ And $B_s^0 \rightarrow f_2' (1525) \mu^+ \mu^-$ Decays

Aaij R. et al. (969 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Corredoira Fernandez I., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Mombächer T., Parkinson C.J., Plo Casaus M., Prouve C., Rodriguez Rodriguez E., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia Phys Rev Lett 127 (2021) 151801

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1103/PhysRevLett.127.151801

Título Measurement of the cross section at the n_TOF facility at CERN

Gawlik-Ramięga A. et al. (133 authors) Autores IGFAE: Caamaño M., Durán I., Fernández-Domínguez B., Leal-Cidoncha E.

Referencia Phys. Rev. C 104 (2021) 044610

Programa de investigación SA3_NUCL

DOI 10.1103/PhysRevC.104.044610

Título Impact of systematic and amplitude model correlations within and between systems of combined input: a case study with φ 2 (α)

Dalseno J. Autores IGFAE: Dalseno J.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 110

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1007/JHEP10(2021)110

Título Thermal and hard scales in transverse momentum distributions, fluctuations, and entanglement

Feal X., Pajares C., Vazquez R.A. Autores IGFAE: Feal X., Pajares C., Vazquez R.A.

Referencia Phys. Rev. C 104 (2021) 044904

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.1103/PhysRevC.104.044904

Título A quantum strategy to compute the jet quenching parameter q^{\wedge}

Barata J., Salgado C.A. Autores IGFAE: Barata J., Salgado C.A.

Referencia Eur. Phys. J. C 81 (2021) 862

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.1140/epjc/s10052-021-09674-9

Título Readout Firmware of the Vertex Locator for LHCb Run 3 and beyond

Hennessy K. et al. (70 authors) Autores IGFAE: Prieto A.F., Regueiro P.V., Cid E.L., Garcia O.B., Torreira A.G., Plana B.G.

Referencia IEEE Trans Nucl Sci 68 (2021) 2472

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1109/TNS.2021.3085018

Título Search for CP violation in $\Xi_b^- \rightarrow pK^- K^-$ decays

Aaij R. et al. (967 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Mombächer T., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia Phy. Rev. D 104 (2021) 052010

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1103/PhysRevD.104.052010

Título Destruction of the cosmic γ -ray emitter Al 26 in massive stars: Study of the key Al 26 (n, α) reaction

Lederer-Woods C. et al. (126 authors) Autores IGFAE: Caamaño M., Durán I., Fernández-Domínguez B., Leal-Cidoncha E.

Referencia Phys. Rev. C 104 (2021) L032803

Programa de investigación SA3_NUCL

DOI 10.1103/PhysRevC.104.L032803

Título Simple implementation of color coherence for the resummation of soft BDMPS-Z gluons

Barata J., Domínguez F., Salgado C., Vila V. Autores IGFAE: Barata J., Domínguez F., Salgado C., Vila V.

Referencia Proc. Sci. 387 (2021) 130

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.22323/1.387.0130

Título Full solution of the medium-induced radiation spectrum

Andres C., Apolinário L., Dominguez F. Autores IGFAE: Dominguez F.

Referencia Proc. Sci. 387 (2021) 125

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.22323/1.387.0125

Título Phenomenological study of quarkonium suppression and the impact of the energy gap between singlets and octets

Blaizot J.-P., Escobedo M.Á. Autores IGFAE: Escobedo M.Á.

Referencia Phy. Rev. D 104 (2021) 054034

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.1103/PhysRevD.104.054034

Título Universal renormalization procedure for higher curvature gravities in $D \leq 5$

Araya I.J., Edelstein J.D., Sánchez A.R., Rodríguez D.V., López A.V. Autores IGFAE: Edelstein J.D., Sánchez A.R., Rodríguez D.V., López A.V.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 142

Programa de investigación SA1_STRI

DOI 10.1007/JHEP09(2021)142

Título Optimized PyCBC search for gravitational waves from intermediate-mass black hole mergers

Chandra K., Villa-Ortega V., Dent T., Mclsaac C., Pai A., Harry I.W., Davies G.S.C., Soni K. Autores IGFAE: Villa-Ortega V., Dent T.

Referencia Phy. Rev. D 104 (2021) 042004

Programa de investigación SA2_GRWA

DOI 10.1103/PhysRevD.104.042004

Título Sensitivity of a tonne-scale NEXT detector for neutrinoless double-beta decay searches

Adams C. et al. (98 authors) Autores IGFAE: Diaz G., González-Diaz D., Hernando Morata J.A., Kekic M., Palmeiro B.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 164

Programa de investigación SA2_NEXT

DOI 10.1007/JHEP08(2021)164

Título Measurement of CP asymmetry in $D^0 \rightarrow K^+ K^- S^0 K^+ S^0$ decays

Aaij R. et al. (963 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia Phy. Rev. D 104 (2021) L031102

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1103/PhysRevD.104.L031102

Título The Payload for Ultrahigh Energy Observations (PUEO): A white paper

Abarr Q. et al. (50 authors) Autores IGFAE: Ammerman Yebra J., Alvarez-Muñiz J., Zas E.

Referencia J. Instrum. 16 (2021) P08035

Programa de investigación SA2_AUGE

DOI 10.1088/1748-0221/16/08/P08035

Título Multi-particle production in proton–nucleus collisions in the color glass condensate

Agostini P., Altinoluk T., Armesto N. Autores IGFAE: Agostini P., Armesto N.

Referencia Eur. Phys. J. C 81 (2021) 760

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.1140/epjc/s10052-021-09475-0

Título Supernova Model Discrimination with Hyper-Kamiokande

Abe K. et al. (501 authors) Autores IGFAE: Díaz López G., Hernando-Morata J.A., Kekic M., Renner J.

Referencia Astrophys. J. 916 (2021) 15

Programa de investigación SA2_NEXT

DOI 10.3847/1538-4357/abf7c4

Título Upper limits on the isotropic gravitational-wave background from Advanced LIGO and Advanced Virgo's third observing run

Abbott R. et al. (1587 authors) Autores IGFAE: Davies G.S., Dent T., Sadiq J., Villa-Ortega V.

Referencia Phy. Rev. D 104 (2021) 022004

Programa de investigación SA2_GRWA

DOI 10.1103/PhysRevD.104.022004

Título Evidence for Hierarchical Black Hole Mergers in the Second LIGO-Virgo Gravitational Wave Catalog

Kimball C. et al. (13 authors) Autores IGFAE: Dent T.

Referencia Astrophys. J. Lett. 915 (2021) L35

Programa de investigación SA2_GRWA

DOI 10.3847/2041-8213/ac0aef

Título Design and implementation of the AMIGA embedded system for data acquisition

Aab A. et al. (385 authors) Autores IGFAE: Alvarez-Muñiz J., Parente G., Pedreira F., Zas E.

Referencia J. Instrum. 16 (2021) T07008

Programa de investigación SA2_AUGE

DOI 10.1088/1748-0221/16/07/T07008

Título Boosting background suppression in the NEXT experiment through Richardson-Lucy deconvolution

Simón A. et al. (103 authors) Autores IGFAE: Díaz G., González-Díaz D., Hernando Morata J.A., Kekic M., Palmeiro B.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 146

Programa de investigación SA2_NEXT

DOI 10.1007/JHEP07(2021)146

Título Deconfinement and degrees of freedom in pp and A- A collisions at LHC energies

Mishra A.N., Paić G., Pajares C., Scharenberg R.P., Srivastava B.K. Autores IGFAE: Pajares C.

Referencia Eur. Phys. J. A 57 (2021) 245

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.1140/epja/s10050-021-00552-2

Título Observation of Gravitational Waves from Two Neutron Star-Black Hole Coalescences

Abbott R. et al. (1599 authors) Autores IGFAE: Davies G.S., Dent T., Sadiq J., Villa-Ortega V.

Referencia Astrophys. J. Lett. 915 (2021) L5

Programa de investigación SA2_GRWA

DOI 10.3847/2041-8213/ac082e

Título LIGO detector characterization in the second and third observing runs

Davis D. et al. (287 authors) Autores IGFAE: Davies G.S., Dent T., Villa-Ortega V.

Referencia Classical Quantum Gravity 38 (2021) 135014

Programa de investigación SA2_GRWA

DOI 10.1088/1361-6382/abfd85

Título Constraints on Cosmic Strings Using Data from the Third Advanced LIGO-Virgo Observing Run

Abbott R. et al. (1583 authors) Autores IGFAE: Davies G.S., Dent T., Sadiq J., Villa-Ortega V.

Referencia Phys Rev Lett 126 (2021) 241102

Programa de investigación SA2_GRWA

DOI 10.1103/PhysRevLett.126.241102

Título First results of the $^{140}\text{Ce}(N,\gamma)^{141}\text{Ce}$ cross-section measurement at n_tof

Amaducci S. et al. (130 authors) Autores IGFAE: Caamaño M., Durán I., Fernández-Dominguez B.

Referencia Universe 7 (2021) 200

Programa de investigación SA3_NUCL

DOI 10.3390/UNIVERSE7060200

Título The FRAM robotic telescope for atmospheric monitoring at the Pierre Auger Observatory

Pierre Auger Collaboration T. et al. (380 authors) Autores IGFAE: Alvarez-Muniz J., Parente G., Pedreira F., Zas E.

Referencia J. Instrum. 16 (2021) P06027

Programa de investigación SA2_AUGE

DOI 10.1088/1748-0221/16/06/P06027

Título Diving below the Spin-down Limit: Constraints on Gravitational Waves from the Energetic Young Pulsar PSR J0537-6910

Abbott R. et al. (1590 authors) Autores IGFAE: Davies G.S., Dent T., Sadiq J., Villa-Ortega V.

Referencia Astrophys. J. Lett. 913 (2021) L27

Programa de investigación SA2_GRWA

DOI 10.3847/2041-8213/abffcd

Título Measurement of the prompt-production cross-section ratio $\sigma(\chi c2)/\sigma(\chi c1)$ in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV

Aaij R. et al. (965 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casusus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia Phys. Rev. C 103 (2021) 064905

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1103/PhysRevC.103.064905

Título Search for CP violation in $D(s)^+ \rightarrow h^+ \pi^0$ and $D(s)^+ \rightarrow h^+ \eta$ decays

Aaij R. et al. (955 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casusus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 19

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1007/JHEP06(2021)019

Título Imaging neutron capture cross sections: i-TED proof-of-concept and future prospects based on Machine-Learning techniques

Babiano-Suárez V. et al. (135 authors) Autores IGFAE: Caamaño M., Durán I., Fernández-Domínguez B.

Referencia Eur. Phys. J. A 57 (2021) 197

Programa de investigación SA3_NUCL

DOI 10.1140/epja/s10050-021-00507-7

Título Population properties of compact objects from the second LIGO-Virgo gravitational-wave transient catalog

Abbott R. et al. (1339 authors) Autores IGFAE: Davies G.S., Dent T., Villa-Ortega V.

Referencia Astrophys. J. Lett. 913 (2021) L7

Programa de investigación SA2_GRWA

DOI 10.3847/2041-8213/abe949

Título Jet quenching test of the QCD matter created at RHIC and the LHC needs opacity-resummed medium induced radiation

Feal X., Salgado C.A., Vazquez R.A. Autores IGFAE: Feal X., Salgado C.A., Vazquez R.A.

Referencia Phys Lett Sect B Nucl Elem Part High-Energy Phys 816 (2021) 136251

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.1016/j.physletb.2021.136251

Título Entanglement entropy in cubic gravitational theories

Cáceres E., Vásquez R.C., López A.V. Autores IGFAE: López A.V.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 186

Programa de investigación SA1_STRI

DOI 10.1007/JHEP05(2021)186

Título Bottomonium suppression in an open quantum system using the quantum trajectories method

Brambilla N., Escobedo M.Á., Strickland M., Vairo A., Griend P.V., Weber J.H. Autores IGFAE: Escobedo M.Á.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 136

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.1007/JHEP05(2021)136

Título Mapping the Universe Expansion: Enabling Percent-level Measurements of the Hubble Constant with a Single Binary Neutron-star Merger Detection

Calderón Bustillo J., Leong S.H.W., Dietrich T., Lasky P.D. Autores IGFAE: Calderón Bustillo J.

Referencia *Astrophys. J. Lett.* 912 (2021) L10

Programa de investigación SA2_GRWA

DOI 10.3847/2041-8213/abf502

Título Observation of the decay $\Lambda_b^0 \rightarrow \chi_{c1} p \pi^-$

Aaij R. et al. (955 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia *J. High Energy Phys.* 2021 (2021) 95

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1007/JHEP05(2021)095

Título Measurement of the Fluctuations in the Number of Muons in Extensive Air Showers with the Pierre Auger Observatory

Aab A. et al. (367 authors) Autores IGFAE: Alvarez-Muñiz J., Parente G., Pedreira F., Torralba Elipe G., Zas E.

Referencia *Phys Rev Lett* 126 (2021) 152002

Programa de investigación SA2_AUGE

DOI 10.1103/PhysRevLett.126.152002

Título Observation of the $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ K^+ K^- \pi^-$ decay

Aaij R. et al. (976 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia *Phys Lett Sect B Nucl Elem Part High-Energy Phys* 815 (2021) 136172

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1016/j.physletb.2021.136172

Título Calibration of the underground muon detector of the Pierre Auger Observatory

Aab A. et al. (372 authors) Autores IGFAE: Alvarez-Muñiz J., Parente G., Pedreira F., Zas E.

Referencia *J. Instrum.* 16 (2021) P04003

Programa de investigación SA2_AUGE

DOI 10.1088/1748-0221/16/04/P04003

Título Erratum to: Study of $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- K^+ K^-$ decays (Journal of High Energy Physics, (2021), 2021, 2, (24), 10.1007/JHEP02(2021)024)

Aaij R. et al. (968 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 170

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1007/JHEP04(2021)170

Título Partial local entropy and anisotropy in deep weight spaces

Musso D. Autores IGFAE: Musso D.

Referencia Phys. Rev. E 103 (2021) 042303

Programa de investigación SA1_STRI

DOI 10.1103/PhysRevE.103.042303

Título Measurement of CP observables in $B_{\pm}^{\pm} \rightarrow D^{(*)} K^{\pm}$ and $B_{\pm}^{\pm} \rightarrow D^{(*)} \pi^{\pm}$ decays using two-body D final states

Aaij R. et al. (967 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 81

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1007/JHEP04(2021)081

Título Observation of a New Excited D_s^+ Meson in $BO \rightarrow d-D^+K^+\pi^-$ Decays

Aaij R. et al. (970 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia Phys Rev Lett 126 (2021) 122002

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1103/PhysRevLett.126.122002

Título A Gravitational-wave Measurement of the Hubble Constant following the Second Observing Run of Advanced LIGO and Virgo

Abbott B.P. et al. (1189 authors) Autores IGFAE: Dent T.

Referencia Astrophys. J. 909 (2021) 218

Programa de investigación SA2_GRWA

DOI 10.3847/1538-4357/abdc7

Título Measurement of CP Violation in the Decay $B^+ \rightarrow K^+ \pi^0$

Aaij R. et al. (970 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia Phys Rev Lett 126 (2021) 091802

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1103/PhysRevLett.126.091802

Título The identification of α -clustered doorway states in 44 , 48 , 52 Ti using machine learning

Bailey S. et al. (16 authors) Autores IGFAE: Fernández-Dominguez B.

Referencia Eur. Phys. J. A 57 (2021) 108

Programa de investigación SA3_NUCL

DOI 10.1140/epja/s10050-021-00357-3

Título Search for heavy neutral leptons in $W^+ \rightarrow \mu^+ \mu^- \text{jet}$ decays

Aaij R. et al. (990 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia Eur. Phys. J. C 81 (2021) 248

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1140/epjc/s10052-021-08973-5

Título Observation of CP violation in two-body $B(s)0$ -meson decays to charged pions and kaons

Aaij R. et al. (976 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 75

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1007/JHEP03(2021)075

Título From soft to hard radiation: the role of multiple scatterings in medium-induced gluon emissions

Andres C., Dominguez F., Martinez M.G. Autores IGFAE: Dominguez F., Martinez M.G.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 102

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.1007/JHEP03(2021)102

Título First Observation of the Decay $Bs0 \rightarrow K-\mu+\nu\mu$ and a Measurement of $|Vub| / |Vcb|$

Aaij R. et al. (963 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia Phys Rev Lett 126 (2021) 081804

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1103/PhysRevLett.126.081804

Título Measurement of differential bb^- - and cc^- -dijet cross-sections in the forward region of pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV

Aaij R. et al. (985 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 23

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1007/JHEP02(2021)023

Título Validation of a laser driven plasma X-ray microfocus source for high resolution radiography imaging

Martín L., Benlliure J., Cortina-Gil D., Haruna A., Ruiz C. Autores IGFAE: Martín L., Benlliure J., Cortina-Gil D., Haruna A.

Referencia Phys. Med. 82 (2021) 163

Programa de investigación SA3_LACC

DOI 10.1016/j.ejmp.2020.12.023

Título Study of $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- K^+ K^-$ decays

Aaij R. et al. (968 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 24

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1007/JHEP02(2021)024

Título Study of the radiation-induced damage mechanism in proton irradiated low gain avalanche detectors and its thermal annealing dependence

Wiehe M., Fernández García M., Hidalgo S., Moll M., Otero Ugobono S., Parzefall U., Pellegrini G., Ventura Barroso A., Vila Alvarez I. Autores IGFAE: Otero Ugobono S.

Referencia Nucl Instrum Methods Phys Res Sect A 986 (2021) 164814

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1016/j.nima.2020.164814

Título Observation of a new Ξ_b^0 state

Aaij R. et al. (967 authors) Autores IGFAE: Adeva B., Baladron Rodriguez P., Boente Garcia O., Brea Rodriguez A., Casais Vidal A., Chobanova V., Cid Vidal X., Dalseno J., Dieste Maronas L., Fernandez Prieto A., Gallas Torreira A., Garcia Plana B., Gioventù A., Lomba Castro J., Martinez Santos D., Parkinson C.J., Plo Casasus M., Prouve C., Romero Lamas M., Romero Vidal A., Saborido Silva J.J., Santamarina Rios C., Sellam S., Vazquez Gomez R., Vazquez Regueiro P.

Referencia Phy. Rev. D 103 (2021) 012004

Programa de investigación SA1_LHCB

DOI 10.1103/PhysRevD.103.012004

Título Demonstration of background rejection using deep convolutional neural networks in the NEXT experiment

Kekic M. et al. (90 authors) Autores IGFAE: Kekic M., Renner J., Hernando Morata J.A., Díaz G., González-Díaz D., Martínez-Lema G., Palmeiro B.

Referencia J. High Energy Phys. 2021 (2021) 189

Programa de investigación SA2_NEXT

DOI 10.1007/JHEP01(2021)189

Título Design, upgrade and characterization of the silicon photomultiplier front-end for the AMIGA detector at the Pierre Auger Observatory

Aab A. et al. (359 authors) Autores IGFAE: Alvarez-Muñiz J., Parente G., Pedreira F., Zas E.

Referencia J. Instrum. 16 (2021) P01026

Programa de investigación SA2_AUGE

DOI 10.1088/1748-0221/16/01/P01026

Título Impact of dijet and D-meson data from 5.02 TeV p+Pb collisions on nuclear PDFs

Eskola K.J., Helenius I., Paakkinen P., Paukkunen H. Autores IGFAE: Paakkinen P.

Referencia Nucl. Phys. A 1005 (2021) 121944

Programa de investigación SA1_HQCD

DOI 10.1016/j.nuclphysa.2020.121944

Anexo 3. Impacto en medios

FECHA	MEDIO DE COMUNICACIÓN	TITULAR	TIPO
13/12/2021	Xunta de Galicia	La Xunta aporta 7M€ a la Universidad de Santiago para reforzar la digitalización y la innovación tecnológica	Digital
06/12/2021	Radio Voz (A noite é necesaria)	Dous premios para "AstroXabi". Conversa con Xabier Pérez Couto.	Radio
06/12/2021	La Voz de Galicia	María Blasco: «El cáncer se podrá curar, pero no erradicar porque está ligado a la vida»	Prensa/digital
06/12/2021	El Correo Gallego	"Descubrir vida inteligente en otro planeta podría ser muy frustrante"	Prensa/digital
27/11/2021	La Voz	Mariano Esteban: «Combinar vacunas será lo más efectivo para nuevas variantes como la sudafricana»	Prensa/digital
26/11/2021	Compostela 24h	Bota a andar '100xCiencia.5', espacio de reflexión na procura de respostas para os retos científicos e sociais	Digital
26/11/2021	TVGalicia	Científicos lembran que é a investigación a que resolve crises como a da pandemia	TV
26/11/2021	Galicia Confidencial	O foro 100xCiencia reivindica o valor da investigación universitaria e a comunicación científica	Digital
26/11/2021	20 minutos	El foro 100xCiencia llega a Santiago para reivindicar el valor de la investigación universitaria en la sociedad actual	Digital
26/11/2021	Consellería de Educación	La Xunta refuerza el apoyo a la investigación universitaria enfocada a la excelencia y al liderazgo internacional con una inyección de 32M€ a los ocho centros punteros	Digital
26/11/2021	Europa Press	El foro 100xCiencia llega a Santiago para reivindicar el valor de la investigación universitaria en la sociedad actual	Digital
26/11/2021	Universitat Autònoma de Barcelona	Los centros de excelencia Severo Ochoa y María de Maeztu del campus UAB, en el congreso 100xCiencia.5	Digital
26/11/2021	Gciencia	O IGFAE acolle en Santiago aos centros de excelencia científica	Digital
25/11/2021	El Correo Gallego	El responsable de la primera fotografía de un agujero negro visita hoy Santiago	Prensa/digital
25/11/2021	La Voz de Galicia	El español que hizo la primera imagen de un agujero negro estará hoy en Galicia	Prensa/digital
20/11/2021	Cadena SER	Entrevista a Dolores Pérez	Radio
20/11/2021	TV Galicia (Galicia Noticias)	Entrevista a José Luis Mascareñas	TV
15/11/2021	Código cero	O evento Ciencia Singular da USC convertiranos en científic@s por un día	Digital

12/11/2021	El Correo Gallego	Los centros singulares de la USC abren sus puertas para que todos puedan vivir la ciencia en directo	Prensa/digital
12/11/2021	Gciencia	Os centros singulares da USC abren as súas portas	Digital
12/11/2021	Quincemil	El evento Ciencia Singular de la USC se celebrará el 20 de noviembre	Digital
08/11/2021	Agencia SINC	Agujeros negros de todas las formas y tamaños en un nuevo catálogo de ondas gravitacionales	Digital
08/11/2021	Gciencia	O catálogo de ondas gravitacionais, con presenza galega, actualízase con 35 novos eventos	Digital
08/11/2021	Galicia Confidencial	Galicia participa no maior catálogo de colisións de buracos negros e estrelas de neutróns	Digital
29/10/2021	El Progreso	Un descubrimiento sobre partículas confirma una predicción hecha por físicos gallegos hace 25 años	Prensa/digital
27/10/2021	Toupiciencia	Átomos	Video
27/10/2021	El Correo Gallego	Investigadores del más alto nivel en las filas de la USC desde siempre	Prensa/digital
26/10/2021	Galicia Press	Investigadores americanos y europeos confirman lo que científicos gallegos ya anunciaron hace 25 años	Digital
26/10/2021	El Correo Gallego	Ratifican una teoría de hace 25 años en la USC	Prensa/digital
25/10/2021	Diario de Pontevedra	Un descubrimiento sobre partículas confirma unha predición feita por físicos galegos hai 25 anos	Prensa/digital
25/10/2021	Galicia Diario	Un descubrimiento sobre partículas energéticas confirma una predicción hecha por físicos gallegos hace 25 años	Digital
25/10/2021	Gciencia	Detectan partículas moi enerxéticas que predicira o IGFAE hai 25 anos	Digital
25/10/2021	21Noticias	Detectadas unhas partículas moi enerxéticas preditas polo IGFAE hai 25 anos	Digital
22/10/2021	O Correo de Bergantiños	Verónica Villa achegou o fascinante mundo das ondas gravitacionais aos estudantes de Ponteceso	
22/10/2021	NH Diario	Verónica Villa, del IGFAE, acerca la ciencia al IES Eduardo Pondal de Ponteceso	Digital
22/10/2021	Gciencia	Os detectores de partículas chegan ás aulas galegas	Digital
17/10/2021	El Correo Gallego	La USC se coloca en el top 10 de España en investigación	Prensa/digital
09/10/2021	TV Galicia	Docentes de secundaria montan cámaras de néboa para o alumnado	TV
07/10/2021	La Voz de Galicia	Investigadores del IGFAE inauguraron el club de ciencias del instituto de Baio	Prensa/digital

14/09/2021	Cúpula (El Heraldo de México)	La creatividad femenina, otra visión de la independencia	Prensa
07/09/2021	Hoy por hoy Santiago Cadena Ser	O soño musical dos mapas celestes' (1:17:22)	Radio
06/09/2021	A revista	O soño musical dos mapas celestes'	TV
03/09/2021	Lindeiros	Física e arte combinanse en "O soño musical dos mapas celestes"	Digital
03/09/2021	La Voz de Galicia	«O soño musical dos mapas celestes»	Prensa/digital
03/09/2021	Quincemil	'O soño musical dos mapas celestes' en Santiago	Digital
03/09/2021	El Correo Gallego	Comeza 'O soño musical dos mapas celestes', arte e ciencia na Ruta Xacobeá	Prensa/digital
02/09/2021	Xunta de Galicia	'O soño musical dos corpos celestes' funde arte e ciencia arredor do Camiño co apoio da Xunta	Digital
30/06/2021	21Noticias	La colaboración LIGO-Virgo-KAGRA descubre las esquivas fusiones de agujeros negros con estrellas de neutrones	Digital
29/06/2021	TecnoXplora (La Sexta)	Primera detección de ondas gravitacionales de agujero negro con estrella de neutrones	Digital
29/06/2021	Galiciapress	La USC participa en la primera detección de la fusión de un agujero negro y una estrella de neutrones	Digital
29/06/2021	Quincemil	La USC, testigo privilegiada de la fusión de un agujero negro y una estrella de neutrones	Digital
29/06/2021	ABC	Observan, por primera vez, la fusión entre dos agujeros negros y dos estrellas de neutrones	Prensa/digital
29/06/2021	Todo noticia	Cataclismo cósmico: Captada una señal de ondas gravitacionales nunca vista Ciencia	Digital
29/06/2021	Faro de Vigo	Galicia participa en la primera detección de fusiones entre agujeros negros y estrellas de neutrones	Prensa/digital
29/06/2021	La Voz de Galicia	Choque de gigantes en el espacio, el agujero negro que engulle a una estrella de neutrones	Prensa/digital
29/06/2021	El Mundo	Captan un tercer tipo de onda gravitacional: agujeros negros que engullen a estrellas de neutrones	Prensa/digital
29/06/2021	ElDiario.es	Estrella de neutrones contra agujero negro: la primera señal de ondas gravitacionales de un sistema binario perdido	Digital
29/06/2021	Agencia SINC	Primera detección de ondas gravitacionales de agujero negro con estrella de neutrones	Digital
29/06/2021	Gciencia	Descubren as fuxidías fusiones de buracos negros con estrelas de neutróns	Prensa/digital
29/06/2021	El País	Captada una señal de ondas gravitacionales nunca vista	Prensa/digital
23/06/2021	Interpempresas	CSIC desarrolla un dispositivo portátil para la detección automatizada de gas radón	Digital

23/06/2021	NCYT	Nuevo dispositivo portátil para la detección automatizada de radón	Digital
22/06/2021	Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología	Nuevo dispositivo portátil para la detección automatizada de radón	Digital
22/06/2021	Cluster TIC Galicia	O IGFAE participa no desenvolvemento dun dispositivo portátil para a detección automatizada de radon	Digital
22/06/2021	Código Cero	O IGFAE da USC impulsa un dispositivo portátil e intelixente para a detección automatizada de radon	Digital
22/06/2021	Galiciapress	USC y CSIC colaboran en el diseño de un nuevo dispositivo portátil para la detección automatizada de radón	Digital
22/06/2021	Noticias de Galicia	Desarrollan un dispositivo portátil que mide los niveles de radón a distancia	Digital
22/06/2021	Infosalus	El CSIC colabora en el diseño de un nuevo dispositivo portátil para la detección automatizada de radón	Digital
22/06/2021	El Correo Gallego	La USC participa en el diseño de un dispositivo portátil para detectar radón	Prensa/digital
22/06/2021	Gciencia	O IGFAE contribúe ao deseño dun aparello para a detección automatizada de radon	Digital
10/06/2021	Gciencia	Tecnoloxía galega para desenmascarar os esvaradíos neutrinos	Digital
10/06/2021	Galicia Confidencial	Na procura dos neutrinos que cambian de identidade e sabor...	Prensa/digital
01/06/2021	El Correo Gallego	Como será a Galicia do futuro?	Digital
01/06/2021	La Voz de Galicia	Unha mostra unirá arte e ciencia para ensinar a Galicia do futuro	Prensa/digital
01/06/2021	Faro de Vigo	Nueva exposición del Xacobeo dedicada a las ciencias y artes en "Galicia futura"	Prensa/digital
31/05/2021	Noticias Galicia	Medio centenar de artistas y científicos imaginarán la "Galicia futura"	Digital
31/05/2021	Galicia Confidencial	'Galicia futura', unha exposición "sorprendente" para soñar o que está por vir	Digital
31/05/2021	Alerta	GALICIA.-Xacobeo.- Medio centenar de creadores y científicos imaginarán la 'Galicia futura' en una exposición "sorprendente"	Digital
31/05/2021	ABC	La Galicia del futuro centrará la principal exposición del Xacobeo	Prensa/digital
31/05/2021	Quincemil	Creadores y científicos imaginarán la 'Galicia futura' en una exposición "sorprendente"	Digital
31/05/2021	Atlántico	Medio centenar de artistas imaginan la "Galicia futura"	Digital
31/05/2021	Europapress	Medio centenar de creadores y científicos imaginarán la 'Galicia futura' en una exposición "sorprendente"	Digital

31/05/2021	Cidade da Cultura	Medio centenar de creadores e científicos imaxinan a 'Galicia futura' na grande exposición do Xacobeo en 2021	Digital
24/05/2021	Xataka	El detector de partículas CODEX-b se está construyendo en Galicia y es una de las mejores bazas del CERN para hacer nueva física	Digital
14/05/2021	Gciencia	O LHC, simulado con computación cuántica; unha proposta desde o IGFAE	Digital
14/05/2021	Foronuclear	Un nuevo detector de partículas de larga vida ayudará a descifrar el Universo	Digital
07/05/2021	ABC	Científicos españoles proponen un nuevo método para refinar la constante de Hubble	Prensa/digital
06/05/2021	Freeads World News	Científicos españoles proponen un nuevo método para refinar la constante de Hubble	Digital
05/05/2021	Atlántico	Argentina premia al físico José Edelstein	Digital
05/05/2021	Prensa libre online	Científicos españoles proponen un nuevo método para refinar la constante de Hubble	Digital
04/05/2021	Asociación española para el avance de la ciencia	Cienciando #41: Conociendo el IGFAE	Digital
04/05/2021	Malvicias	Los científicos de ondas gravitacionales proponen una nueva forma de refinar la constante de Hubble: la expansión y la edad del universo	Digital
04/05/2021	Physics	Gravitational-wave scientists propose new method to refine the Hubble Constant—the expansion and age of the universe	Digital
28/04/2021	Galicia en el mundo	Feijóo recibe a seis científicos del Programa de atracción de talento que se incorporan a la investigación universitaria	Digital
27/04/2021	20 minutos	Feijóo recibe a los primeros seis científicos del Programa de atracción de talento que llegan de fuera de Galicia	Digital
27/04/2021	Galiciapress	Feijóo recibe a los primeros seis científicos del Programa de atracción de talento que llegan de fuera de Galicia	Digital
27/04/2021	Galicia Confidencial	Feijóo aos científicos do Programa de atracción de talento: "Desde xa se poñen a traballar ao servizo de Galicia"	Digital
27/04/2021	Europapress	Feijóo recibe a los primeros seis científicos del Programa de atracción de talento que llegan de fuera de Galicia	Digital
27/04/2021	El Correo Gallego	Llegan a Galicia los primeros científicos del programa de atracción de talento	Prensa/digital
21/04/2021	Dixitos	Un novo clúster de alto rendemento no CESGA para decodificar ondas gravitacionais	Digital
19/04/2021	Página12	El universo mudo	Prensa/digital
14/04/2021	Efervescencia (Radio Galega)	Efervescencia do día 15/04/2021	Radio
07/04/2021	21Noticias	La física de las palabras: Anna R. Figueiredo participará este jueves en el ciclo "Transfronteirizas, conversas de arte e ciencia" del IGFAE	Digital

01/04/2021	Explica.co	Gravitational wave from fusion of black holes or boson stars?	Digital
27/03/2021	Página12	Cuando la belleza se vuelve extraña	Prensa/digital
24/03/2021	Gciencia	O colisor LHCb pon en cuestión o Modelo Estándar de física de partículas	Digital
23/03/2021	Praza	Os resultados dun experimento do CERN con participación galega cuestionan o Modelo Estándar de física de partículas	Digital
23/03/2021	21Noticias	Novos resultados do experimento LHCb no CERN poderían poñer en dúbida o Modelo Estándar de Física de Partículas	Digital
21/03/2021	El Correo Gallego	Científicos gallegos en el 'top' de los más citados del mundo	Prensa/digital
11/03/2021	The objective	Juan Calderón Bustillo, el astrofísico español tras la hipótesis de la fusión de dos estrellas de bosones	Digital
07/03/2021	Neozone	Et si la collision de deux étoiles à bosons était à l'origine de cette incroyable onde gravitationnelle détectée en 2019 ?	Digital
07/03/2021	Efervescencia (Radio Galega)	Pescuda de novas partículas no LHC. Entrevista completa con Xabier Cid.	Radio
03/03/2021	Republic world.com	'Mysterious': Scientists Find Reason Behind Largest Gravitational Wave Detected So Far	Digital
03/03/2021	VICE	Scientists May Have Detected a Huge Collision Between Blobs of Dark Matter	Digital
02/03/2021	WION	Astronomers detect eerie stars of 'dark matter' behind largest gravitational wave	Digital
02/03/2021	Yahoo news	Collision of two 'dark matter stars' may have caused 'ripple' that reached Earth last year	Digital
02/03/2021	Science Alert	Eerie Stars of 'Dark Matter' May Be Behind Largest Gravitational Wave Detection Yet	Digital
02/03/2021	INAF	Onde gravitazionali dall'incontro fra stelle di bosoni	Digital
01/03/2021	Tech Explorist	The heaviest black hole collision might be a boson star merger, study	Digital
01/03/2021	Universe Today	An Exotic Explanation for the Most Extreme Gravitational Wave Detected so far	Digital
26/02/2021	Daily Galaxy	Theoretical 'Science-Fiction' Star – "Hints at Darker Origin of Ripples in Spacetime"	Digital
25/02/2021	Colombiano 24 h	¿Onda gravitacional: fusión de agujeros negros o estrellas de bosones?	Digital
25/02/2021	AZO Quantum	Merger of Two Boson Stars Could Explain Existence of Dark Matter	Digital
25/02/2021	Onda Cero (La brújula de Galicia)	¿Una fusión de estrellas de bosones detrás de la onda gravitacional más intrigante?	Radio
25/02/2021	El Español	Científicos gallegos vinculan la fusión de estrellas de bosones a una onda gravitacional	Prensa/digital

25/02/2021	El Tiempo	¿Onda gravitacional: fusión de agujeros negros o estrellas de bosones?	Digital
25/02/2021	EurekAlert!	An international team discovers the "heaviest black hole collision" might be a boson star merger	Digital
25/02/2021	Sciencemag	An International Team Discovers The "Heaviest Black Hole Collision" Might Be A Boson Star Merger	Digital
25/02/2021	SciTechDaily	"Heaviest Black Hole Collision" Detected by Gravitational Waves Might Actually Be a Boson Star Merger	Digital
25/02/2021	Asia research news	An International Team of Scientists Including a CUHK Student Discovers the "Heaviest Black Hole Collision" might be a Boson Star Merger	Digital
25/02/2021	Observatori Astronòmic	Una fusión de estrellas de bosones podría explicar la colisión de agujeros negros más masiva jamás observada	Digital
25/02/2021	El Correo Gallego	Importante hallazgo de estudiosos de la USC sobre los agujeros negros	Prensa/digital
25/02/2021	The Chinese University of Hong Kong	An International Team of Scientists Including a CUHK Student Discovers the "Heaviest Black Hole Collision" might be a Boson Star Merger	Digital
25/02/2021	La Jornada	Fusión de estrellas de bosones probaría que existe la materia oscura	Prensa/digital
25/02/2021	Diario de León	Onda gravitacional por la fusión de estrellas bosones	Digital
25/02/2021	Marca	El misterioso motivo que explicaría la mayor onda gravitacional: la fusión de dos estrellas bosones	Prensa/digital
25/02/2021	News Beezer	Merging boson stars could explain the massive collision of black holes and prove the existence of dark matter	Digital
25/02/2021	Portal to the universe	Merger of Two Boson Stars Could Explain Most Massive Black Hole Collision Observed	Digital
25/02/2021	En24news	Black holes or boson stars, the two possible origins of the most intriguing gravitational wave	Digital
25/02/2021	NCYT	Posible detección de la fusión entre dos estrellas de bosones	Digital
24/02/2021	Phil sports news	Black Holes Or Boson Stars The Two Possible Origins Of The Most Intriguing Gravitational Wave	Digital
24/02/2021	El País	Primera señal de una estrella invisible que puede explicar el enigma de la materia oscura	Prensa/digital
24/02/2021	ABC	La primera fusión de estrellas de bosones ya puede haber sucedido	Prensa/digital
24/02/2021	El Mundo	Agujeros negros o estrellas de bosones, los dos posibles orígenes de la onda gravitacional más intrigante	Prensa/digital
24/02/2021	Gciencia	Será esta a proba da existencia das partículas que forman a materia oscura?	Digital
24/02/2021	Agencia SINC	¿Onda gravitacional por fusión de agujeros negros o estrellas de bosones?	Digital

24/02/2021	Phys.org	Merging boson stars could explain massive black hole collision and prove existence of dark matter	Digital
24/02/2021	La Voz de Galicia	Detectan un evento físico desconocido compatible con la materia oscura	Prensa/digital
24/02/2021	Europapress	Prueba de fusión de estrellas de bosones, candidata a la materia oscura	Digital
24/02/2021	San Cristóbal Digital	La primera fusión de estrellas de bosones ya puede haber sucedido	Digital
24/02/2021	Faro de Vigo	Un equipo científico liderado en Galicia, en la 'estela' del origen de la materia oscura	Prensa/digital
24/02/2021	Todo noticia	Primera señal de una estrella invisible que puede explicar el enigma de la materia oscura	Digital
24/02/2021	TecnoXplora (La Sexta)	¿Onda gravitacional por fusión de agujeros negros o estrellas de bosones?	Digital
24/02/2021	Gente digital	Investigan si una fusión de estrellas de bosones causó la colisión de agujeros negros más masiva jamás observada	Digital
24/02/2021	Républica	La fusión de dos estrellas de bosones puede explicar la mayor onda gravitacional conocida	Digital
24/02/2021	Clarín	La fusión de dos estrellas bosones puede explicar la mayor onda gravitacional	Prensa/digital
24/02/2021	Galicia Press	Científicos gallegos establecen nexos entre una onda gravitacional y un evento físico compatible con la materia oscura	Digital
24/02/2021	Stick	Científicos gallegos establecen nexos entre una onda gravitacional y un evento físico compatible con la materia oscura	Digital
24/02/2021	20 minutos	Investigan si una fusión de estrellas de bosones causó la colisión de agujeros negros más masiva jamás observada	Digital
24/02/2021	Diario de Pontevedra	La fusión de dos estrellas de bosones puede explicar la mayor onda gravitacional	Prensa/digital
24/02/2021	Terranova	Um vislumbre da matéria escura através das ondas gravitacionais	Digital
24/02/2021	TN	La fusión de dos estrellas bosones puede explicar la mayor onda gravitacional	Digital
24/02/2021	EFE Ciencia	La fusión de dos estrellas bosones puede explicar la mayor onda gravitacional	Digital
24/02/2021	Diario de Sevilla	La fusión de dos estrellas de bosones podría explicar la mayor onda gravitacional detectada	Prensa/digital
24/02/2021	The objective	La fusión de dos estrellas de bosones podría demostrar la existencia de materia oscura	Digital
24/02/2021	Silent Garden	Merging boson stars could explain massive black hole collision and prove existence of dark matter	Digital
24/02/2021	News Break	Merging boson stars could explain massive black hole collision and prove existence of dark matter	Digital
24/02/2021	Space Australia	BLACK HOLES OR BOSON STARS: THE MYSTERY OF GW190521	Digital

24/02/2021	elsiglo.com	Fusión de dos estrellas bosones puede explicar la mayor onda gravitacional	Digital
24/02/2021	El progreso de Lugo	La fusión de dos estrellas de bosones puede explicar la mayor onda gravitacional	Digital
24/02/2021	El Periòdic	La Universitat de Valencia quiere demostrar la existencia de materia oscura en el universo	Prensa/digital
24/02/2021	Prensa libre online	La primera fusión de estrellas de bosones ya puede haber sucedido	Digital
24/02/2021	La provincia. Diario de Las Palmas	Científicos españoles detectan descubren un evento físico desconocido compatible con la materia oscura	Prensa/digital
24/02/2021	El Día. La Opinión de Tenerife	Científicos españoles detectan descubren un evento físico desconocido compatible con la materia oscura	Prensa/digital
24/02/2021	Diario de Mallorca	Científicos españoles detectan descubren un evento físico desconocido compatible con la materia oscura	Prensa/digital
24/02/2021	El rotativo de Querétaro	La fusión de dos estrellas bosones puede explicar la mayor onda gravitacional	Digital
24/02/2021	Proceso digital	La fusión de dos estrellas bosones puede explicar la mayor onda gravitacional	Digital
24/02/2021	RNN	Fusión de estrellas puede explicar la mayor onda gravitacional	Digital
24/02/2021	Sin embargo	La mayor onda gravitacional no sería la colisión de agujeros negros, sino la fusión de 2 estrellas de bosones	Digital
24/02/2021	The world news	La primera fusión de estrellas de bosones ya puede haber sucedido	Digital
24/02/2021	Última hora noticias	La primera fusión de estrellas de bosones ya puede haber sucedido	Digital
24/02/2021	The Times Hub	FIRST SIGN OF AN INVISIBLE STAR THAT CAN EXPLAIN THE ENIGMA OF DARK MATTER	Digital
24/02/2021	Europa Sur	La fusión de dos estrellas de bosones podría explicar la mayor onda gravitacional detectada	Digital
23/02/2021	21 Noticias	Matemáticas, literatura e mulleres con Marta Macho Stadler no próximo "Transfronteirizas, conversas de arte e ciencia"	Digital
22/02/2021	El Correo Gallego	"El detector Tristán es una tecnología nueva, muy poco utilizada para la medida de rayos cósmicos"	Prensa/digital
10/02/2021	Radio Galega (Efervescencia)	Entrevista con Xabier Cid sobre CODEX-B (min 2:50)	Radio
04/02/2021	Nós diario	Xabier Cid, científico: "Molesta que haxa un modelo de negocio un pouco turbio nas revistas científicas"	Prensa/digital
02/02/2021	Praza	O Instituto Galego de Física de Altas Enerxías impulsa un novo detector para o CERN na procura de partículas aínda non descubertas	Digital
02/02/2021	Lindeiros	Xunta e USC deseñan un detector de partículas de longa vida	Digital

01/02/2021	Galicia Confidencial	Así é o detector de partículas feito en Galicia para coñecer os misterios do universo	Digital
01/02/2021	Gciencia	Vídeo: científicos galegos na busca da Nova Física no CERN	Digital
01/02/2021	Europapress	El Instituto Gallego de Física de Altas Energías desarrolla un nuevo detector de partículas de larga vida	Digital
12/01/2021	Investigación y Ciencia	Ciencia y el COSMOS del siglo XXI	Prensa/digital
07/01/2021	El Correo Gallego	"Fallamos en el momento de atraer y consolidar investigadores de fuera"	Prensa/digital