



EXCELENCIA  
SEVERO  
OCHOA

# MEMORIA IAC

Instituto de Astrofísica de Canarias

# 2021

Observations and processing from 2021 by Jaime de la Cruz Rodríguez with the Swedish 1-m Solar Telescope (SST). CHROMIS Ca II K line.







# MEMORIA 2021



**UNIDAD DE COMUNICACIÓN Y CULTURA CIENTÍFICA (UC3)**  
**INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS (IAC)**



# ÍNDICE GENERAL

<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>CONSORCIO PÚBLICO “INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS”</b> .....	<b>11</b>
<b>LOS OBSERVATORIOS DE CANARIAS</b> .....	<b>17</b>
<b>COMISIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE TIEMPO (CAT)</b> .....	<b>21</b>
<b>ACUERDOS</b> .....	<b>27</b>
<b>SUBDIRECCIÓN</b> .....	<b>31</b>
OBSERVATORIO DEL TEIDE (OT) .....	39
OPERACIÓN DE LAS INSTALACIONES TELESCÓPICAS DEL IAC .....	41
CARACTERIZACIÓN DE LOS OBSERVATORIOS DE CANARIAS.....	43
MANTENIMIENTO INSTRUMENTAL.....	48
OFICINA TÉCNICA PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO (OTPC).....	50
SERVICIOS INFORMÁTICOS (SI) .....	52
<b>ÁREA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>59</b>
FÍSICA SOLAR.....	62
SISTEMA SOLAR Y SISTEMAS PLANETARIOS .....	75
FÍSICA ESTELAR E INTERESTELAR.....	83
LA VÍA LÁCTEA Y EL GRUPO LOCAL.....	101
FORMACION Y EVOLUCIÓN DE GALAXIAS.....	105
COSMOLOGÍA Y ASTROPARTÍCULAS .....	136
INSTRUMENTACIÓN Y ESPACIO.....	157
<b>ÁREA DE INSTRUMENTACIÓN</b> .....	<b>203</b>
INGENIERÍA.....	205
PRODUCCIÓN .....	225
<b>IACTEC</b> .....	<b>231</b>
<b>ÁREA DE ENSEÑANZA SUPERIOR</b> .....	<b>239</b>
CURSOS DE DOCTORADO.....	241
SEMINARIOS CIENTÍFICOS.....	243
COLOQUIOS IAC .....	248
BECAS.....	249
XXXII ESCUELA DE INVIERNO:“FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE CÚMULOS DE GALAXIAS A LO LARGO DEL TIEMPO CÓSMICO” .....	251
<b>ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS GENERALES</b> .....	<b>253</b>
GERENCIA ADMINISTRATIVA.....	259
GERENCIA OPERACIONAL .....	261
EJECUCIÓN DEL PRESUPUESTO 2021.....	263
OTRAS ACTUACIONES DESDE SERVICIOS GENERALES .....	267
BIBLIOTECA.....	271
OFICINA DE PROYECTOS INSTITUCIONALES Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN (OTRI) .....	273
RECURSOS HUMANOS .....	279

<b>UNIDAD DE COMUNICACIÓN Y CULTURA CIENTÍFICA (UC3)</b> .....	<b>283</b>
COMUNICACIÓN EXTERNA Y REDES SOCIALES.....	285
EDUCACION Y DIVULGACIÓN .....	287
PERSONAL.....	291
Y ADEMÁS.....	292
<b>PUBLICACIONES CIENTÍFICAS</b> .....	<b>297</b>
ARTÍCULOS EN REVISTAS INTERNACIONALES CON ÁRBITRO.....	298
INVITED REVIEWS (ARTÍCULOS DE REVISIÓN INVITADOS).....	338
COMUNICACIONES A CONGRESOS INTERNACIONALES .....	339
COMUNICACIONES A CONGRESOS NACIONALES.....	347
ARTÍCULOS EN REVISTAS INTERNACIONALES SIN ÁRBITRO Y COMUNICACIONES CORTAS .....	348
LIBROS Y CAPÍTULOS DE LIBROS.....	349
TESIS DOCTORALES .....	350
<b>REUNIONES CIENTÍFICAS</b> .....	<b>355</b>
REUNIONES CIENTÍFICAS.....	356
<b>DISTINCIONES</b> .....	<b>359</b>
<b>PERSONAL</b> .....	<b>363</b>
<b>DIRECCIONES Y TELÉFONOS</b> .....	<b>381</b>





# PRESENTACIÓN

Este año será recordado por la erupción del volcán de Cumbre Vieja en la Palma que tantas y tan dolorosas pérdidas ha causado a muchos ciudadanos de la isla. Sean las primeras palabras de esta Memoria una expresión de solidaridad y ánimo hacia todos los palmeros que se vieron afectados por la erupción, y sean también de agradecimiento a todos los que trabajaron intensamente para mitigar los daños originados por el volcán. Desde el IAC colaboramos con las autoridades y con el personal científico y de emergencias en las tareas de monitorización del volcán y, a través de la Fundación Starlight, aportamos y recogimos donaciones económicas de instituciones y amigos que fueron trasladadas a los necesitados con el afán de ayudar a aliviar en alguna medida una situación tan dramática para muchas familias.

El Observatorio del Roque de los Muchachos siguió operativo durante los meses de actividad del volcán, pero el Gran Telescopio Canarias, los telescopios Cherenkov y algunas otras instalaciones debieron cerrar a los pocos días de la erupción ante la llegada de cenizas al Observatorio y así permanecieron hasta el final de la misma para proteger sus equipos. Otros telescopios funcionaron de manera intermitente dependiendo de las condiciones meteorológicas del momento. Afortunadamente, las medidas de protección adoptadas fueron eficaces y no hubo que lamentar daños en los telescopios, que pudieron iniciar su actividad científica al poco de decretarse el final de la erupción.

Aparte de este episodio volcánico que permanecerá en nuestro recuerdo por siempre, la actividad de nuestro centro se desarrolló con una relativa normalidad, recuperando progresivamente la actividad presencial en todas nuestras sedes y observatorios al evolucionar favorablemente el COVID en las islas Canarias. Aunque viajar para asistir a congresos científicos o realizar estancias de trabajo siguió siendo durante todo el año algo excepcional, pudimos recuperar nuestra Escuela de Invierno de forma presencial. Resultó un gran éxito. También volvimos a tener conferencias y seminarios en nuestra Aula, si bien el número fue pequeño comparado con el de años previos a la pandemia. Lo que no disminuyó fue nuestra producción científica, que se mantiene estable tanto en el número de artículos como en la calidad e impacto de los resultados logrados, y se mantiene también el número de nuevos doctores que han defendido su tesis con éxito. Además, seguimos avanzando bien en nuestros múltiples proyectos de instrumentación astrofísica y desarrollo de grandes telescopios. Hemos recibido fondos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España con los que iniciamos una importante mejora de muchos de nuestros laboratorios,

adquiriendo nuevas capacidades en mecánica, criogenia, electrónica, detectores, cargas útiles para microsátélites y, muy especialmente, en óptica con la creación de un centro de producción de sistemas ópticos avanzados que nos permitirá abordar nuevos proyectos de vanguardia astrofísica con suficiencia e independencia tecnológica. También hemos iniciado el proyecto para la redundancia en las comunicaciones por fibra óptica con nuestro observatorio en la isla de la Palma, así como mejoras en el suministro y la sostenibilidad energética y medioambiental de todas nuestras instalaciones.

En su reunión de este año, el Consejo Rector aprobó el Plan Estratégico del IAC para el periodo 2022-2025, donde exponemos nuestra visión y las acciones a desarrollar en investigación científica, tecnológica, observatorios, formación y enseñanza superior, cultura científica y comunicación, transferencia, financiación presupuestaria y competitiva, sostenibilidad, igualdad... En este Plan, los interesados pueden encontrar una descripción actualizada de lo que hacemos y de lo que queremos hacer en el futuro próximo. Como hemos visto, estos últimos años han sido especialmente complicados, pero con la gran dedicación y el saber hacer que ha demostrado nuestro personal me permito ser optimista y confiar en que superaremos las dificultades que se puedan presentar en el futuro. No obstante, esperemos que el año 2022, de verdad, pueda ser un año normal.

RAFAEL REBOLO

*Director del IAC*

# CONSORCIO PÚBLICO

“INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS”

El Consorcio Público “Instituto de Astrofísica de Canarias” está integrado por la Administración del Estado (a través del Ministerio de Economía y Competitividad ), la Comunidad Autónoma de Canarias, la Universidad de La Laguna y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Esta fórmula jurídica de consorcio fue una avanzada solución administrativa, consecuencia de un pacto por el que las entidades implicadas, concentrando sus esfuerzos y evitando duplicidades innecesarias, se comprometieron a unificar objetivos y medios en un único ente, al que dotaron de personalidad jurídica propia. Se trataba de que el IAC fuese un centro de referencia, no sólo capaz de cumplir las responsabilidades derivadas de los Acuerdos Internacionales de Cooperación en materia de Astrofísica, en los cuales representa a España, sino además de ser palanca para el desarrollo de la Astrofísica en el país.

Cada uno de estos entes consorciados aporta algo esencial. La Comunidad Autónoma de Canarias: el suelo y, sobre todo, el cielo de Canarias; la Universidad de La Laguna: el Instituto Universitario de Astrofísica, germen del propio IAC; y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas: su experiencia en relaciones cien-

tíficas internacionales. La Administración del Estado a través de el Ministerio de Economía y Competitividad, por su parte, no sólo contribuye con el mayor porcentaje al presupuesto del Instituto, sino que, además, lo engloba dentro de sus organismos públicos de investigación y lo proyecta en la comunidad científica nacional e internacional.

Especialmente importante es la participación internacional. Téngase en cuenta que la mayoría de las instalaciones telescópicas de los Observatorios del IAC pertenecen a otros organismos e instituciones de investigación europeas.

La participación de las instituciones de los diversos países en los Observatorios se realiza a través del Comité Científico Internacional (CCI). La contrapartida principal que se recibe por el “cielo de Canarias” es del 20% del tiempo de observación (más un 5% para programas cooperativos) en cada uno de los telescopios instalados en los Observatorios del IAC. Un porcentaje realmente significativo que una Comisión para la Asignación de Tiempo (CAT) reparte cuidadosamente entre las numerosas peticiones formuladas por los astrofísicos españoles.



El IAC lo integran:

- **EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA** (La Laguna - Tenerife)
- **EL OBSERVATORIO DEL TEIDE** (Izaña - Tenerife)
- **EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS** (Garafía - La Palma)
- **EL CENTRO DE ASTROFÍSICA DE LA PALMA** (Breña Baja - La Palma)

Se estructura en áreas:

- **Investigación**
- **Instrumentación**
- **Enseñanza Superior**
- **Administración de Servicios Generales**

### Órganos Directivos

Nº Reuniones

#### • CONSEJO RECTOR

1

##### **PRESIDENTE**

- Ministra de Ciencia e Innovación

##### **VOCALES**

- Presidente del Gobierno de Canarias
- Representante de la Administración del Estado
- Rector de la Universidad de La Laguna
- Presidente del CSIC
- Director del IAC

#### • DIRECTOR

### Órganos Colegiados:

Nº Reuniones

#### • COMISIÓN ASESORA PARA LA INVESTIGACIÓN (CAI)

1

#### • COMITÉ DE DIRECCIÓN (CD)

45

- Consejo de Investigadores
- Comisión de Investigación
- Comisión de Enseñanza
- Comité de la Biblioteca

1

15

7

2

#### • COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL (CCI)

2

##### **SUBCOMITÉS**

- Servicios Comunes Obs. del Teide
- Servicios Comunes Obs. del Roque de los Muchachos
- Calidad Observatorios

2

2

2

#### • COMISIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE TIEMPO (CAT)

- Telescopios nocturnos (sala nocturna)
- Telescopios solares (sala diurna)

2

2

## REUNIONES CELEBRADAS

El Consejo Rector es el órgano supremo y decisorio del IAC, su máxima autoridad en materia administrativa y económica y a través del cual ejercen sus competencias en este instituto las distintas administraciones consorciadas: la Administración General del Estado, actualmente a través del Ministerio de Ciencia, Universidades e Innovación, la Comunidad Autónoma de Canarias (CAC), la Universidad de La Laguna (ULL) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

La ministra de Ciencia e Innovación, Diana Morant, presidió, el 13 de diciembre la reunión anual del Consejo Rector del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) en las instalaciones de IACTEC, en La Laguna.



Rafael Rebolo, director del IAC, Diana Morant, ministra de Ciencia e Innovación, y Elena Máñez, consejera de Economía, Conocimiento y Empleo, en IACTEC. Crédito: Inés Bonet (IAC).

Además de la ministra, a esta reunión también asistieron Raquel Yotti Álvarez, secretaria General de Investigación; Elena Máñez Rodríguez, consejera de Economía, Conocimiento y Empleo; Rosa M. Aguilar Chinea, rectora de la Universidad de La Laguna; Pedro Manuel Martín Domínguez, presidente del Excmo. Cabildo Insular de Tenerife; Enrique Arriaga Álvarez, consejero Insular del Área de Carreteras, Movilidad, Innovación y Cultura; y Anselmo Pestana Padrón, delegado del Gobierno en Canarias. Por videoconferencia han participado Rosina López-Álonso Fandiño, vicepresidenta de Organización y Relaciones Institucionales del CSIC, y Mariano Hernández Zapata, presidente del Excmo. Cabildo Insular de La Palma. Por parte del IAC, además de su director, Rafael Rebolo, han asistido Casiana Muñoz-Tuñón, subdirectora del IAC, y Jesús Burgos, administrador del centro, quienes han podido informar de la situación económica, fiscal y sobre

el personal del centro, así como de los acuerdos y convenios firmados.



Rafael Rebolo, director del IAC, Diana Morant, ministra de Ciencia e Innovación, y Elena Máñez, consejera de Economía, Conocimiento y Empleo, en IACTEC. Crédito: Inés Bonet (IAC).

## Memoria 2021 y Presupuesto 2022

En la reunión de Consejo Rector, el director del IAC informó sobre la actividad del centro en 2020 y 2021, así como de los futuros proyectos de investigación del IAC, y las mejoras en los diversos laboratorios de electrónica, mecánica y óptica, en particular el desarrollo del Centro de Sistemas Ópticos Avanzados o el programa de microsátélites que se llevan a cabo gracias al Plan de Recuperación y Resiliencia del gobierno o de los grandes telescopios que se quieren instalar en los Observatorios de Canarias en los próximos años. También se aprobó la previsión del presupuesto del IAC para 2022 y se trataron otros temas, como posibles ampliaciones de la sede del IAC en la Palma y las inversiones que se realizarán en el nuevo centro de tecnología IACTEC que también cuenta con el apoyo financiero del Cabildo de Tenerife para dar continuidad al programa de Capacitación Tecnológica que permite al IAC contratar jóvenes tecnólogos que se forman en proyectos principalmente relacionados con tecnologías del espacio.

Tras la reunión del Consejo Rector se celebró una rueda de prensa con intervenciones de Rafael Rebolo, Elena Mañez y Diana Morant.

*“Ha sido un consejo muy importante, que esperábamos con enorme interés”, comentó Rafael Rebolo, director del IAC al empezar la rueda de prensa. El profesor destacó que uno de los puntos importantes que se han tratado en el encuentro ha sido “el debate sobre cómo podemos seguir impulsando las grandes instalaciones científicas que queremos instalar en los Observatorio de Canarias, especialmente los Cherenkov, el telescopio Solar Europeo y el TMT”.* Además de señalar el reto



Diana Morant, durante su visita a IACTEC. Izquierda, en la sala limpia. Derecha, con el equipo de EST. Crédito: Inés Bonet (IAC).



que supone la construcción de estas infraestructuras, Rebolo se mostró satisfecho por la aprobación por parte del Consejo de los objetivos del plan estratégico presentado que guiará el futuro del centro durante los próximos 4 años. Tras este encuentro, el director del IAC dijo sentirse *“reforzado e ilusionado de poder abordar los desafíos que estos años nos plantean”*.

*“Hay muchas razones por las que deseamos que el volcán pare. Primero por las personas que han perdido sus casas, pero también para que los Observatorios continúen su actividad”*, comenzaba su intervención Elena Máñez. *“Dentro de la hoja de ruta para la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) Canarias Progreso 2030, la Astrofísica adquiere un papel protagonista por su valor añadido. De ahí, la aportación anual de 4,5 millones de euros de la comunidad autónoma para el funcionamiento del IAC, a los que se suman otras importantes aportaciones a la entidad dentro la convocatoria de subvenciones de expresión de interés”*, explicó la consejera de Economía, Conocimiento y Empleo del Gobierno de Canarias, antes de resaltar la *“importancia de la ciencia para la reactivación y la diversificación económica”*. *A través del IACTEC, por ejemplo, “se contribuye al desarrollo del talento y un tejido productivo innovador en el Archipiélago mediante la creación y atracción de empresas vinculadas a las tecnologías de óptica avanzada”*, destacó Máñez.

La encargada de concluir la rueda de prensa fue la ministra de Ciencia e Innovación, Diana Morant, que expresó el apoyo del Gobierno a la población de La Palma y ha reconocido la actividad tecnológica e investigadora del Instituto durante la pandemia. Señaló que esta ha sido la primera vez que preside la reunión del Consejo Rector, pues la erupción del volcán de La Palma comenzó en la fecha en la que estaba prevista inicialmente. *“Estamos en una emer-*

*gencia, pero también debemos garantizar el futuro tanto de La Palma como de toda la región”*, señaló. Durante su intervención, Morant informó que, *“por segundo año consecutivo el Ministerio de Ciencia e Innovación ha mejorado el presupuesto destinado al IAC, que en 2022, contará con 23,2 millones de euros, lo que refuerza la investigación del Instituto y va a permitir que aumenten sus instalaciones”*. Con esta iniciativa se pretende aumentar la presencia de infraestructuras e innovación y revalidar el compromiso del Gobierno con el territorio canario. *“Aumentamos la investigación en Canarias a través de este organismo público”*, dijo.

### Reuniones del Comité Científico Internacional (CCI)

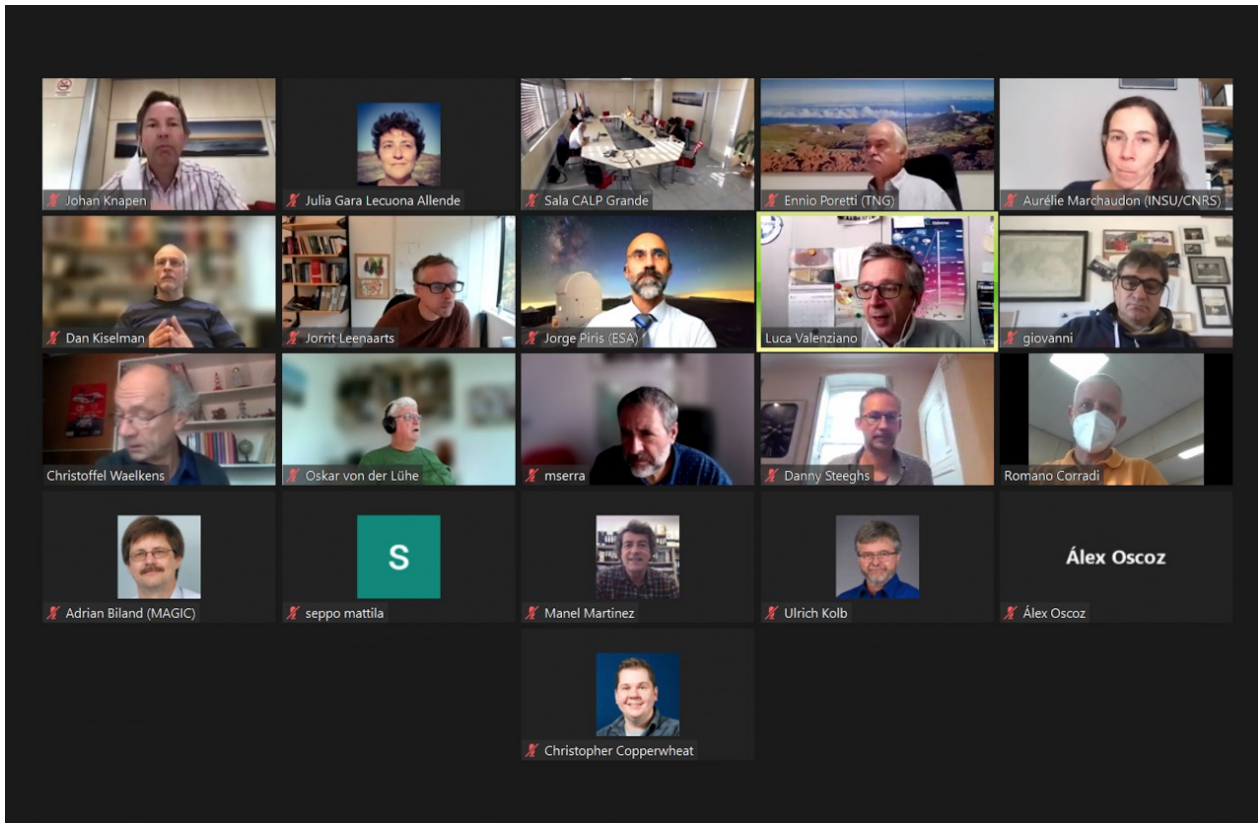
Durante 2021 tuvieron lugar dos reuniones del CCI:

- **La reunión número 85 del CCI** se celebró telemáticamente (Zoom) los días 24 y 25 de mayo.

Un nutrido grupo de representantes de las diversas instituciones que forman parte del Comité Científico Internacional se reunió, presencialmente, en la isla de La Palma los pasados 24 y 25 de mayo; a ellos se sumaron varios participantes de forma remota a través de videoconferencia. Las reuniones tuvieron lugar en la sala de reuniones del Parador de Breña Baja.

En esta reunión del CCI (Comité Científico Internacional) se trataron, entre otros temas, los últimos descubrimientos científicos logrados desde los Observatorios de Canarias así como el estado de los nuevos proyectos. Además, se analizó el progreso de los Observatorios del IAC, basándose en los informes de sus Administradores y de los Subcomités de Operaciones y de Finanzas. Igualmente, se hizo hincapié en el estado actual de recuperación de la isla





**Asistentes a la 86 reunión del CCI.**

tras la crisis volcánica y en las posibles líneas de cooperación para contribuir a la misma.

Se contó con la presencia del presidente del Cabildo insular, Mariano Hernández Zapata, quien clausuró la reunión. En su intervención el presidente agradeció la prolongada colaboración del IAC y todas las instituciones usuarias del Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM) con la sociedad palmera. Asimismo, reconoció la contribución desarrollada durante muchos años que ha situado a La Palma en primera línea mundial de la innovación en astrofísica. Por último, agradeció el apoyo y asesoramiento prestado durante la crisis volcánica.

- **La reunión número 86 del CCI** se celebró telemáticamente (Zoom) el los días 13 y 14 de octubre.

El Comité Científico Internacional (CCI) de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) celebró su reunión anual de otoño en La Palma. En esta reunión expresó su solidaridad para con la gente de La Palma en estos tiempos tan extraordinariamente difíciles.

El CCI, a través de sus grupos locales y del IAC, ha trabajado a lo largo de las últimas décadas para establecer una relación mutuamente beneficiosa con las instituciones y gentes palmeras. Nuestros objetivos han sido siempre con-

vertir La Palma en uno de los centros de investigación astrofísica líderes a nivel mundial y contribuir al desarrollo económico y cultural de la isla.

Para todas las instituciones de investigación y universidades nacionales e internacionales con representación en este comité, y sobre todo para aquellas que cuentan con telescopios y otras instalaciones científicas en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma:

- *“La Palma no es solo el lugar donde trabajamos: es donde tenemos amigos y familia; el lugar donde hemos echado raíces”*
- *“Desde la inauguración del observatorio en 1985, el trabajo, la vida y el destino de muchos de nosotros han quedado ligados indisolublemente a La Palma. Muchos de nosotros somos palmeros; no de nacimiento, pero sí de corazón”*
- *“En momentos como este, nuestros corazones están con La Palma, sin duda, pero también nuestras manos”*
- *“Desde el primer momento de la crisis volcánica, se ha dedicado personal y recursos a ayudar a la isla y a su población proporcionando información científica relevante y colaborando con PEVOLCA y con todas las autoridades locales”*

- *“También estamos uniéndonos a los programas que el IAC está poniendo en marcha para asistir a los isleños damnificados y reuniendo recursos con nuestros socios internacionales para contribuir a paliar la situación de las familias afectadas por el volcán”*

- *“Conocemos bien la resiliencia y fortaleza excepcional de los palmeros. Seguiremos reforzando nuestra colaboración y compromiso con La Palma y pueden estar seguros de que contribuiremos todo lo que podamos a su recuperación”*

IAC  
MEMORIA ANUAL  
2021

# LOS OBSERVATORIOS DE CANARIAS



# OBSERVATORIO DEL TEIDE (OT)

Superficie: 50 hectáreas  
 Altitud: 2.390 m  
 Situación: Isla de Tenerife (Islas Canarias/España)  
 Longitud: 16°30'35" Oeste  
 Latitud: 28°18'00" Norte

Diámetro (cm)	INSTRUMENTO	PROPIETARIO	Operativo (año)
20	Monitor de <i>seeing</i> automático (DIMMA)	IAC (E)	2010
<b>Telescopios de microondas</b>			
40	Experimento GroundBIRD	Colaboración GroundBIRD *	2019
150	LSPE/STRIP	Univ. Milan (IT) Inst. Física Nuclear (IT) IAC (E)	2019
250 x 2	QUIJOTE I y QUIJOTE II	IAC (E) Univ. Cambridge (RU) Univ. Manchester (RU) Inst. Física Cantabria (E) Univ. Cantabria (E)	2012 y 2014
<b>Telescopios ópticos e infrarrojos</b>			
8	Telescopio EARTHSHINE	New Jersey Inst. Technology (EEUU)	2009
34	COAST	Open Univ. (RU)	2016
40 x 2	LCOGT-Teide Node	LCOGT Network (EEUU)	2015
40 x 2	Telescopio MASTER	Inst. Sternberg MSU (RU)	2014 y 2015
30 x 2 40 x 2	Red de telescopios ópticos (OTA)	Sociedad del Telescopio (EEUU)	2015
40	Telescopio PIRATE	Open Univ. (RU)	2017
40 45 x 2	Telescopio MAGEC	Obs. Astron. de Mallorca (E)	-----
50	Telescopio MONS	Univ. Mons (B)	1972
70	Telescopio solar de Torre al Vacío (VTT)	Inst. Kiepenheuer (A)	1989
80	Telescopio IAC-80	IAC (E)	1993
90	Telescopio solar THEMIS	CNRS (F)	1996
100	Telescopio SONG	Univ. Aarhus (D) IAC (E)	2014
100	Telescopio OGS	ESA (Intern.)	1996
100	Telescopio ARTEMIS-SPECULOOS	Univ. Lieja (B) MIT (EEUU) IAC (E)	2019
120 x 2	Telescopios robóticos STELLA	Inst. Potsdam (A)	2005 y 2008
150	Telescopio solar GREGOR (GT)	Inst. Kiepenheuer (A) MPS (A) Inst. Potsdam (A)	2014
155	Telescopio infrarrojo Carlos Sánchez (TCS)	IAC (E)	1972
<b>Instrumentos en el Laboratorio Solar</b>			
	Espectrofotómetro integral MARK-I	Univ. Birmingham (RU) IAC (E)	1977
	Tacómetro de Fourier GONG-T	NSO (EEUU)	1996
	Fotómetro estelar EAST	IAC (E)	2006
	Cámaras		
	CILBO	ESA (Intern.)	2011
	AMOS-CI	Univ. Bratislava (ES)	2014
<p>A= Alemania; B= Bélgica; D= Dinamarca; E= España; EEUU= Estados Unidos; ES=Eslovaquia; F= Francia; IT= Italia; J= Japón; K= Korea; RU= Reino Unido; Intern.= Internacional</p> <p>Colaboración GroundBIRD: RIKEN Inst. for Advanced Photonics, KEK (High Energy Accelerator Research Organization), Kyoto Univ., Saitama Univ., Tokyo Univ., NAOJ (National Astronomical Obs. of Japan) (J), Univ.Tohoku (K); IAC (E).</p>			

# OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (ORM)

Superficie: 189 hectáreas  
 Altitud: 2.396 m  
 Situación: Isla de La Palma (Islas Canarias/España)  
 Longitud: 17°52'34" Oeste  
 Latitud: 28°45'34" Norte

Diámetro (cm)	INSTRUMENTO	PROPIETARIO	Operativo (año)
20	Monitor de <i>seeing</i> automático (DIMMA)	IAC (E) Univ. Niza (F)	2004
30	Monitor de <i>seeing</i> automático (RoboDIMM)	STFC/ING (RU)	2007
<b>Telescopios ópticos e infrarrojos</b>			
40 x 16	GOTO	Univ. Warwick (RU)	2017
4 x 12	SuperWASP	Univ. Warwick (RU) #	2014
45	DOT	Fundación DOT (PB)	1997
97	Refractor solar (SST)	Univ. Estocolmo (S)	2002
100	Telescopio Warwick	Univ. Warwick (RU)	2014
100	Telescopio Jacobus Kapteyn (JKT)	IAC (E) SARA (EEUU)	2015
120	Telescopio MERCATOR	Inst. Sterrenkunde (B) Univ. Leuven (B)	2002
200	Telescopio robótico Liverpool (LT)	Univ. John Moores Liverpool (RU)	2003
250	Telescopio Isaac Newton (INT)	IAC (E) ING (RU)	1984
256	Telescopio Nórdico (NOT)	Asoc. Científica NOTSA (D-FI-N-S-IS)	1989
358	Telescopio Nacional Galileo (TNG)	INAF (IT)	1998
420	Telescopio William Herschel (WHT)	IAC (E) ING (RU)	1987
1.050	Gran Telescopio CANARIAS (GTC)	GRANTECAN (E) Univ. Florida (EEUU) INAOE-UNAM (M)	2008
<b>Telescopios Cherenkov</b>			
	FRAM	Acad. Checa de Ciencias (RCh)	2018
300	FACT	Colaboración FACT *	2011
1.700 x 2	MAGIC I y MAGIC II	Colaboración MAGIC **	2005 y 2008
2.300	LST 1	Colaboración LST ***	2018
<b>Cámaras</b>			
	CILBO	ESA (Intern.)	2011
	AMOS-CI	Univ. Bratislava (ES)	2014
	SuperWASP	Univ. Warwick (RU)	2014
<p><b>A= Australia; B= Bélgica; D= Dinamarca; E= España; EEUU= Estados Unidos; ES=Eslovaquia; F= Francia; FI= Finlandia; IS = Islandia; IT= Italia; M= México; N= Noruega; P= Polonia; PB= Países Bajos; RCh= República Checa; RU= Reino Unido; S= Suecia; T= Tailandia; Intern.= Internacional</b></p> <p># GOTO: Consorcio de universidades del Reino Unido (Armagh, Leicester, Sheffield, Warwick- RU); Univ. Monash (A); Univ. Turkey (FI); NARIT (T).</p> <p>* Colaboración FACT: Univ. Würzburg, TU Dortmund (A); ETH Zurich; ISDC, Univ. Ginebra (SZ).</p> <p>** Colaboración MAGIC: Inst. for Nuclear Research &amp; Nuclear Energy (BU); Croatian MAGIC Consortium (Rudjer Boskovic Inst., Univ. Rijeka &amp; Univ. Split.) (C); Finnish MAGIC Consortium (Tuorla Obs., Univ. Turku &amp; Dept. of Physics, Univ. Oulu.) (FI); DESY, Zeuthen, MPI für Physik, Munich, Univ. Würzburg, T. Un. Dortmund; (A); SINP, Kolkata (IN); Univ. Udine &amp; INFN Trieste, INAF, Rome, Univ. Siena &amp; INFN Pisa, Siena, Univ. Padova &amp; INFN Padova, Univ. Insubria &amp; INFN Milano, Como (IT); Japanese MAGIC Consortium (ICRR, Univ. Tokyo, Tokyo &amp; Division of Physics &amp; Astronomy, Univ. Kyoto (J); Univ. Łódź (P); CIEMAT, Madrid, IAC, La Laguna, IFAE-BIST &amp; CERES-IEEC, Univ. Autònoma de Barcelona, ICE-CSIC, Univ. Barcelona, Univ. Complutense, Madrid (E); ETH, Zurich, ISDC, Univ. Geneva (SZ).</p> <p>*** Colaboración LST: CBFP, Rio de Janeiro (BR); CNRS/LAPP, Annecy (F); MPI für Physik, Munich; Univ. Hamburg; Univ. Würzburg (A); FESB, Univ. Split (C); SINP, Kolhata (IN); INFN Bari, Univ. Padova &amp; INFN Padova, INFN Perugia; Univ. Siena &amp; IFNF Pisa, Siena; Univ. Udine &amp; IFNF Trieste, Udine (IT); ICRR &amp; Univ. Tokyo, Univ. Kyoto, Univ. Ibaraki, Univ. Nagoya, Univ. Hiroshima, Univ. Yamagata, Univ. Waseda, Univ. Konan, Univ. Aoyama, Univ. Saitama, Univ. Kinki, KEK, Tsukuba, RIKEN &amp; Univ. Saitama, Univ. Tokai, Kanagawa, Univ. Tokushima (J); CIEMAT, Madrid, IAC, La Laguna, IFAE-BIST, Univ. Autònoma de Barcelona, ICC, Univ. Barcelona, Univ. Complutense, Madrid (E); Univ. Stockholm (S); ETH, Zurich (SZ).</p>			



# COMISIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE TIEMPO (CAT)

En los Observatorios del IAC



Entre los objetivos del IAC figura “promover la investigación astrofísica” y “fomentar las relaciones con la comunidad científica nacional e internacional”. La forma más directa que tiene el Instituto de actuar en tal sentido es facilitando el uso de tiempo de observación disponible en cada uno de los telescopios instalados en los Observatorios de Canarias. La asignación de tiempo de observación se realiza a través de la “Comisión de Asignación de Tiempo” (CAT), constituido por astrofísicos de probada cualificación, que se adscribe a las listas de candidatos elegibles según sus campos de investigación. Las normas sobre su composición y funcionamiento las fija el Consejo Rector del IAC.

El Presidente del CAT continúa actuando en delegación del Director del IAC. Además hay un representante del Comité Científico Internacional (CCI).

Cada uno de los tres Paneles de la nueva composición está formado por un Comisionado, un Vice-comisionado, un representante de la Subdirección General de Promoción e Infraestructuras Tecnológicas y Grandes Instalaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, en relación con el Programa de Mejora y Acceso a Grandes Instalaciones y tres vocales y especializados en un campo específico de la Astrofísica: el Panel de **Galaxias y Cosmología (GACOS)**, el de **Galaxias y Estrellas (GAES)** y el de **Estrellas y Planetas (ESPLA)**. El cometido de estos Paneles es reunirse para estudiar las propuestas de su especialidad, pre-evaluar las solicitudes y hacer llegar sus informes científicos al Presidente y Vicepresidente del CAT, por medio de sus respectivos Comisionados y Vice-comisionados, con el propósito de facilitarles su labor. Los tres Paneles se reúnen simultáneamente durante dos días consecutivos y los seis Comisionados y Vice-comisionados se reúnen a continuación con el Presidente y Vice-presidente durante dos días más.

Los miembros del CAT no permanecen en él más de 4 evaluaciones consecutivas (2 años). Al final de cada reunión semestral evaluadora se nombra el vocal correspondiente a la plaza que ha quedado vacante, de tal manera que vayan renovándose los vocales de uno en uno.



## SALA NOCTURNA

El CAT, en la sala nocturna, para los telescopios nocturnos, se reunió en dos ocasiones y asistieron a las reuniones:

24-27 de mayo – telemática (1)

22-25 de noviembre (2)

<b>Presidenta</b>	María Rosa Zapatero Osorio (CAB, CSIC-INTA) (1 y 2)
<b>Vicepresidente</b>	Ignacio Trujillo Cabrera (IAC) (1 y 2)

### PANEL I; GALAXIAS Y COSMOLOGÍA (GACOS)

<b>Comisionado</b>	Fernando Buitrago Alonso (Univ. de Valladolid) (1) Javier Roman García (IAC) (2)
<b>Vice-comisionado</b>	Mar Mezcua Pallerola (ICE) (1) Mireia Montes (STSci) (2)
<b>Vocales</b>	Sebastien Comeron Limbourg (IAC) (1 y 2) Ignacio Martín Navarro (IAC) (1 y 2) Alberto Domínguez (UCM) (1 y 2)

### PANEL II; GALAXIAS Y ESTRELLAS (GAES)

<b>Comisionado</b>	Carme Gallart Gallart (IAC) (1 y 2)
<b>Vice-comisionado</b>	Martín Guerrero Roncel (IAA) (1) Jesús Maiz Apellaniz (CAB, CSIC-INTA) (2)
<b>Vocales</b>	Matteo Monelli (IAC) (1 y 2) Manuel Linares (UPC) (1 y 2) Francesco Coti Zelati (ICE) (1 y 2)

### PANEL III; ESTRELLAS Y PLANETAS (ESPLA)

<b>Comisionado</b>	Carlos Allende Prieto (IAC) (1) Guillem Anglada Escude (ICE) (2)
<b>Vice-comisionado</b>	Jorge Lillo- Box (CAB, CSIC-INTA) (1) Hugo Tabernerero (CAB, CSIC-INTA) (2)
<b>Vocales</b>	Paulo A. Miles Páez (ESO) (1 y 2) Juan Carlos Morales (ICE) (1 y 2) Ovidiu Vaduvescu (ING) (1 y 2)

## SALA DIURNA

El CAT, en la sala diurna, distribuyó el tiempo de observación de los telescopios solares. Se reunió en dos ocasiones y los participantes fueron:

<b>Presidenta</b>	Sara Esteban Pozuelo (IAC)
<b>Vocal del IAC</b>	David Orozco Suarez (IAA)
<b>Vocal de la Comunidad Nacional</b>	Jaume Terradas (Univ. Islas Baleares)
<b>Vocal Comité Científico Internacional</b>	Jaime de la Cruz Rodríguez (Univ. de Estocolmo, Suecia)

17 de febrero

15 de junio

NOTA: Las resoluciones del CAT, con las propuestas seleccionadas, aparecen detallados en las siguientes direcciones electrónicas:

- telescopios solares: <http://www.iac.es/cat/pages/cat-solar/es/introducciasup3n.php>

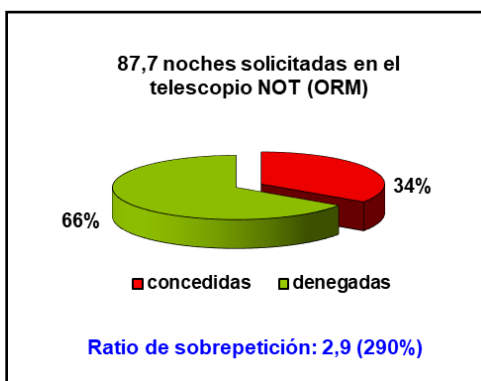
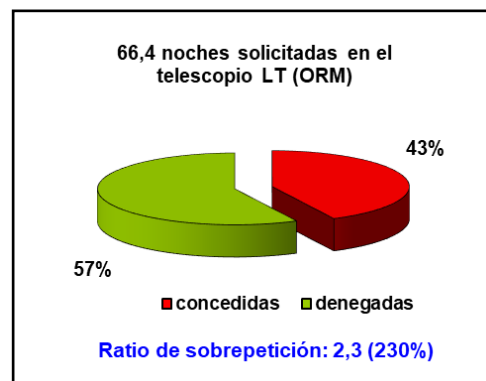
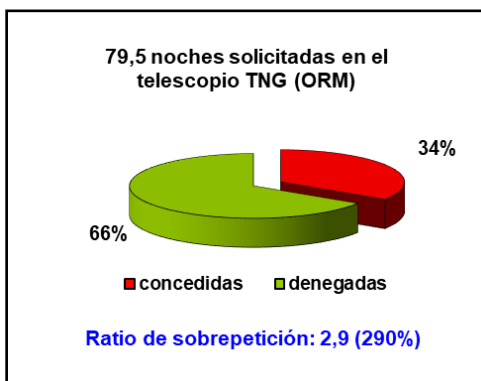
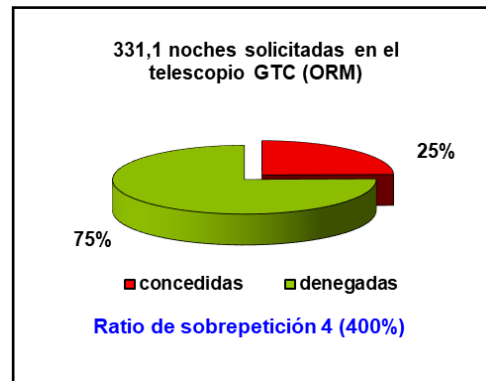
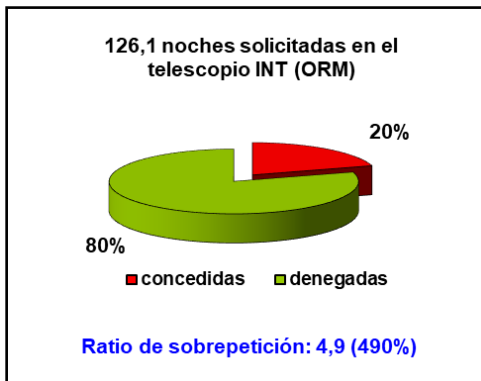
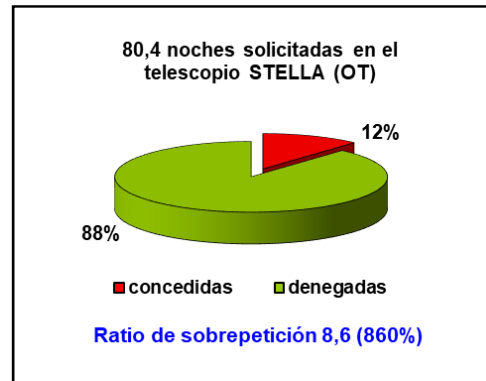
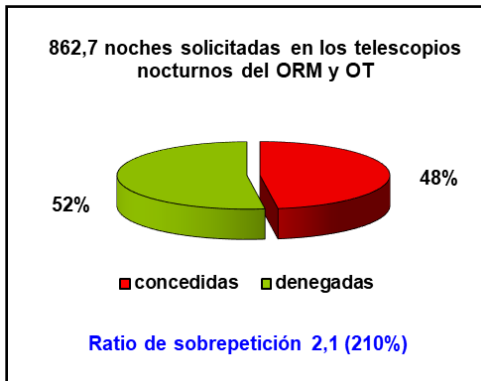
- telescopios nocturnos: <http://www.iac.es/cat/pages/cat-nocturno/es/presentacion.php>

por lo que para evitar repeticiones no se incluirán en esta Memoria.

## RATIOS DE SOBREPETICIÓN PARA EL TIEMPO ESPAÑOL EN LOS TELESCOPIOS NOCTURNOS DEL OT Y DEL ORM

El Telescopio WHT no se ofreció a la comunidad en estos dos semestres en preparación para la llegada del instrumento WEAVE.

El ratio de sobrepetición expresa el número de noches solicitadas por cada noche concedida.





# ACUERDOS



A continuación, se relacionan los Convenios firmados con entrada en vigor a lo largo 2021, nacionales e internacionales, tanto Acuerdos Marco, como Convenios al amparo de la Ley 40/2015, de 1 de junio, de Régimen Jurídico del Sector Público, y al amparo de la Ley 25/2014, de 27 de noviembre, de Tratados y otros Acuerdos Internacionales.

A lo largo de 2021 se firmaron un total de 25 acuerdos de diferente tipología.

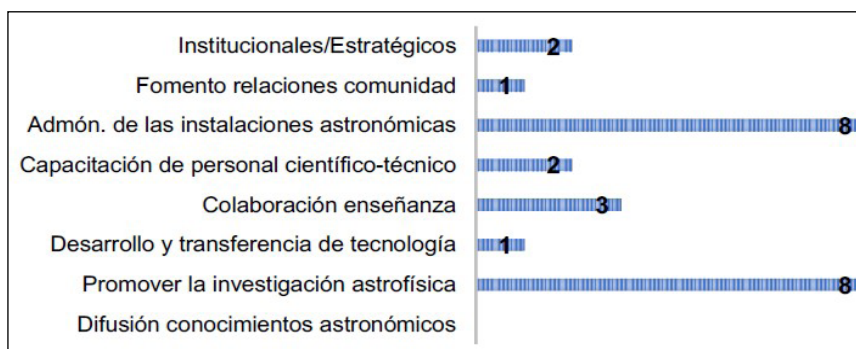
Asimismo, cabe destacar que a finales del año 2021 se inició un proyecto para optimizar la tramitación y seguimiento de los convenios. Se pretende optimizar el seguimiento de todos los acuerdos en vigor, establecer las bases

para la renegociación de los convenios que deben permanecer vigentes, revisar y ampliar el procedimiento, impulsar aún más la gestión documental, elaborar y definir los procesos de seguimiento y cumplimiento de las obligaciones económicas y compromisos del IAC, y establecer pautas clave para el correcto seguimiento de las actuaciones previstas en los convenios.

En la actualidad se está revisando en profundidad el procedimiento de convenios y su flujo-jograma, para incluir todos los procesos de autorizaciones que recoge la diferente normativa de aplicación y que ha sufrido modificaciones desde el último procedimiento aprobado.

Convenios firmados		Régimen jurídico de aplicación		
Ámbito		Ley 40/2015	Ley 25/2014	Otros
	Internacional	6	1	7
	Nacional	7	0	4

**Tipología de los convenios firmados en 2021 según el régimen jurídico de aplicación y ámbito de los mismos.**



**Tipología de los convenios firmados en 2021 según su finalidad principal de colaboración.**

## INTERNACIONALES

- Convenio con el Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) para la instalación y operación De la Red ASTRI en el OT.
- Convenio con Technology for Solutions and Innovations para el avance en la detección y caracterización de Exoplanetas.
- Convenio con el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) para la creación del laboratorio de investigación internacional laboratorio francoespañol de Astrofísica en Canarias "FSLAC".
- Acuerdo con Riken Center for Advanced Photonics para la instalación y operación del GroundBIRD experiment en el OT.
- Acuerdo de cooperación educativa con Centralesupelec para prácticas curriculares externas.
- Acuerdo Marco (MoU) entre la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, University of Copenhagen, Stockholm University para el diseño, construcción y operación del instrumento MAAT Gran Telescopio Canarias (GTC).
- Acuerdo Marco (MoU) entre la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Università degli Studi di Milano, The Chancellor Masters and Scholars of the University of Oxford, Scuola Internazionale Superior di Studi Avanzati, Université Toulouse III – Paul Sabatier para el diseño y desarrollo, construcción, despliegue y operación del European Low Frequency Survey (ELFS).
- Acuerdo de colaboración con HISPASAT, TAS-E, ATN, CELLNEX, DAS, GMV, INDRA, TECNOBIT, QUSIDE, SENER, Telefónica, CCN, CSIC, INTA, IAC ICFO, UPM, UV.
- Convenio con SLOOH LLC / Sociedad del Telescopio para la operación de la red de telescopios ópticos en el Observatorio del Teide.
- Convenio con la Comenius University in Bratislava para la operación del Automatic MeteorOrbit System (AMOS) en los OOC.
- Acuerdo de colaboración con Warwick, Monash, Armagh Observatory, Sheffield, Leicester, NARIT, Turku, Portsmouth, Manchester para la investigación GOTO.
- Acuerdo de colaboración con los Observatorios Astronómicos Nacionales, Academia China de las Ciencias sobre un programa de visitas para estudiantes, post-doctorandos y jóvenes investigadores.
- Acuerdo Marco (MoU) con el Institut d'Astrophysique Spatiale de cooperación científica y técnica.
- Convenio con Las Cumbres Observatory Global Telescope para la operación del nodo del Teide del LCO, en el Observatorio del Teide.



Captura de imagen de la reunión por videoconferencia mantenida entre representantes del IAC y el CNRS.



## NACIONALES



Representantes del Cabildo de La Palma, del Ayuntamiento de Garafía y del IAC en la firma del acuerdo de gestión del Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos. Crédito: Cabildo de La Palma.

- Convenio con Cabildo Insular de La Palma y Ayuntamiento de Garafía para la gestión y el desarrollo del Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos en La Palma.



Representantes del Gobierno de España y Canarias, Cabildo de La Palma, Ayuntamiento de Garafía y del IAC en la inauguración del Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos, el 20 de diciembre. Crédito: Cabildo de La Palma.

- Colaboración con la Universidad de La Laguna (ULL) en la enseñanza universitaria y en actividades de I+D+I.
- Convenio con la Secretaría General de Administración Digital (AGE) para la prestación de los servicios asociados a la utilización de la "Gestión Integrada de Servicios de Servicios de Registro" (GEISER) como aplicación integral de registro.
- Convenio con la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) para la coordinación de actividades formativas, científicas, de desarrollo tecnológico y de transferencia empresarial.



Participantes de la reunión entre el IAC y la ULPGC para renovar el convenio de colaboración del Programa de Tecnología Médica del IAC. Crédito: Inés Bonet (IAC).

- Protocolo General de Actuación para la gestión y coordinación de la RIA. Firmantes Secretaria General de Investigación, Agencia Estatal de Investigación, Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Geográfico Nacional, Gran Telescopio de Canarias y Fundación Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón.
- Adenda al convenio firmado con el Ministerio de Justicia, Abogacía General del Estado con el de asistencia jurídica.
- Acuerdo con el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial "Esteban Terradas de intenciones para la realización conjunta de actividades de investigación científica y técnica.
- Memorando de entendimiento entre la Fundación Mujeres por África y el Consorcio Instituto de Astrofísica de Canarias. Firmado con la Fundación Mujeres por África.
- Adenda al convenio firmado con el Cabildo Insular de Tenerife, el Parque Científico y Tecnológico de Tenerife y Universidad de La Laguna (ULL) para la promoción de la I+D+I, la actividad empresarial y la transferencia de conocimiento en el sector de astrofísica y espacio vinculadas al edificio IACTEC ubicado en el enclave INTECH la Laguna (zona "Hogar Gomero").
- Concierto específico de colaboración con CEAD Santa Cruz para la formación en centros de trabajo.
- Convenio con Light Bridges, S.L. para la construcción y operación del Two-meter Twin Telescope (TTT) en el Observatorio del Teide, Tenerife.



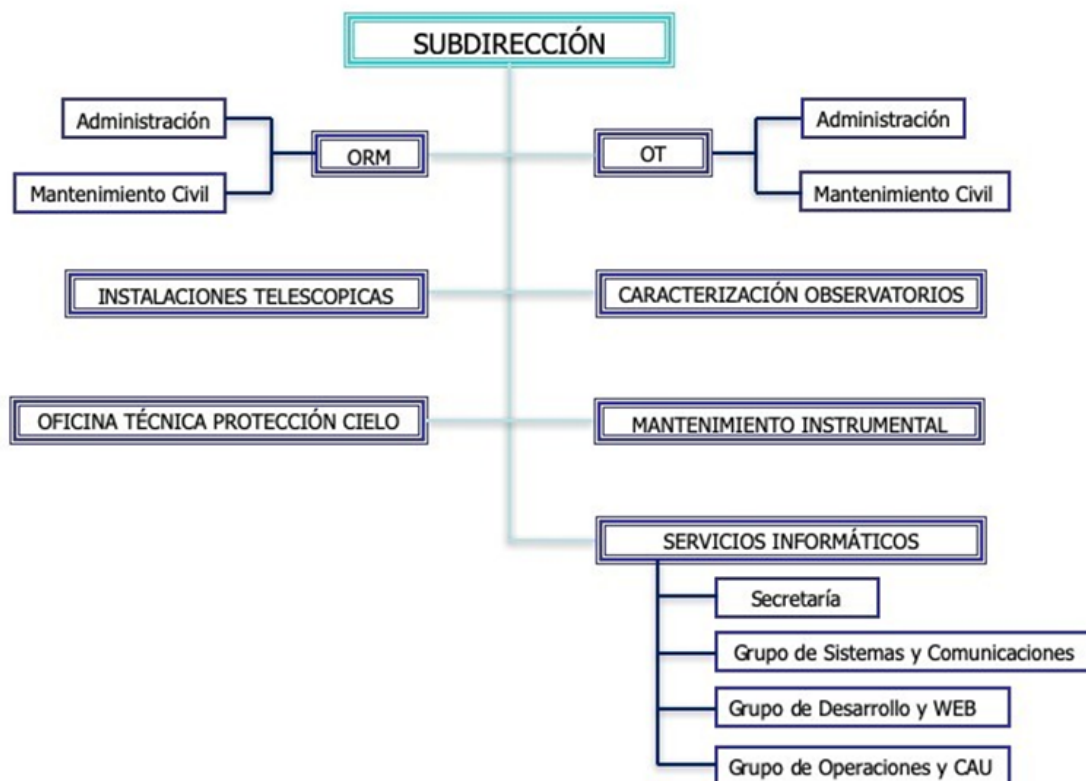
# SUBDIRECCIÓN



Todas las unidades directamente relacionadas con la operación de los Observatorios de Canarias, están agrupadas y dependen de la Subdirección del IAC (decidido en el Consejo Rector de junio de 2015). De esta manera se asegura la sinergia entre ellas, una gestión activa de los acuerdos internacionales y la coordinación entre ambos Observatorios, Además se optimiza el trabajo de las diferentes unidades de apoyo a las actividades en La Palma y Tenerife.

Las unidades dependientes de la Subdirección son las que se detallan a continuación.

- Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM) + Centro de Astrofísica de La Palma (CALP)
- Observatorio del Teide (OT)
- Operaciones de las Instalaciones Telescópicas
- Caracterización de los Observatorios de Canarias
- Mantenimiento Instrumental
- Oficina Técnica para la Protección del Cielo (OTPC)
- Servicios Informáticos comunes (SI)





El IAC juega un papel clave garantizando la excelencia de los OOC, no sólo a nivel científico; también en el despliegue de inversiones tecnológicas y técnicas que aseguran una explotación exitosa de los mismos y una operación ininterrumpida los 365 días del año.

Actualmente los OOC albergan numerosos telescopios e instrumentos, constituyendo el grupo de instalaciones para astrofísica nocturna y solar, visible e infrarroja, más importante en los territorios de la Unión Europea (UE) y la mayor colección de telescopios multinacionales en todo el mundo. Otros experimentos para Astrofísica de Altas Energías y el estudio del Fondo Cósmico de Microondas completan la batería de instalaciones disponibles.

Los OOC albergan el mayor telescopio Óptico-IR de Mundo, el Gran Telescopio Canarias (GTC), de 10,4 m de espejo primario. Además, dos telescopios Cherenkov (MAGIC I y MAGIC II) actualmente operativos, y cuya exploración científica será ampliamente reforzada por la red de telescopios Cherenkov Telescope Array (CTA) en el Hemisferio Norte. CTA constituirá el mayor y más sensible observatorio de rayos gamma de alta energía. El Proyecto consta de 4 telescopios Cherenkov de 23 m (Large-Sized Telescopes, LST) y 15 de 12 m (Medium-Sized Telescopes, MST). El primer LST se inauguró en 2018 y los otros 3 están en fase de construcción. Por su parte, el Observatorio del Teide acoge también un ambicioso experimento para el estudio del Fondo Cósmico de Microondas (QUIJOTE) y diversos instrumentos empleados en el Laboratorio Solar. Entre las instalaciones solares destacan el telescopio de 1,5 m GREGOR (situado en el OT) y la Torre Solar Sueca, de 1 m, en el ORM, además del futuro telescopio solar europeo (EST) de clase 4 m que se instalará en La Palma. A todo ello, debemos añadir los instrumentos de monitorización automática, dedicados estos últimos

a la cuantificación y protección de la calidad de los cielos canarios.

La vocación de colaboración científica está en los fundamentos originarios del IAC y la amplia y variada presencia de instituciones internacionales en los Observatorios de Canarias es una prueba irrefutable de ello. Estas instituciones internacionales usuarias de los observatorios son propietarias de la mayoría de las instalaciones telescópicas. Siguiendo las directrices establecidas en los convenios internacionales firmados para formalizar dicha colaboración científica, se creó un Comité Científico Internacional (CCI) que coordina las actuaciones de las diferentes instituciones usuarias y que entre sus principales funciones tiene la asignación del 20% del tiempo de observación que estas instituciones internacionales deben ceder como contraprestación por la cesión de territorio donde se localizan.

La organización detallada, planificación y funcionamiento cotidiano se articula a través de diferentes comisiones y comités. Se listan a continuación algunos de ellos de especial relevancia.

#### ***Comités oficiales relacionados con los Observatorios:***

- Comité Científico Internacional (CCI)
- SuCOSIP (CCI) + Subcommittee Site Properties CCI
- Laser Working Group (SUCOSIP/CCI)
- Comité de Servicios Comunes del Observatorio del Roque de los Muchachos
- Comité de Servicios Comunes del Observatorio del Teide
- Grupo de Trabajo Observatorio Sostenible
- Comité de Seguridad ORM
- Comité Internacional de Iluminación (CIE)
- Comité de Alto nivel Acuerdo IAC-AEMET

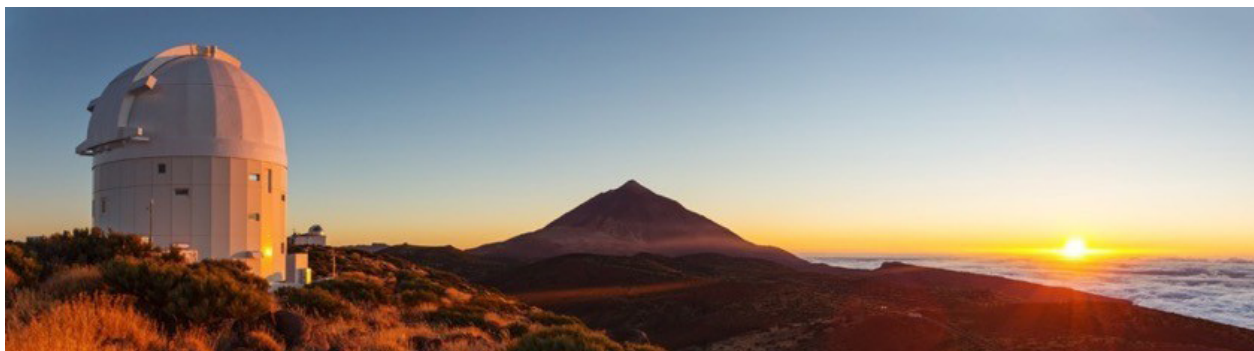
## OBSERVATORIOS DE CANARIAS (OCAN)

Los Observatorios de Canarias (OCAN), administrados por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) están catalogados como Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares (ICTS). En los dos emplazamientos que lo conforman, el Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM, La Palma) y el Observatorio del Teide (OT, Tenerife), ambos a unos 2.400 m de altitud, colaboran más de 75 instituciones científicas de 25 países.

Ambos Observatorios, como uno sólo, bajo la denominación de Observatorios de Canarias (OCAN), forman parte del mapa nacional de Instalaciones Científicas y Técnicas Singulares (ICTS), como parte integrante de la Red de Infraestructuras de Astronomía. Esto es así desde la primera convocatoria en el año 2007. La excelente calidad astronómica del cielo de Canarias, perfectamente caracterizado y protegida por Ley, hace de los Observatorios del IAC una “reserva astronómica”, abierta a la comunidad científica internacional desde 1979

mediante la firma de los Acuerdos de Cooperación en materia de Astrofísica.

Los Acuerdos Internacionales de Astrofísica confieren a la participación española unas características singulares y un marco de colaboración con organizaciones científico-técnicas facilitando, entre otros aspectos, atraer notables inversiones a los observatorios; mantener en funcionamiento unas instalaciones de primer orden; reservar para la comunidad astrofísica española un porcentaje del tiempo de observación más un 5% adicional para programas cooperativos, lo que supone un retorno mucho más que proporcional a la inversión española; y desarrollar en Canarias tecnología avanzada de calidad, con una intensa promoción de la industria de la ciencia, posicionándola de manera estratégica para la construcción de la nueva generación de telescopios en los principales observatorios del mundo.

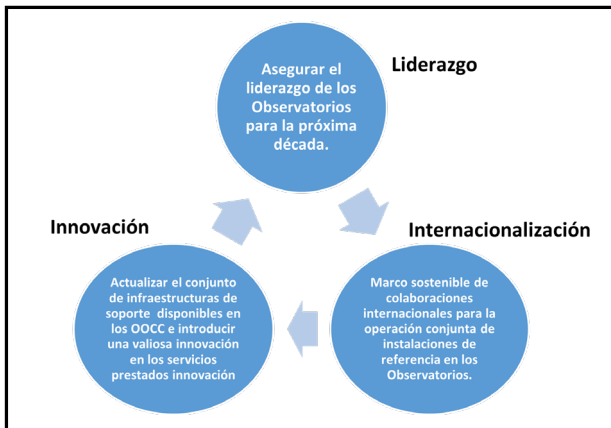


Panorámicas del Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM), arriba, y del Observatorio del Teide (OT) abajo.



**Financiación**

Si bien los Observatorios disponen de numerosas infraestructuras de apoyo a la observación, la creciente demanda de nuevas instalaciones, unida a la alta competencia por consolidar a los OCAN como punto de emplazamiento de referencia mundial en el hemisferio norte, han propiciado la elaboración de un Plan Estratégico 2017-2021 (prorrogado hasta 2023) con 3 objetivos estratégicos:



Para ello se han priorizado inversiones estratégicas en las siguientes actuaciones clave:

- INSTRUMENTACIÓN AVANZADA PARA INSTALACIONES TELESCÓPICAS
- MEJORA EN OPERACIONES TELESCÓPICAS Y PROGRAMAS DE OBSERVACIÓN
- GRANDES INFRAESTRUCTURAS DE INVESTIGACIÓN
- SERVICIOS E INFRAESTRUCTURAS TÉCNICAS ESTRATÉGICAS DE APOYO A LA EXPLOTACIÓN CIENTÍFICA DE LOS OBSERVATORIO DE CANARIAS

Estas actuaciones se desagregan en 20 acciones prioritarias, incluyendo inversiones en infraestructuras únicas o excepcionales en su género, por valor próximo a los 30 millones de euros,

cuya importancia y carácter estratégico justifica que su uso esté abierto a todo el colectivo de I+D+i. Los OCAN dependen indefectiblemente del adecuado respaldo de Servicios e Infraestructuras Técnicas Estratégicas que desarrolla el Plan Estratégico. Cumplir con estas necesidades técnicas garantiza su reconocimiento como parte de la élite de la astronomía mundial y apalanca su impacto socio-económico. Por un lado, estos prestigiosos emplazamientos de investigación astrofísica abren la puerta a nuevas inversiones en instalaciones telescópicas clave para el sector astrofísico, reportando beneficios directos a empresas de diversos ámbitos, incluyendo aquellas de ingeniería especializada, de mecanizado de precisión de grandes y pequeñas dimensiones, empresas de calderería y punteados de precisión y empresas de desarrollo y construcción de circuitos electrónicos, software especializado, entre otras. Los beneficios son directos para todas ellas ya que deberán incorporar técnicas y recursos específicos para los nuevos proyectos incluyendo nuevos desarrollos en aspecto clave como: grandes estructuras mecánicas para telescopios gigantes, electrónica ultra-rápida y de bajo ruido para cámaras, integración de mecánica y electrónica en esas cámaras, sistemas de control, sistemas auxiliares, espejos, etc.

Los OCAM pueden acceder a financiación FEDER para desarrollar inversiones estratégicas gracias a su inclusión en el Mapa nacional de ICTS. Las ICTS son grandes instalaciones, de titularidad pública, que se caracterizan por ser únicas en su género y por estar abiertas a usuarios de toda la comunidad científico-tecnológica e industrial del sector público y privado. Son instalaciones complejas, de coste de construcción y operación elevado, que implican desarrollos tecnológicos específicos y la utilización de tecnología de vanguardia y que requieren de una masa crítica de científicos y tecnólogos. Las imágenes siguientes resumen la situación de financiación aprobada:

**Plan Estratégico de los OCCC (2017-2021) PROCESO DE EVALUACIÓN INTERNACIONAL**

MAPA DE INFRAESTRUCTURAS CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS SINGULARES (ICTS)

MAPA DE INFRAESTRUCTURAS CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS SINGULARES (ICTS)

INFRAESTRUCTURA DE CIOS

ÁREAS TEMÁTICAS

- ✓ FORMALMENTE APROBADO: DICIEMBRE 2018
- ✓ 19 acciones (de 33) priorizadas por la Junta de Evaluación Internacional
- ✓ Propuesta de ejecución: Ene 2019 - Jun 2023
- ✓ Número de acciones que han solicitado fondos: 17
- ✓ Número de acciones financiables con fondos FEDER: 11
- ✓ Fondos solicitados (provisionalmente): 8,1 Meuros
- ✓ Fecha prevista para la firma del convenio: Mayo 2020.

**MAPA DE INFRAESTRUCTURAS CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS SINGULARES (ICTS)**

El IAC ha presentado una primera operación denominada INSIDE-OOCC cuyo presupuesto total asciende a 8,139 k€. Asimismo, está en preparación una nueva solicitud para la construcción de 5 MSTs vinculados al proyecto de CTA-Norte y una actualización del Plan Estratégico para incluir las siguientes actuaciones:

1. The New 4m Robotic Telescope (NRT)
2. Zero discharge of sewage from observatories
3. A new 2 m-class telescope as major upgrade of IAC-80
4. Upgrade the OGS and production of pilot interference filters for wide field surveys
5. New technology hybrid optical telescope (mini-ELF)
6. A multi-line integral field unit spectro-polarimeter for THEMIS

Respecto a la solicitud INSIDE, señalar que todas las actuaciones contempladas en esta operación y sus respectivas sub-actuaciones contribuyen a la implementación de las 4 estrategias definidas en el Plan Estratégico y se desarrollan a través de inversiones priorizadas por el Comité Asesor de Infraestructuras Singulares (CASI), cuyos principales bloques se listan a continuación:

Estrategia plan OOCC	Actuación / Subactuación	Presup. (k€)	Periodo
s2; s4	Actuación 1. Instrumentación avanzada para instalaciones telescópicas	2.25	2019- jun2023
S2	SUB-ACT1.2 WHT	200	2019- dic2022
S2	SUB-ACT1.3 ARES:HARPS3&HORUS	500	2019- dic2021
S4	SUB-ACT1.4 LGSF	1.000	2019- jun2023
S2	SUB-ACT1.5 FCM-QUIJOTE	625	2019- jun2023
S2	Actuación 2. Mejora en operaciones telescópicas y programas de observación	914	2019- jun2023
S2	SUB-ACT2.2 NUEVOS DETECTORES	594	2019- jun2023
S2	SUB-ACT2.3 IAC80&TCS	320	2019- jun2023
S1	Actuación 3. Grandes infraestructuras de investigación	1.000	2019- jun2023
S1	SUB-ACT3.1 EST	1.000	2019- jun2023
S3;S4	Actuación 4. Servicios e infraestructuras técnicas estratégicas de apoyo a la explotación científica de los Observatorios de Canarias	3.900	2019- jun2023
S3	SUB-ACT4.1 EQUIP EMERGENCIAS	300	2019- 2020
S3	SUB-ACT4.2 ORM-POWER ISSUES	2.700	2019- jun2023
S3	SUB-ACT4.3 REDIRIS-NOVA	490	2019- 2021
S4	SUB-ACT4.4 SKY QUALITY	410	2019- jun2023
<b>Total general:</b>		<b>8.139</b>	

La descripción detallada de cada una de las actuaciones y subactuaciones está en la memoria del IAC 2019 (<https://www.iac.es/es/divulgacion/ediciones/memoria-iac-2019>).

Por otra parte, la población de Canarias está imbuida de la importancia que tienen los Observatorios y sus instalaciones presentes y futuras. La difusión de la Ley del Cielo ha sensibilizado especialmente a los habitantes de las islas de La Palma y Tenerife, que no sólo aprecian y valoran el cielo que poseen sino que además asumen la importancia de cuidarlo. El Plan actual contribuirá especialmente a la labor de sensibilización de residentes y visitantes de las Islas acerca de esta reserva astronómica, acercándoles la ciencia realizada en ambos Observatorios a la vez que se destaca la importancia de preservar las condiciones excepcionales de este patrimonio natural.

Durante 2020 se organizó la conferencia “online” Dark & Quiet Skies for Science and Society ([https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/schedule/2020/2020\\_dark\\_skies.html](https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/schedule/2020/2020_dark_skies.html)).

El progreso tecnológico, y en concreto la iluminación artificial de las áreas urbanas, hace que sea cada vez más difícil observar un cielo nocturno nítido. La polución lumínica y la interferencia de señales de radio están poniendo en peligro emplazamientos que fueron elegidos en su día para albergar los observatorios astronómicos más sofisticados por lo favorable de su ubicación. En los últimos tiempos, la interferencia visual de las megaconstelaciones de satélites artificiales en órbita terrestre baja ha añadido otro impacto negativo considerable a la observación del cielo nocturno.

La Unión Astronómica Internacional (IAU), junto con la Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) y el Gobierno de España promovieron una conferencia titulada “Cielos oscuros y silenciosos para la ciencia y la sociedad”, que tenía previsto organizar el Instituto (IAC) en octubre de 2020, finalmente, la pandemia obligó a celebrar el evento en línea.

El éxito de este taller en línea superó con creces las expectativas, con más de 950 participantes registrados de todo el mundo y entre 250 y 380 asistentes en cada uno de los cinco días del evento.

La redacción del informe estuvo a cargo de cinco grupos de trabajo formados por expertos de renombre internacional en diferentes campos y se puso de antemano a disposición de los participantes del taller. Los grupos de trabajo revisaron el texto incorporando el gran número de comentarios y sugerencias

que los participantes remitieron por escrito. El documento final constituye el informe más completo y actualizado hasta la fecha sobre la protección de los cielos oscuros y silenciosos. El Comité Ejecutivo de la IAU aprobó el resumen ejecutivo del documento (llamado documento de sesión o CRP, por sus siglas en inglés, en la jerga de la COPUOS) el 5 de enero de 2021. El CRP tiene como objetivo informar y concienciar sobre el creciente riesgo de una grave degradación de las observaciones astronómicas a los representantes de alto nivel de las 95 naciones de la ONU que pertenecen a la COPUOS.

El CRP incluye medidas de mitigación y recomendaciones específicas para contener y reducir el impacto negativo de todos los desarrollos tecnológicos mencionados. El documento, firmado por Chile, Etiopía, Jordania, Eslovaquia, España y la Unión Astronómica Internacional se presentó al Subcomité Científico y Técnico (STSC, por sus siglas en inglés) de la COPUOS en abril de 2021. Muchas delegaciones del STSC apoyaron sin reservas las recomendaciones y el comité aprobó la siguiente conclusión:

“El Subcomité alentó a la Oficina para Asuntos del Espacio Exterior a dialogar con todas las partes interesadas pertinentes, como la IAU y otras, sobre el tema de los cielos oscuros y silenciosos, ya que guarda relación con el mandato del Comité y sus subcomités, y a presentar el debate, incluidas las acciones y resultados que permitan proseguir el análisis de este tema, para que el Subcomité lo examine durante su 59.<sup>a</sup> sesión, en 2022. A este respecto, la conferencia sobre cielos oscuros y silenciosos para la ciencia y la sociedad que organizará la UNOOSA junto con el gobierno de España y la IAU, prevista para octubre de 2021, podría proporcionar aportaciones para un debate sobre oportunidades de cooperación internacional”.

A pesar del evento del Volcán de La Palma, la reunión se celebró en octubre de 2021 en modo virtual para debatir y acordar estrategias de puesta en práctica de las recomendaciones. La IAU y la COPUOS expresaron su gratitud al Gobierno español y al Instituto de Astrofísica de Canarias por prestarse a albergar y organizar la conferencia.

La IAU y la UNOOSA junto a los gobiernos, el de España en particular, tratarán ahora cómo proceder, incluida la posibilidad de más intervenciones, en las próximas reuniones del Subcomité Jurídico y de la COPUOS en 2022.

Los OCAN han vuelto a optar a financiación dentro de las ICTS. El Plan Estratégico 2021-2024 ha sido aprobado por la Subdirección General de ICTS. El Plan cuenta con un total de 27 acciones estratégicas, estando 12 de ellas focalizadas en viabilizar ciencia de alto impacto facilitando y apoyando el desarrollo de telescopios internacionales de vanguardia: incluyendo, entre otros, al Cherenkov Telescope Array Northern Observatory (CTA-N), el conjunto ASTRI, el European Solar Telescope (EST), el New 4 m Robotic Telescope (NRT), el prototipo de nueva tecnología telescopio híbrido Exo-life finder (ELF), así como estudios de diseño de un nuevo telescopio robótico Infrarrojo Óptico de 4 m, un telescopio para la detección de materia oscura (DALI) y el Proyecto European Low Frequency Survey Telescope. Para viabilizar su ejecución se ha presentado una primera solicitud de financiación por importe de 10 Meuros a la Subdirección General de ICTS.



## OBSERVATORIO DEL TEIDE (OT)

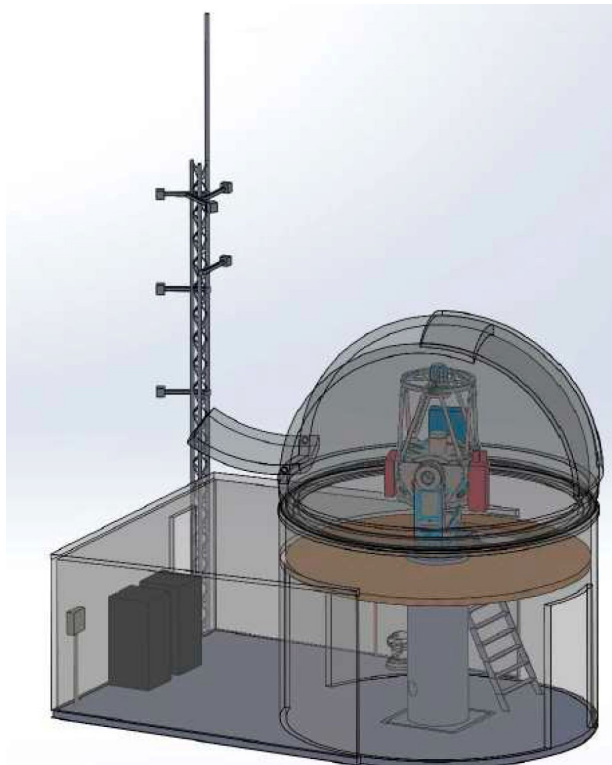
### VISITAS Y JORNADAS DE PUERTAS ABIERTAS

Debido a la pandemia producida por el COVID-19, el Observatorio del Teide no ha recibido visitantes durante la mayor parte del año 2021. El 1 de diciembre de 2021 se reanudaron de nuevo las visitas particulares -gestionadas por la empresa Volcano Teide siguiendo todos los protocolos de seguridad dictados por el Gobierno de Canarias.

Las Puertas Abiertas también fueron anuladas.

### TELESCOPIO ELRS (European Laser Ranging Station)

Durante los meses de mayo y junio se instaló en el Observatorio del Teide la Estación del Ranging Láser de la ESA. Esta estación funciona proyectando láseres a diferentes longitudes de onda, entre 532 y 1610 nm, tanto de día como de noche. Para evitar que estos láseres interfieran con los campos de visión de los otros telescopios del OT, el IAC está instalando el software Laser Traffic Control System (LTCS). Este software funciona de forma rutinaria desde hace años en otros observatorios como Mauna Kea, Haleakala, Cerro Pachón, Cerro Paranal y Roque de los Muchachos. La tarea está siendo coordinada en el IAC por J. Castro (Sky Quality) y A. Prieto (Software).



Infografía de la ELRS (European Laser Ranging Station) en el Observatorio del Teide.

### OBRA CIVIL TELESCOPIOS ASTRI

El Proyecto ASTRI tiene como principal objetivo la instalación de un mini-array de un mínimo de 9 (y hasta 12) telescopios de doble espejo de "tamaño pequeño" de 4 m de diámetro para estudiar el Universo en rayos gamma utilizando las técnicas Cherenkov Atmosféricas.

Durante los meses de verano de 2020 se iniciaron las prospecciones geológicas de los lugares propuestos para la colocación de los distintos telescopios. Las obras empezaron en diciembre del mismo año y el proyecto de construcción, con los correspondientes permisos, estuvo listo a mediados del año 2021.

### OBRA CIVIL Espectrógrafo de Microondas TMS

A mediados del año 2021 comenzó la obra civil de la instalación TMS equipado con un espectrógrafo de microondas que se instalará dentro de uno de los edificios del antiguo VSA, cerca de QUIJOTE.



Localización del Espectrógrafo de Microondas TMS en el Observatorio del Teide.

### ACTUACIONES DE ACONDICIONAMIENTO Y MEJORA DE LAS INSTALACIONES EXISTENTES

A lo largo de 2021 se han realizado varias actuaciones de acondicionamiento y mejora de las instalaciones existentes del Observatorio del Teide, en las que se incluyen las reformas:

- De la cocina de la Residencia
- De las habitaciones de la planta alta de la Residencia
- Del Telescopio MONS
- De la Casa Solar
- Reforma y ampliación del Centro de Transformación CT-02

También se han realizado otras actuaciones menores, relacionadas con el ornato, referidas a la reparación y pintado de telescopios, muros y embellecimiento de la entrada de visitantes, mejorando con ello el paisaje del Observatorio.

Además de estas intervenciones, se continuaron con los trabajos de modernización de las infraestructuras de servicios del Observatorio, destacando las realizadas en las instalaciones eléctricas de baja tensión y contra incendios.

Todas las actuaciones llevadas a cabo, se han fundamentado en los siguientes tres principios, según importancia:

- 1.- Aumentar la seguridad
- 2.- Disminuir el impacto ambiental
- 3.- Mejorar el confort y la estancia

### **ACTUACIONES MEDIOAMBIENTALES Y DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA**

Cumpliendo con la estrategia del IAC para reducir la huella de carbono que genera su actividad, el Observatorio del Teide ha iniciado un proceso de reforma de la Sala de Calderas, con la implantación de un nuevo sistema de control de la climatización de la Residencia, al objeto de optimizar energéticamente esta instalación.

Por otro lado, en todas las actuaciones de mejoras de las instalaciones eléctricas se ha tenido en cuenta la futura instalación de paneles fotovoltaicos, al objeto de obtener cierta independencia energética.

Por último, al igual que años anteriores, se ha realizado una campaña de reforestación con vegetación autóctona del lugar, que ha permitido: por un lado, compensar dicha huella de carbono, así como la mejora del paisaje del Observatorio; y por otro, reducir las turbulencias que genera el terreno y con ello una mejora de las observaciones.

## OPERACIÓN DE LAS INSTALACIONES TELESCÓPICAS DEL IAC

El objetivo de la Unidad es la correcta gestión de aquellas instalaciones pertenecientes al IAC en los Observatorios de Canarias, así como de la instrumentación propia del centro y de la parte del tiempo de observación que se disfruta en otros telescopios.

Existen tres tipos de instalaciones: Instrumentos, Telescopios y Experimentos (ITE). En el primer grupo entrarían aquellos desarrollados por el IAC que están en operación en la actualidad, tales como AOLI, GHaFaS o LIRIS en el Telescopio WHT; FastCam en Telescopio NOT; TIP o TIP-II en el Telescopio VTT y GREGOR; FastCam o MuSCAT-2 en el Telescopio TCS; CAMELOT-2 en el Telescopio IAC-80; etc. Los telescopios incluyen aquellos pertenecientes al IAC: TCS, IAC-80 o MONS, el tiempo reservado para España en la OGS o telescopios de la Red SARA -JKT, KP y CT- y las noches de servicio CAT en instalaciones extranjeras (TNG, INT y NOT). Asimismo, se realizan tareas de revisión o pequeñas actuaciones en otros telescopios, como SPECULOOS. Con respecto a los experimentos, hay tres grupos: el complejo CMB, el Laboratorio Solar y los pequeños telescopios y experimentos (DIMMA, SQM, TAT, etc.).

Teniendo en cuenta esta variedad de instalaciones, los principales objetivos que se buscan son tres:

- Lograr que las instalaciones funcionen de forma correcta durante los períodos disponibles para la comunidad astrofísica internacional.
- Adaptación continua de las instalaciones a las nuevas tecnologías y realización de mejoras que proporcionen a los astrónomos un entorno de trabajo más amigable.
- Maximizar el beneficio obtenido por los astrónomos usuarios de las ITE.

### Hitos

Se ha dedicado un gran esfuerzo a reparar la cúpula del TCS, que daba problemas, así como a evitar fallos de viñeteo de la misma, contándose con la colaboración de Talleres, Mantenimiento Instrumental, Departamento de Software y el personal del Proyecto. Tras varias reparaciones, cambios y pruebas, la cúpula ha mejorado enormemente sus prestaciones. También se han efectuado pruebas en el telescopio con FastCam, ALIOLI, desplazamiento del espejo secundario, guiado con y sin baffle del secundario y el buscador. En el IAC-80 se

ha instalado un aplanador de campo que ha mejorado la calidad de la imagen a lo largo de la CCD y se realizaron pruebas con una sCMOS Marana que puede servir como instrumento de backup en caso de fallo de CAMELOT2.

Además de las observaciones normales, ejecutadas en gran parte por el personal del Proyecto, se han hecho 49 noches de servicio y pruebas con el IAC-80 y 28 con el TCS. No ha habido ninguna noche sin observación, salvo causas técnicas o meteorológicas. Entre todas las observaciones, destacan unas especialmente demandantes de Europlanet que consiguieron una precisión de 0.006 magnitudes con el IAC-80, la mejor obtenida hasta la fecha con este telescopio, observaciones remotas para la Junta Directiva de la Universidad de Standford con el IAC-80 o las ya habituales para diversas universidades de todo el mundo. Destacar que en 2021 se han generado 23 publicaciones en revistas con árbitro con datos generados en el TCS y 9 con los datos del IAC-80.

El personal ha generado procedimientos para mejorar las prestaciones de los telescopios: método para medir la distorsión de la imagen a lo largo de la superficie de la CCD o un programa que saca las curvas de luz de CAMELOT2 en tiempo real, entre otros. Todo ello aparte de los proyectos para el cambio del software de control de los telescopios TCS e IAC-80 y la nueva interfaz de CAMELOT2, que siguen sus desarrollos de manera satisfactoria. En ambos proyectos se ha incorporado personal de apoyo. Por último, se han llevado a cabo actuaciones para que el IAC-80 vuelva a proporcionar datos para el Observatorio Virtual.

En cuanto a las instalaciones en sí, se ha trabajado para mejorar los problemas eléctricos del IAC-80, se han dejado los del TCS para 2022, y se han llevado a cabo diversas actuaciones para reformar y reorganizar las instalaciones.

Los instrumentos y experimentos del Laboratorio Solar (Mark-I/ BiSON, GONG, SONG y Solar-SONG) en el área SolarLab del OT (Pirámide van der Raay y Cielo Nocturno) han funcionado durante todo el año, con observaciones continuas y diarias. Se han llevado a cabo diversos trabajos y reparaciones en todos ellos, desde cuestiones sencillas hasta conseguir salvar numerosos días y noches de observación gracias al trabajo del personal del Proyecto, repa-

rando o mejorando instrumentos, telescopios, instalaciones, etc.

Se han llevado a cabo noches de servicio CAT en los telescopios: 5 en el NOT, 1 en el INT y otras 5 en TNG.

El personal ha realizado más de 50 actuaciones en instalaciones que no son del IAC, sobre todo del OT, aparte de las ya referidas. MASTER, LCOGT, SLOOH u Open University han sido algunos de los telescopios en los que se han hecho acciones correctivas. En Artemis, además de las revisiones diarias y quincenales y de entrenamientos del personal, se han solucionado diversos problemas. En Ground-BIRD y QUIJOTE se ha comenzado con la monitorización por parte de los TOTs. En cuanto al Laser Ranger Station en el OT, se han realizado pruebas y observaciones desde el Telescopio IAC-80 para ver su funcionalidad y se ha llegado a un acuerdo con la ESA para que los TOTs estén pendientes de esta instalación. Por último, se ha llegado a un acuerdo con Gregor para que los TOTs pongan LN2 en determinadas ocasiones en sus instrumentos.

Se han realizado numerosas mejoras en la web a cargo del Proyecto: instalaciones telescópicas, tanto interna como externa, datos meteorológicos y CAT interno del IAC. Además, se han creado páginas, como la nueva de CAMELOT2. En cuanto al CAT, se han realizado mejoras en el formulario de solicitud de tiempo de servicio, se ha conseguido que las propuestas de servicio CAT en el NOT entren en el sistema de colas, optimizándose el resultado, y se han organizado los ToO en dicho telescopio, aparte de otras mejoras en la organización del CAT en el ORM.

En lo que respecta a procedimientos y manuales, se han creado los siguientes: protocolo de noches de servicio, con nueva web, tabla de entrenamiento del nuevo personal, conexión remota al IAC-80, manuales de usuario de los telescopios TCS e IAC-80 y se ha hecho el primer vídeo-tutorial, en este caso de MuSCAT2. Asimismo, se ha revisado el procedimiento de emergencias del OT, el de mantenimiento de QUIJOTE y el del Proyecto MUSOL.

Formación y PRL además de la formación habitual, ha habido diversos cursos impartidos por Mantenimiento Instrumental, tanto generales como de procedimientos como el uso de las bombas de presión, y jornadas de entrenamiento para el personal con instrumentos y telescopios, como MuSCAT2.

En cuanto a PRL, se han realizado actuaciones correctivas a raíz de diversas visitas y auditorías de seguridad. También se han renovado

las licencias de los dispositivos de hombre muerto, que han sido implementados incluso por otras instituciones usuarias.

Se trabaja en el estudio sobre el impacto de las megaconstelaciones de pequeños satélites sobre las observaciones astronómicas, colaborándose con grupos y comités. Se ha conseguido un becario de verano para paralelizar los programas de detección de trazas de satélites.

# CARACTERIZACIÓN DE LOS OBSERVATORIOS DE CANARIAS

La caracterización de los Observatorios de Canarias es tarea del Equipo de Calidad del Cielo (Site Quality Team - SQT) del IAC, formado por J.A. Castro Almazán, S. Hidalgo Rodríguez y A.M. Varela Pérez (en tiempo compartido con la Fundación Starlight) y dirigido por C. Muñoz-Tuñón. El SQT tiene el objetivo de implementar técnicas, obtener medidas, y analizar y publicar resultados que cuantifiquen de manera objetiva la calidad de los Observatorios de Canarias para la Astronomía y optimicen su operatividad. También es el interlocutor del IAC con otras instituciones internacionales y observatorios en este campo.

## Automatización de los monitores de seeing DIMMA

Tras la actualización de las cámaras de adquisición de datos llevada a cabo en 2020 y como resultado de las pruebas en DIMMA-OT, se han llevado a cabo las siguientes acciones conducentes a su definitiva puesta en funcionamiento en modo automático:

- Desmontaje, limpieza y realineado del telescopio en laboratorio y nueva puesta en estación.
- Nuevo modelo de apuntado.
- Corrección de fallos del software de automatizado detectados tras las pruebas.
- Inicio de las pruebas de funcionamiento desasistido en modo 100% automático.

En paralelo, se comenzaron las acciones equivalentes en DIMMA-ORM:

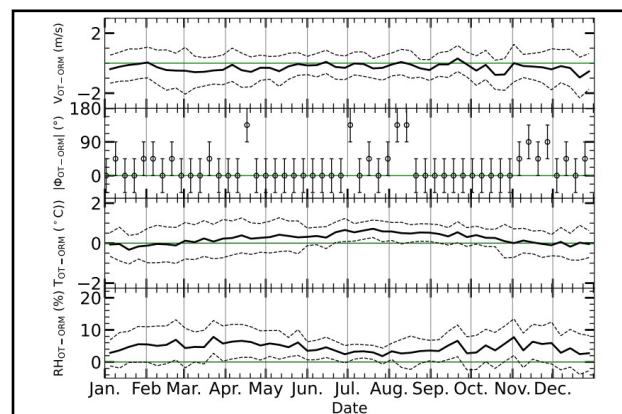
- Clonación del software del DIMMA-OT.
- Se detectan fallos de incompatibilidad de los drivers de las nuevas cámaras con la arquitectura de 32 bits del sistema Windows instalado en el ORM. Se actualiza a 64 bits, lo que implica la actualización, a su vez, de las librerías de control de los demás componentes.
- Desmontaje, limpieza y realineado del telescopio en laboratorio y nueva puesta en estación.
- Nuevo modelo de apuntado.

El proyecto de automatización fue realizado por la empresa Shidix Technologies S.L. Se ha contado con soporte puntual de Mantenimiento Civil de ambos Observatorios, de los Servicios Informáticos del IAC y de Mantenimiento Instrumental.

## Caracterización para el futuro Telescopio Solar Europeo (EST)

El SQT lleva dando soporte al Proyecto EST desde 2019, tanto durante su fase de selección de sitio como en la posterior de diseño. Para los trabajos de selección de sitio, se continuó dando soporte y se redactaron varios informes basados en análisis comparados de valores meteorológicos de reanálisis climático validado con estaciones y radiosondeos locales. Se publicó un artículo sobre los resultados científicos de este estudio: "Canarian Observatories meteorology; comparison of OT and ORM using regional climate reanalysis" (Hidalgo et al., PASP, 2021, 133:105002).

En este trabajo se usa una serie temporal de 17 años de temperatura, humedad relativa y viento obtenidos de UERRA, un proyecto europeo de reanálisis climático con un dominio que abarca completamente el área entre Tenerife y La Palma, con 24 niveles verticales y con una resolución horizontal de 11x11 km. Teniendo en cuenta los límites establecidos para el Telescopio EST respecto a los parámetros estudiados, los resultados obtenidos con UERRA arrojan un tiempo operacional >98%.



Comparativa entre ORM y OT de valores de velocidad de viento (V), dirección ( $\phi$ ), temperatura (T) y humedad relativa (RH) obtenidos con UERRA.

Dando continuidad a otros análisis llevados a cabo desde 2020 para apoyar en las tareas de diseño, en 2021 se han analizado datos diarios de radio de coherencia ( $r_0$  o parámetro de Fried, también usado como el parámetro derivado de éste, el seeing) obtenidos con el Telescopio Solar Sueco (SST) y datos locales de viento de las estaciones inmediatamente próximas a la ubicación definitiva en el ORM, imprescindibles para los estudios de simulación numérica y en túnel de viento, llevados a



cabo por la oficina de proyecto de EST. Con estos estudios se han extrapolado datos de  $r_0$  a la altura prevista para EST y se han establecido correlaciones entre  $r_0$  y dirección de viento, se han detectado componentes orográficas locales y se han podido descartar otras, identificadas como efectos instrumentales.

Adicionalmente, se han hecho estimaciones de la emisividad térmica del suelo en el ORM basadas en datos propios de la temperatura de subsuelo obtenidos años atrás en la estación de Las Moradas (a unos 1.500 m del sitio de EST). Aunque los datos eran insuficientes para la aplicación de ninguno de los modelos publicados de emisividad de suelo, sí se pudieron establecer umbrales límite.

Finalmente, se han vuelto a revisar los resultados sobre composición del polvo en suspensión.

### **Polvo en suspensión**

Además de para EST, se han proporcionado datos y/o resúmenes del comportamiento y composición de este parámetro para distintas instituciones que incluyen GTC o TMT. Ha habido particular interés en la composición mineralógica, con énfasis en la proporción de Fe libre (en forma de hematita), susceptible de adherirse a superficies magnetizadas. La concentración de este mineral es de solo el 1%. y no varía con el tamaño de la partícula ni muestra dependencia estacional.

Para la especificación de los filtros para la sala limpia del futuro láser de GTC/O, se estudió la distribución por tamaños del polvo, basado en la literatura publicada para Izaña, incluyendo consultas con uno de los autores. Los resultados se consideran también válidos para el ORM. La distribución de aerosoles en los observatorios presenta dos picos. El principal corresponde a la calima natural, está centrado en torno a 2  $\mu\text{m}$  y puede ser filtrado con un filtro de 0.5 micras. Un pico secundario, más esporádico, existe alrededor de 0.2  $\mu\text{m}$ , originado por la llegada de contaminantes. Este segundo pico requeriría de un filtro de 0.1 micras para su filtrado.

También se han compartido con ESO los distintos niveles de concentración o criterios de cierre empleados por los telescopios, tanto en el OT como en el ORM, respecto a la presencia de polvo.

### **Vapor de agua precipitable (PWV)**

El PWV es un parámetro que continúa teniendo alta demanda. Tanto los monitores, basados en la técnica GNSS, como el sistema de

predicción ForO (Forecasting the Observatories), se han mantenido operativos, dando soporte a varios proyectos. Adicionalmente, en 2021 se han proporcionado datos de forma específica a la Universidad de Lund, para la corrección de observaciones solares con la SST y a distintos instrumentos o experimentos instalados en los telescopios de fondo cósmico de microondas QUIJOTE. Fruto de una de estas colaboraciones, con el instrumento KISS, se ha participado, como autores, en la publicación: Accurate sky signal reconstruction for ground-based spectroscopy with kinetic inductance detectors (Fasano et al., 2021, A&A, Vol.656, id.A116).

### **Colaboración con TMT**

La colaboración con TMT se mantiene activa. En 2021 se revisó el documento "TMT Mid Infrared Sensitivity Analysis", a petición de la oficina del proyecto. En ese informe se proporcionaba información complementaria al informe de caracterización de sitios redactado en 2020, centrado en ese rango espectral, tanto para Mauna Kea como para el ORM. Se tuvieron en cuenta, además de los niveles de vapor de agua, otros parámetros como fondo de cielo, emisividad del telescopio o fracción de tiempo útil. Los resultados se incluían para distintas distancias cenitales y 3 longitudes de onda, centradas en 3.5, 11.1 y 20.0  $\mu\text{m}$ . Las conclusiones demostraron las muy buenas condiciones del ORM para la observación en esos rangos y la viabilidad de los programas previstos.

### **Control de tráfico de láseres en el OT**

Tras haber contactado a D. Summers, ingeniero óptico de la Universidad de Arizona (EEUU), ex-responsable de varios de los sistemas de Óptica Adaptativa de los telescopios Keck, en 2021 se le contrató para la instalación de su sistema LTCS (Laser Traffic Control System), ampliamente probado en los principales observatorios del Mundo. Para dar soporte técnico, se contrató un ingeniero de software junior (A. Prieto).

La demanda de un sistema de control de tráfico de láseres en el OT venía motivada, principalmente, por la instalación de la nueva estación ELRS (ESA Laser Ranging Station). Este sistema de sensado de distancias a satélites en distintas órbitas emplea dos láseres en 532 y 1064 nm. Implantar el sistema LTCS en el OT tenía el reto de conseguir adaptar su funcionamiento, pensado para láseres en seguimiento sidéreo, a las trayectorias no sidéreas de los láseres de la ELRS. Para conseguirlo, se adaptó la configuración del LTCS y se diseñó

## Status & Alarms Summary

Last Updated: 2 May 2022 12:54:14

Observatories				Lasers				
	URL State	OVR State	Laser Sensitive		Laser State	Shutter Event (site,duration)	Predictions (number, site list)	
COAST	STALE	NO	NO	ELRS	On	None	None	
EARTHSHINE	STALE	NO	NO	OGS	Off	None	None	
ELRS	OK	NO	YES	TEST	Off	None	None	
IAC80	STALE	NO	NO	<b>Collisions</b>				
OGS	STALE	NO	NO	Laser	Scope	Started	Ends	Priority
PIRATE	STALE	NO	NO	<b>Laser "ON" Preview (Predictions &amp; Collisions)</b>				
SONG	STALE	NO	NO	Laser	Scope	Starts	Ends	Priority
SPECULOOS	STALE	NO	NO					
STELLA-I	OK	NO	NO					
STELLA-II	STALE	NO	NO					
TCS	STALE	NO	NO					
TEST	STALE	NO	NO					

Note: Collision times and durations are valid for lasers and telescopes in sidereal motion

Heartbeat Status :

Collector

GA\_Engine

Status\_Mgr

[LTCS Main Page](#)  
[Status & Alarms Summary](#)  
[Configuration](#)  
[Query Tool](#)  
[Telescope Status](#)  
[User Manual](#)

Original version from: CARA, W.M. Keck Observatory.

### Interfaz de alarmas del sistema LTCS configurado para el OT.

un esquema de funcionamiento basado en la actualización de los cálculos cada segundo. El sistema quedó instalado a finales de 2021 en una máquina virtual configurada dentro de los servidores del IAC. LTCS se configuró, a su vez, para el comando remoto de los láseres. Se llevaron a cabo tests de impacto del láser visible y cálculo de señal a ruido en la cámara del IAC80. Además, se efectuaron pruebas de aceptación con un simulador de trayectorias de telescopios programado específicamente.

### Colaboración con IAU en el marco "Dark and Quiet Skies for Science and Society"

Se ha participado activamente en el steering committee en los Working Groups creados bajo el marco del Workshop Dark and Quiet Skies for Science and Society II, celebrado del 3-9 octubre de 2021. El Workshop, que ya había sido precedido por otro análogo en 2020, fue organizado conjuntamente por el IAC (coordinado desde el SQT) y la IAU, bajo petición de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) y el Gobierno de España. Se elaboraron las recomendaciones oficiales de UNOOSA para la minimización del impacto de las actividades

humanas en la visibilidad del cielo estrellado y en el progreso de la Astronomía.

En este mismo contexto, un miembro del grupo (A. Varela) ha sido elegida como parte del Commission Organizing Committee for IAU C.B7 y miembro del Executive Committee WG Professional-Amateur Relations in Astronomy de la IAU.

### Soporte a los observatorios durante la erupción de Cumbre Vieja

Entre el 19 de septiembre y el 13 de diciembre de 2021 ocurrió una erupción volcánica en la dorsal de Cumbre Vieja, isla de La Palma a tan solo 16 km del Observatorio del ORM, con una diferencia de cota de apenas 1400 m. Las peculiaridades de los productos emitidos y la dinámica propia del volcán, exigieron un esfuerzo extra para adaptar datos existentes, aumentar sensores y predicciones o emitir informes de evaluación. Junto con la Administración del ORM, el SQT se encargó de dar el soporte necesario a las instituciones usuarias. Para ello, se formó parte del Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de fenómenos volcánicos (CCES) del Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por



Erupción de 2021 fotografiada desde el ORM (J. Castro).

Riesgo Volcánico en Canarias (PEVOLCA). Con toda la información disponible, incluyendo datos y pronósticos de modelos obtenidos en colaboración, se emitieron informes cada 12 horas, personalizados para cada observatorio, durante todo el periodo eruptivo. Los informes se distribuyeron en una web creada expresamente, junto con otros contenidos e imágenes en tiempo real.

### Monitores de Extinción Nocturna (Proyecto COXMo)

En 2021 comienza formalmente el proyecto COXMo (Canarian Observatories eXtinction Monitors). Se contrató a un ingeniero para el desarrollo del software. Se diseñó el proyecto y redactó el acta de constitución, cronograma y listado de stakeholders. Se completó el diseño conceptual y presentó el proyecto a los implicados. El proyecto está en pleno desarrollo en 2022, con la aceptación de los primeros entregables. La fecha de entrega está prevista para 2023.

### Comisiones y comités

El SQT o bien algunos de sus miembros forma parte, o es responsable, de varios comités. En 2021 se ha reunido el Subcomité de Propiedades de los Observatorios (SUCOSIP) y el Comité Científico Internacional (CCI). El grupo de láseres de SUCOSIP, mantuvo pospuestas sus reuniones. La actualización del acuerdo IAC-AEMet se negoció este año. También se reunió la Comisión del Clima y Calidad del Aire del Observatorio de Cambio Climático del Gobierno de Canarias.

VOLCANIC PLUME FROM CUMBRE VIEJA ERUPTION RISK OF IMPACT AT ROQUE DE LOS MUCHACHOS OBSERVATORY			
DAILY REPORT 12 DEC - 18H UTC			
UTC hours			
MEASUREMENTS	DEC 10	AOD (AERONET)	Low AOD (0.025 V)
		SO <sub>2</sub> (Gov. de Canarias)	Background SO <sub>2</sub>
		DUST (TNG, GTC & Mercator)	Moderate peaks of dust (~70 µg/m <sup>3</sup> ) and PM <sub>0.3</sub> (~0.6M/m <sup>3</sup> ) at 03H and 06H. PM <sub>0.3</sub> also peaked (>1M/m <sup>3</sup> ) at ~12h-14h. Probably natural <i>calima</i> .
MEASUREMENTS	DEC 11	AOD (AERONET)	Low AOD (0.024 V)
		SO <sub>2</sub> (Gov. de Canarias)	Background SO <sub>2</sub>
		DUST (TNG & GTC)	Background dust. Peak of PM <sub>0.3</sub> (>2M/m <sup>3</sup> ) at ~15H-16H
MEASUREMENTS	DEC 12	00H-18H SO <sub>2</sub> , AOD DUST	Extremely low dust <1 µg/m <sup>3</sup> and small peak of PM <sub>0.3</sub> (<1M/m <sup>3</sup> ) at ~15H. The eruptive process has currently less energy. The top altitude of the column is <2.4km. This means that it is less probable that ash reaches the Observatory, even if wind comes from the south. Dust intrusion in low layers is still forecasted up to DEC14. Very bad weather forecasted this week (since Tuesday) Background SO <sub>2</sub>
	FORECAST	DEC 12	06H-12H
		12H-18H	-
		18H-24H	0
DEC 13		00H-06H	2
		06H-12H	2
		12H-18H	1
	18H-24H	1	
DEC 14	00H-06H	2	
	06H-12H	0	

**Legend:**

- No data
- 0 Low risk
- 1 Minor risk of ash fall or SO<sub>2</sub> peak
- 2 Medium risk of ash fall or SO<sub>2</sub> peak
- 3 High risk of ash fall or SO<sub>2</sub> peak - outdoor work not recommended
- \* Very high concentration of pollutants associated to the plume.

- Please pay ATTENTION to PM<sub>0.3</sub> µm peaks on TNG monitor (mainly around ~12H), SO<sub>2</sub> flavour and report updates. SO<sub>2</sub> is correlated with PM<sub>0.3</sub> due to nucleation processes and may come from the Caldera due to dynamics uncorrelated with the main wind.
- Alerts in the periods 12h-18h are for the SO<sub>2</sub> risk.

**NOTES:**  
<http://research.iac.es/volcano2021/media/notes>

Ejemplo de informe de resumen y pronóstico emitido cada 12 horas para cada observatorio.

### Divulgación, cursos, direcciones y arbitrajes

Se ha mantenido actividad divulgadora en distintos aspectos que incluyen charlas sobre la calidad de los cielos de Canarias o relacionadas con los fines de la fundación Starlight, una actividad con alumnos de Infantil en el CEIP Ginés de los Ríos (Las Palmas), respuestas a medios, etc.

Se ha participado en el Proyecto ADA del Instituto de las Mujeres, Ministerio de Igualdad, para la promoción del interés de las niñas en las ramas científicas y tecnológicas y en el Ciclo Mujer y Ciencia 2021, impartiendo una decena de charlas en primaria, secundaria y bachillerato.

Se codirigió un TFM en la Universidad Internacional de Valencia.

Se efectuó el arbitraje de un proyecto internacional (Chile) y un proyecto del MINECO dentro del Programa Estatal Proyectos de I+D+i Retos Investigación.



### **Otras colaboraciones, participaciones y soportes**

#### *Colaboración con INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri*

Fruto de la cesión de la base de datos completa de medidas de g-SCIDAR del IAC al INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri, se ha establecido una pequeña colaboración para la corrección de pequeños errores y mejora de los archivos de datos.

#### *Otras cesiones de datos*

Se han cedido puntualmente otros datos, entre los que destacamos datos meteorológicos del OT al proyecto mini-ELF y LSPE-STRIP y datos de fondo de cielo a ASTRI y para la renovación de la Certificación Starlight en Tenerife.

#### *Colaboración con la misión GAIA*

En base a la experiencia como analizadores de datos, somos miembros de la unidad de desarrollo DUT1 englobada en la unidad de coordinación CU5 del DPAC (Data Processing and Analysis Consortium) que se dedica al tratamiento inicial de datos de los espectros obtenidos por la misión espacial Gaia de la ESA.

#### *Exploración de nuevos equipos*

Se exploró la viabilidad del empleo de de perfiladores Doppler de viento en capa ligada, en colaboración con la empresa Leosphere. También se ha explorado la posibilidad de incorporar otra instrumentación, como radiómetros para PWV, o celiómetros para cobertura de nubes.

#### *ESO Astro Weather Group*

Formamos parte del grupo de trabajo de Astro-Weather de ESO, como parte de la participación del IAC en el instrumento HARMONI para EELT. En este grupo se definen los parámetros y técnicas de site-testing necesarias para la óptima operación de los futuros telescopios de clase >30m, como será el caso del EELT.

#### *Centro de Visitantes del ORM*

Hemos revisado los contenidos de los módulos divulgativos del Centro de Visitantes del ORM. Se elaboró documento con propuestas de correcciones y/o mejoras, con especial énfasis en los módulos dedicados a la calidad astronómica del observatorio.

#### *Estudios Universitarios para Mayores y Adultos de la Universidad de La Laguna ULL*

Se sigue impartiendo el Curso de Astronomía dentro del programa de Estudios Universitarios para Mayores y Adultos de la ULL.

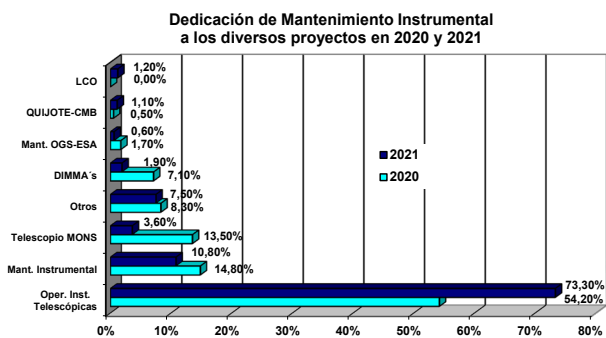
#### *Consultorías técnicas para redacciones legislativas*

Participación en recomendaciones y revisiones para el Anteproyecto de Ley de Biodiversidad y de los recursos naturales de Canarias, artículos 123-129, para la creación de una Ley del Cielo para Canarias y para el Decreto de eficiencia energética y reducción de contaminación lumínica.

# MANTENIMIENTO INSTRUMENTAL

El año 2021 está marcado por dos hitos importantes, el primero fue el cambio total del sistema de control de la cúpula del Telescopio TCS, además de una serie de actividades que supusieron una gran mejora en el funcionamiento de esta instalación. No tan vistosos, pero sí muy importante fueron los dos cursos de formación a los operadores de telescopio que los técnicos de Mantenimiento Instrumental dieron a lo largo del año.

Durante el año 2021 la distribución de los trabajos por los diversos proyectos se ve en el Gráfico.



## Operación de las Instalaciones Telescópicas del IAC

Como siempre el Proyecto Operación de las Instalaciones Telescópicas del IAC, fue el más importante. A este proyecto se cargan las horas correspondientes a los trabajos en los telescopios TCS e IAC-80, el mantenimiento del instrumento LIRIS que se detallarán a continuación.

### IAC-80

Además de los trabajos de mantenimiento preventivo como hitos importantes dos actividades relacionadas con la cúpula. La primera fue la revisión de las goteras que hay en la misma. Después de un cambio de las gomas de sellado realizado en 2020 y algunas otras mejoras en la cúpula disminuyeron considerablemente las filtraciones de agua, pero aún persisten algunas en la zona de la ventana. Se contrató una empresa para localizarlas y sellarlas. Hay muchas menos, pero alguna persiste y requerirá una nueva revisión. En otro apartado, se sigue mejorando la mecánica de la cúpula y se están realizando revisiones sistemáticas para evitar que el deterioro siga aumentando, pero es necesario realizar una gran reforma en la misma.

Para este telescopio se está preparando una gran reforma del sistema de control que incluye un cambio de la motorización en la cual Mantenimiento Instrumental participa aportando sugerencias y realizando algunos trabajos de apoyo a Ingeniería.

### TCS

Dados los problemas con el sistema de control de la cúpula detectados a lo largo de 2020 a inicios de 2021 se decidió su sustitución por otro completamente nuevo. Con una arquitectura similar al anterior está constituido por dos PLC's, uno, el llamado Maestro, recibe las instrucciones del PC de Control y además de controlar el posicionamiento azimutal de la cúpula envía órdenes y recibe información del otro PLC, llamado Esclavo, que está dedicado al control de la compuerta y la ventana. En la Fig. 1 vemos el nuevo controlador "Maestro" y en la Fig. 2 el nuevo controlador "Esclavo". El Maestro dispone de una pantalla táctil, Fig. 3, que permite activar localmente los diversos movimientos de la cúpula utilizando los PLC's.



Fig. 1 Nuevo controlador "Maestro".



Fig. 2 Nuevo controlador "Esclavo".

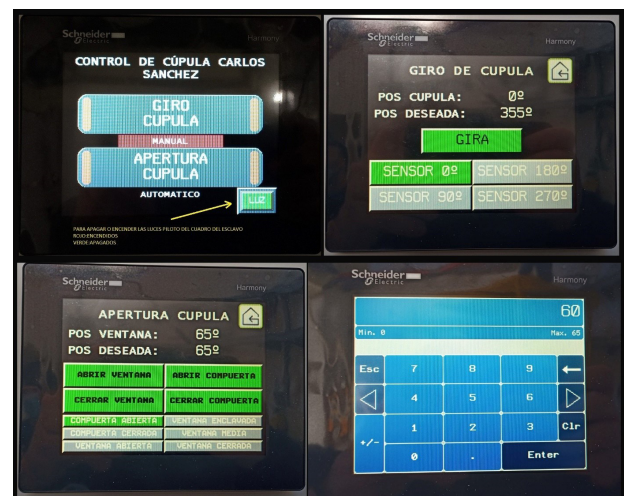


Fig. 3 Pantallas del control local de la cúpula del TCS.

El control se puso a funcionar en abril y con el uso se localizaron algunos fallos que fueron siendo reparados tanto por cambios en el software de los PLC's como del PC de Control. Aún hay mejoras a implementar, pero la fiabilidad del sistema es mucho mayor que anteriormente.

También en el apartado de la cúpula están localizados varios problemas mecánicos bastante serios y que requieren una gran actuación, prevista para mediados de 2022. En la actualidad estamos parcheando el sistema para que se pueda trabajar.

En otros aspectos se trabajó con normalidad.

### **LIRIS**

Este año por confitos en programación del Telescopio WHT y la disponibilidad de personal de Mantenimiento Instrumental, además de los problemas de comunicaciones generados por la erupción volcánica, se optó posponer el mantenimiento anual de LIRIS para 2022.

### **Mantenimiento Instrumental**

Este año no se produjeron mayores novedades con relación al Mantenimiento Instrumental. Se empezó el traslado del taller del OT de su vieja ubicación a una nueva sala algo mayor, la antigua cocina, en el edificio del Telescopio TCS, pero por falta de presupuesto no se finalizó de la forma adecuada. Se espera que en 2022 se pueda finalizar con el traslado.

### **MONS**

Una vez finalizado el diseño, fabricación y puesta a punto del nuevo sistema de control se realizaron en 2021 las siguientes actividades:

- Aluminizados los espejos del telescopio. Una vez aluminizados se alineó la óptica.
- Se llevaron a cabo algunas mejoras en la cúpula que se atasca en algunas posiciones, pero aún se necesita cambiar el sistema de tracción reparar los rodillos en que se apoya la parte móvil de la cúpula.
- Manuales de usuario y de mantenimiento.

Falta:

- Al ser la parte eléctrica una instalación de media tensión hay que obtener los debidos permisos para poder permitir su uso.
- Por solicitud de la UPRL instalar un sistema de rieles para dar alimentación al motor de abertura de la ventana
- Reemplazar los rodillos de apoyo de la cúpula y reparar el sistema de tracción.

### **QUIJOTE**

En QUIJOTE básicamente estuvimos realizando alguna reparación menor y apoyando a Ingeniería en diversas acciones.

### **Caracterización de los Observatorios de Canarias**

En el Proyecto se realizaron varias reparaciones en los DIMMA tanto del ORM con del OT y se realizaron los trabajos previstos de mantenimiento preventivo. La revisión prevista para el segundo semestre de 2021 en el DIMMA-ORM se pospuso para 2022 al coincidir con la erupción volcánica.

### **Las Cumbres Observatory (LCO)**

Este año empezaron los trabajos de mantenimiento acordados por el IAC con los propietarios de estos cuatro telescopios y que incluye la limpieza de los espejos y algunas tareas bajo pedido.

### **Otros proyectos**

En esta apartado lo único relevante fueron los aluminizados de los espejos de los telescopios GREGOR y SONG que se realizaron en el segundo semestre de 2021 sin mayores problemas.

## OFICINA TÉCNICA PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO (OTPC)

**Francisco J. Díaz Castro.**

**Federico de la Paz Gómez y Cristina Padilla Hernández.**

La OTPC ha continuado con las labores de emisión de informes técnicos e inspección a instalaciones de alumbrado. En el 2021 se han realizado 321 inspecciones y se han formulado 106 denuncias (9,28% más que en 2020) y se han resuelto 99 denuncias. La mayoría de inspecciones y denuncias son en instalaciones de alumbrado con nuevas tecnologías LED incumpliendo las especificaciones técnicas y sin los preceptivos informes técnicos del IAC así como de letreros luminosos encendidos después de las 24 h o por excesivo brillo. La colaboración de la Consejería de Industria, al amparo del Reglamento RD.1890/2008 continúa siendo nula por lo que cada vez resulta más difícil hacer cumplir la Ley. El número de informes técnicos se ha reducido solo un 5,68% (176). Se han realizado 177 registros de entrada y 522 de salida (por la Sede Electrónica gestionados por la OTPC, 169 entradas y 169 salidas. El número de correos electrónicos para consultas fue de 1.862 mensajes (1.261 en consultas a instalaciones y 406 de luminarias, 195 relacionadas con las denuncias). Se continúa certificando un importante número de luminarias y lámparas con un total de 48 certificaciones este año.

La inactividad desde 2013 en las funciones de la Consejería de Industria del Gobierno de Canarias, respecto a las infracciones en los alumbrados de exteriores, al amparo del Reglamento RD.1890/2008, está haciendo peligrar el buen mantenimiento de la calidad astronómica.

Continúa funcionando los ASTMON en el ORM tras varias reparaciones, pero no se ha conseguido reparar el del OT. Siguen dando fallos de forma aleatoria por problemas con Windows y conexiones por lo que se va obteniendo datos con dificultad a falta de disponer de personal dedicado a su actualización y mantenimiento.

No ha habido denuncias por invasión del espacio aéreo protegido en ambos Observatorios ni por sobrepasar los niveles de campo electromagnético. Durante la emergencia volcánica de La Palma se llegó a un acuerdo con ENAIRE para poder ocupar los espacios aéreos restringidos del IAC.

En junio de 2021 recibimos el premio internacional CICOP (Centro Internacional para la Conservación del Patrimonio) a la conservación y protección de la calidad astronómica del cielo de Canarias.

### Labores realizadas por la OTPC durante 2021

#### *Divulgación (charlas, ponencias y cursos impartidos)*

- Ponencia en XLVII Simposium Nacional de Alumbrado. La contaminación lumínica. Oportunidad de negocio y creación de empleo. Vigo, 29 de septiembre.
- Charla sobre El cielo como fuente de riqueza y La Contaminación lumínica, que es, como nos afecta y como reducirla. Casa de Los Coroneles. La Oliva. Fuerteventura. Gobierno de Canarias y Fundación Starlight. 9 de julio.
- Charla dentro del Curso de monitores Starlight Ávila denominada Cuidado de la materia prima del turismo astronómico: Protección del cielo, iluminación inteligente y legislación. Fundación Starlight. Ávila. 12-17 de julio.
- Charla dentro del Curso de monitores Starlight Ávila denominada Contaminación lumínica: Medidas, repercusiones y como hacerle frente. Fundación Starlight. Ávila. 12-17 de julio.
- Charla dentro del Curso de monitores Starlight Serranía de Cuenca denominada: Contaminación lumínica. Efectos adversos y prevención. Fundación Starlight. Serranía de Cuenca. 29-30 de septiembre.
- Charla dentro del Curso de monitores Starlight Serranía de Cuenca denominada: Cuidado del cielo. Legislación e instrumentación. Fundación Starlight. Serranía de Cuenca. 29-30 de septiembre.
- Charla Interreg – Night Light denominada: “Site protection experience and updated regulations in the Canary Islands Observatories”. Debrecen, Hungría. 21-23 septiembre.
- Entrevistas en TV, radio y notas de prensa.

#### *Colaboraciones*

Se continúa colaborando con el Comité Internacional de Iluminación (CIE) para la actualización de la recomendación sobre instalaciones de iluminación en el entorno de los observa-



torios astronómicos. Igualmente, se continúa colaborando con la iniciativa STARLIGHT y la Red Española de Estudio sobre Contaminación Lumínica (REECL).

En los alumbrados exteriores públicos de las zonas de Tenerife no protegidas por la “Ley del Cielo”, se realizaron reuniones y obtuvimos el compromiso de usar ledes de no más de 2700°K (o Led Blanco Cálido IAC) con el Gobierno de Canarias, el Cabildo de Tenerife y los ayuntamientos de Santa Cruz de Tenerife y San Cristóbal de La Laguna. Con el ayuntamiento de Güímar se firmó un acuerdo de colaboración.

También se han llevado a cabo reuniones con ENAIRE para la instalación de antenas receptoras en el ORM para la identificación de aeronaves, así como la colaboración de AENA en ser respetuosas con la Astronomía en las instalaciones de alumbrado en el aeropuerto de TFS (fuera de la zona de protección).

**Medidas, Control y Calidad**

Medidas del fondo del cielo: Se continúa con las medidas en el OT y ORM con el “All Sky” ASTMON en el OT y ORM, pero con dificultad, en el OT se encuentra esperando una solución con empresa externa o por contratación de personal para su reparación.



Fotografía de luminaria ámbar en la Punta del Hidalgo, La Laguna, Tenerife.

Se ha retomado las medidas de emisiones radioeléctricas con la Dirección General de Telecomunicaciones instalando un equipo portátil en el OT y en el ORM. No obstante, los datos que aportan son por bandas de frecuencias y no permiten identificar las emisoras más contaminantes por lo que se les ha solicitado la identificación de estas.

**INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR**

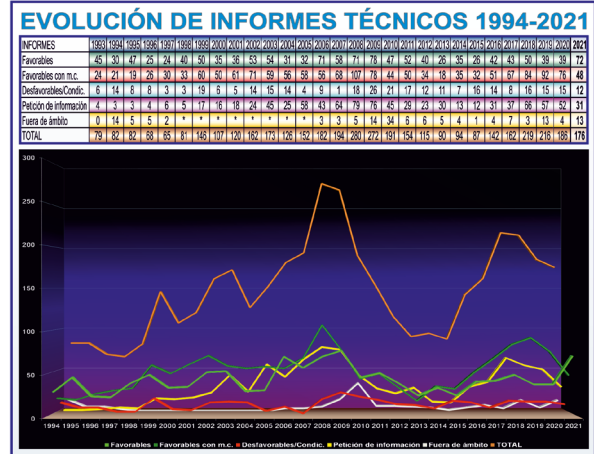


Gráfico y tablas de evolución.

## SERVICIOS INFORMÁTICOS (SI)

Los Servicios Informáticos del Instituto de Astrofísica de Canarias (en adelante SI) ofrecen y gestionan los servicios informáticos al resto de las Áreas del centro, así como a las Instituciones usurarias de los Observatorios, con el objetivo de que puedan desempeñar sus funciones con la máxima eficiencia y así realizar una investigación y desarrollo tecnológico de calidad.

Para lograr suministrar estos servicios con la calidad exigida definimos estándares tecnológicos seguros, gestionamos las infraestructuras TIC y desarrollamos proyectos de mejora hardware y software.

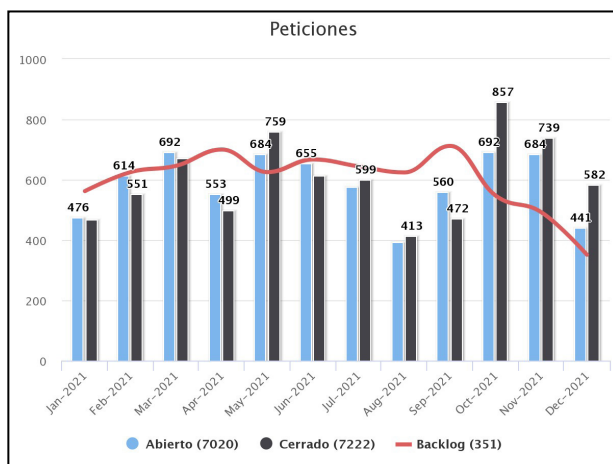
En los apartados siguientes destacamos los hitos y novedades más significativos en los servicios que se suministran.

### Servicio de Atención al Usuario

La atención al usuario es uno de nuestros servicios principales. Nuestro Centro de Atención al Usuario (CAU) atiende solicitudes e incidencias en el uso de infraestructuras y aplicaciones. En cada una de nuestras cinco sedes y en los eventos y congresos organizados por el IAC. Durante este último año se han atendido y gestionado más de 7.200 incidencias.

Hemos gestionado además el préstamo de material, gestionado los equipos audiovisuales del aula y asesorado y tramitado todas las compras de material informático del centro.

El siguiente gráfico muestra la evolución de las incidencias tratadas por meses.



Evolución de las incidencias en 2021.

Para el SI la atención al usuario es un servicio fundamental, porque incide directamente en la producción científica del centro. Anexo a este servicio, asesoramos en la adquisición de

equipamiento informático, y colaboramos activamente en la adquisición de bienes TIC. En concreto, durante el año 2021 hemos tramitado adquisiciones por un valor de 1.638.818,28 Euros.

### Servicio de red

La red del IAC conecta nuestras cinco sedes y da acceso a nuestros investigadores e instalaciones telescópicas a Internet. Su gran capacidad y seguridad es uno de los activos principales del centro. A lo largo de este año 2021 se han realizado algunas mejoras:

- Se ha aumentado la seguridad, actualizando el firewall y ampliando sus capacidades.
- Se ha renovado el sistema de telefonía IP y todos los dispositivos asociados, mejorando los recursos y potenciando el uso del teléfono software frente al tradicional. Esta actuación resulta imprescindible para la continuidad del trabajo con normalidad en aquellas Áreas con personal en situación de teletrabajo.
- Se ha mejorado y ampliado la red en todas las instalaciones del IAC.
- Se ha contribuido cooperando en la conexión de dispositivos de sensorización y monitorización del volcán en la isla de La Palma, cediendo el uso de fibras ópticas y dando conectividad a instrumentos de medida.

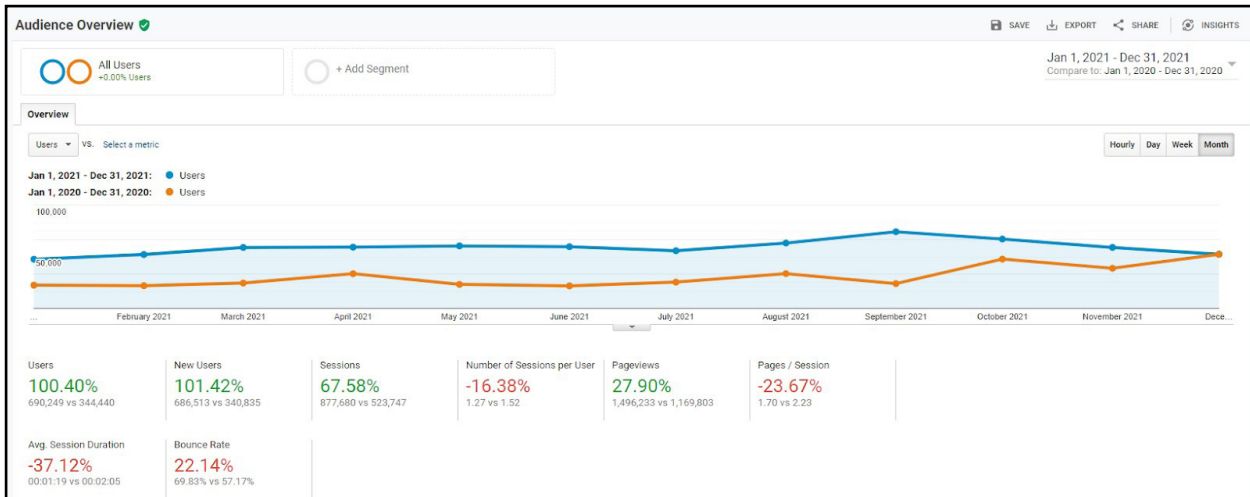
### Servicio de supercomputación

La computación de altas prestaciones o supercomputación además de requerir un alto número de procesadores, necesita un sistema de ficheros capaz de asumir la carga de múltiples escrituras y lecturas en paralelo de todos los procesos que trabajan conjuntamente.

Con la tercera renovación del nodo de supercomputación LaPalma, que se realizó a finales de 2017, se desplegó un nuevo sistema de ficheros denominado Lustre, para albergar los datos de proyectos. Este sistema de ficheros de código abierto permite una arquitectura de escalado horizontal, de tal forma que se puede aumentar la capacidad de espacio y de rendimiento añadiendo servidores y cabinas de disco al cluster.

Inicialmente en 2018 la capacidad de este sistema en LaPalma era de 346 TiB y en 2021 se ha ampliado a 1.151 TiB.

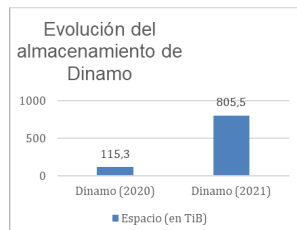
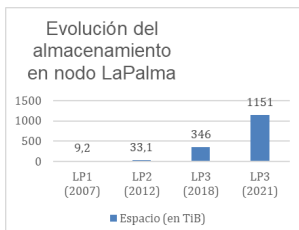
Asimismo, está conectado a los nodos de cómputo de LaPalma mediante una red de



La gráfica muestra un incremento del 100% de los accesos con respecto al año pasado. (2021 en azul, respecto 2020 en naranja).

fibra denominada Infiniband a una velocidad de 40Gb/s con muy baja latencia para conseguir un mayor rendimiento.

También el cluster de computación Dinamo, instalado en la sede central y que se utiliza principalmente para investigación en física solar, ha incrementado sus capacidades de almacenamiento. En este caso se utiliza el mismo sistema de ficheros Lustre, y con la adición de 2 servidores y una cabina de disco, se ha ampliado el espacio disponible de 115 TiB en 2020 a 805,5 TiB en 2021.



### Servicio de audiovisuales

La llegada del teletrabajo ha aumentado la demanda de los servicios audiovisuales de forma significativa durante este año 2021. Por este motivo se han realizado diversas actualizaciones en las salas de conferencia, instalando nuevos dispositivos de visualización (televisores de gran dimensión) y equipamiento para el uso del sistema de videoconferencia Zoom.

También durante este año también colaboramos en la realización de la Conferencia “Dark and Quiet Skies”, realizada íntegramente online debido a la erupción del volcán en la isla de La Palma.

### Servicio Web

Durante el año 2021 se han realizado diferentes actuaciones de mejora en nuestro portal web, entre las que caben destacar:

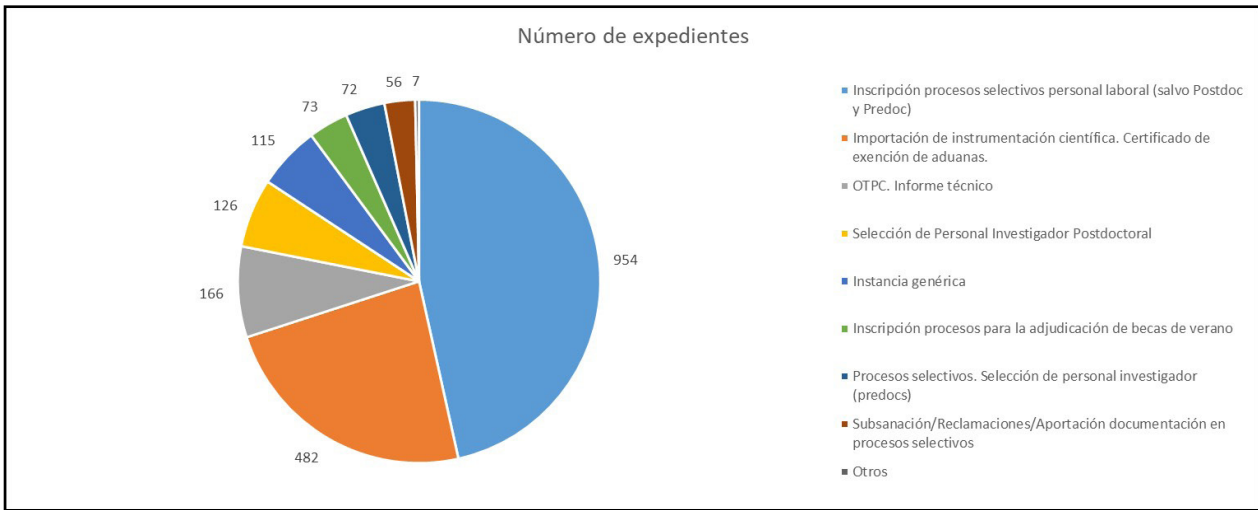
- Integración de la web del Programa Severo Ochoa en el portal corporativo www.iac.es.
- Se ha creado una zona para facilitar al personal de las Instituciones Usuarias del ORM, la reserva de salas de reuniones en las sedes de La Palma.
- Se ha habilitado, la gestión de las charlas del proyecto de divulgación “Habla con ellas”, a través de un formulario de inscripción.
- Se ha mejorado el sistema de búsqueda, ampliándola al contenido de documentos (pdf, word...).
- Se ha creado la sección “Protección de Datos” en Transparencia.
- Se ha realizado integraciones con la Sede Electrónica para facilitar la identificación del proceso selectivo en los procedimientos de la Sede Electrónica de selección y contratación de personal, proporcionando información sobre las convocatorias de empleo abiertas.
- Se ha actualizado las versiones del software del portal a las últimas estables.

Estas y otras mejoras han influido probablemente en los accesos a nuestro portal.

### Sede electrónica

En 2021, se ha continuado con la incorporación de nuevos procedimientos a la Sede Electrónica habiéndose creado uno nuevo, tramitado por el Área de Enseñanza, denominado “Procesos selectivos. Selección de personal investigador (predocs)”, y otro, tramitado por la UC3, para la gestión de “Visitas de los medios de comunicación a los Observatorios de Canarias”.

Actualmente, la sede del IAC ya ofrece un total de 15 procedimientos a través de los cuales se recibieron 2051 solicitudes tramitadas por las



distintas unidades responsables. Además, el equipo de soporte de la Sede Electrónica ha respondido a casi un centenar de incidencias de carácter técnico, lo que significa un aumento de un 46% con respecto al año anterior, pese a haberse visto reducido su número de efectivos.

**Plan de Transformación Digital**

Los Servicios Informáticos han trabajado de forma activa en el Plan de Transformación Digital del IAC. Desde el año 2019 y hasta final del 2021 se han realizado diferentes acciones de mejora para la digitalización de los procesos del IAC y que nos acercarán, sin duda, al Plan de Transformación Digital de la Administración General del Estado, programado para el periodo que abarca desde el 2021 al 2025.

En concreto, en este último año se han conseguido los siguientes logros:

- Se han añadido nuevos procedimientos a nuestra Sede Electrónica, ya descritos en el apartado correspondiente.
- Se ha consolidado el uso del Portafirmas en algunas unidades, particularmente en los Servicios Informáticos.
- Se ha concluido el proyecto de formación en Administración Electrónica, gestionando el contrato con la empresa encargada de los contenidos e integrando los mismos con el portal de formación de los Servicios Informáticos.
- Se han tomado requerimientos para el proyecto de gestión documental del área de Instrumentación e IACTEC.
- Se ha impulsado el proyecto de imagen colaborativa y se ha gestionado el lanzamiento del proyecto de catálogo de procedimientos, que será piedra angular para los proyectos en siguientes años.

La Transformación Digital no es un proyecto de carácter temporal, sino que implica la continua adaptación de los procesos de trabajo a una forma más eficiente, automatizada y amable con las personas que interactúan con ellos. Lo que implicará, sin duda, una dedicación de recursos humanos y materiales del SI en el futuro.

**Almacenamiento centralizado**

En la actualidad, la información y el talento son el principal activo de cualquier organización. El IAC, como centro de investigación de primer nivel, realiza una gestión completa de su información, desde la adquisición de los datos hasta su procesamiento. El servicio de almacenamiento centralizado es, por tanto, de vital importancia para poder realizar una gestión de los mismos eficiente y segura.

El IAC dispone de diversas cabinas de almacenamiento, repartidas entre sus sedes, con el fin de garantizar el servicio en caso de desastre. Durante el año 2021 hemos realizado diversas acciones mantenimiento en las mismas, que han permitido aprovechar el espacio de las nuevas cabinas de almacenamiento y utilizar aquellas que ya están fuera de vida como repuestos de las anteriores.

Como resultado de estos cambios hemos ampliado el servicio de almacenamiento en la nube <https://cloud.iac.es>, que dispone en la actualidad de 30TB, y le hemos añadido nuevas funcionalidades de trabajo colaborativo como son la edición en línea de documentos y datos, la realización de encuestas, formularios, gestión de notas y salas de chat.

Queda pendiente la actualización de los sistemas de copias de seguridad, para proteger la información en caso de borrado.



### Correo electrónico

El correo electrónico se ha convertido en el principal medio de comunicación de las organizaciones. El IAC distribuye miles de correos diarios entre Internet y nuestros usuarios. Su gran exposición al exterior nos hace tener siempre actualizados los sistemas que intervienen en este servicio.

Durante el año 2021 hemos instalado una nueva versión de Webmail <https://webmail.iac.es> basado en el software RoundCube, que permite un acceso ágil y moderno desde diferentes dispositivos. También hemos actualizado el sistema operativo base de todos los sistemas, y aplicado nuevas medidas de seguridad para reducir el riesgo de vernos comprometidos. En este sentido, hemos desarrollado un sistema para bloquear conexiones de atacantes externos que utilizaban programas de fuerza bruta para averiguar contraseñas de usuario.

### Aplicaciones de uso común

Los Servicios Informáticos se encargan de la instalación, mantenimiento y soporte de las aplicaciones de uso común en el IAC. Esto incluye las aplicaciones de escritorio (que se gestionan desde el servicio de atención al usuario), y las aplicaciones accesibles desde la red que se alojan en nuestros servidores.

Durante el año 2021 se han incorporado algunas funcionalidades a las ya existentes aplicaciones de uso común:

- Se ha configurado el sistema de gestión de trabajos GLPI integrado en la herramienta de gestión del SI, para servir como gestión de tareas a otras unidades. En concreto presentamos esta posibilidad a la Unidad de Comunicación y Cultura Científica UC3 que lo comenzará a usar en el año 2022.

- Como se ha comentado en secciones anteriores, se ha dotado de nuevos cursos a la plataforma de formación Moodle, a saber, cuatro cursos para la Administración Electrónica y un curso de formación básica en SAP para los nuevos trabajadores.

- Se ha ampliado el número de recursos que pueden ser reservados desde el portal, utilizando el software en la nube SuperSaas (englobando también las estaciones de ingeniería en IACTEC, salas de reuniones, o incluso citas para la revisión médica).

### Sistema de gestión integral SAP

En relación al Sistema de gestión integral SAP, en el año 2021, el equipo que da soporte a SAP se ha vuelto a ver reducido en el número de efectivos, por lo que se ha tenido que realizar de nuevo un importante esfuerzo en la mejora de la gestión y priorización de los trabajos a realizar. Además, se ha producido un significativo aumento en el número de incidencias recibidas con respecto a las de 2020, pasando de 505 a 637 (+26%). Todo esto se ha traducido en una reducción de la capacidad para afrontar mejoras en el sistema, pese a lo cual se han implementado algunas de ellas como son el sistema que da soporte al futuro Trámite de Gasto Menor (TGM), la exportación de información en el ámbito del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia, la integración con el futuro sistema de control horario o las ampliaciones del módulo de subvenciones para el mantenimiento de la dedicación de los investigadores para la justificación al plan estatal de la dedicación horaria a proyectos.

### Impresión

Cada vez son más los usuarios que se decantan por el uso de dispositivos electrónicos para leer y archivar documentación. El tratamiento



Nota: el dato de octubre acumula datos de meses previos (agosto y septiembre).

electrónico de documentos es más ecológico y permite una gestión de la información más eficiente. Pese a esto, el IAC sigue haciendo un uso intensivo del servicio de impresión. Por este motivo, los Servicios Informáticos centralizan este servicio para los ordenadores de nuestra red. El parque de impresoras instaladas es en su mayor parte de la marca Canon, y ésta homogeneidad facilita su administración y mantenimiento. El total de impresoras instaladas en nuestras sedes es de 41.

En cuanto al uso, debemos destacar que pese a la incorporación progresiva de usuarios al centro de trabajo debido a la desescalada de la pandemia, no se ha aumentado el número de impresiones. Éstos son los datos de los tres últimos años:

2021: color: 204.113	b/n: 106.309
2020: color: 183.116	b/n: 126.226
2019: color: 329.236	b/n: 236.563

El costo de las impresiones a color es muy superior a las de b/n y se recomienda solamente imprimir en color cuando sea imprescindible.

**Compras informáticas**

Tanto el asesoramiento técnico, como los primeros trámites en la adquisición de material informático en el IAC son realizados por el SI. Las necesidades informáticas de los usuarios son transformadas en propuestas de configuración de equipos que posteriormente habrá que adquirir por alguno de los procedimientos contemplados para contratación pública.

**Centro de Proceso de Datos**

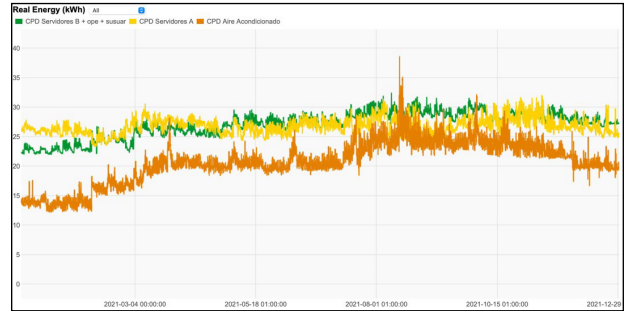
Nuestros Centros de Proceso de Datos (CPD) son los emplazamientos donde se alojan los sistemas de comunicaciones y los ordenadores que permiten la base de los servicios TIC. En cada una de las sedes tenemos un CPD, siendo los más importantes los alojados en La Laguna y en el CALP. Los CPD son salas acondicionadas que deben disponer de sistemas de extinción, refrigeración y seguridad física.

Al CPD de la sede de La Laguna se han incorporado equipos de cálculo intensivo (ocho servidores), se ha ampliado el sistema de almacenamiento del sistema de HPC dinámico (“High-performance computing”), y se han instalado cabinas de almacenamiento de GRANTECAN. RedIRIS ha actualizado además sus equipos de comunicaciones (enrutador y equipamiento óptico).

En el CPD del CALP se ha ampliado el Nodo de Datos (con 2 chasis de discos duros) y tam-

bién el cambio de equipamiento de óptico de RedIRIS.

Estos cambios han impactado en el consumo eléctrico de ambas salas técnicas. En el CPD de La Laguna se inició el año con un consumo de 63,5 kWh y ha acabado con un consumo de 72,6 kWh, según se puede apreciar en el gráfico:



En el CPD del CALP el consumo ha permanecido estable a lo largo del año (sólo con algunos picos puntuales).

Con el fin de reducir el número de máquinas físicas, el SI dispone de un servicio de virtualización que permite provisionar servidores de forma dinámica, optimizando de esta forma los recursos, ya que solamente se asignan en el momento que sea necesario, evitando así la preasignación de los mismos y el consumo innecesario. Durante el año 2021 hemos tenido un crecimiento moderado en el sistema de virtualización. Actualmente disponemos de 161 servidores virtuales y un espacio en disco de 1 TB.

**Seguridad informática**

La seguridad informática es una actividad transversal para todos los servicios comentados en apartados anteriores. La actualización a las últimas versiones de todos los elementos es necesario para minimizar la probabilidad de un incidente.

Durante el año 2021 se han producido a nivel nacional diversos ataques informáticos, la mayoría basados en ataques tipo Ransomware (secuestro de datos), y que han traído graves consecuencias a instituciones como el SEPE (Servicio Público de Empleo Estatal), o grandes compañías como Phone House o MediaMarkt. Tampoco se han salvado diversas instituciones conectadas a RedIRIS, por lo que hemos sido intensamente advertidos por el Centro Criptológico Nacional y la propia RedIRIS.

En el IAC hemos tomado diversas medidas para mejorar la seguridad general de todos nuestros sistemas, como por ejemplo el despliegue masivo de nuevas versiones de antivirus, la actualización del cortafuegos y la orga-

nización de formación básica para la concienciación.

En años pasados instalamos sondas de detección en nuestra red, y el número de avisos de posibles incidentes superan la capacidad humana que tenemos para poderlos gestionar. Sin duda, dada la tendencia que observamos, en los Servicios Informáticos tendremos que reforzar esta vigilancia y el IAC deberá buscar la financiación necesaria para poderlo acometer.

El IAC por ser administración pública dependiente de la Administración General del Estado, debe cumplir con el Esquema Nacional de Seguridad (ENS). En este año 2021 hemos realizado las actividades necesarias para darle cumplimiento en algunos de los servicios que componen nuestro alcance. En próximos años tenemos planes de ampliar éste a nuevos servicios.

El diseño, puesta en producción, operación, mantenimiento y mejora continua de estos servicios es la misión de los Servicios Informáticos. Para poder llevar a cabo estas actividades realizamos procesos y gestionamos contratos con proveedores externos, tratando de mantener unos niveles de servicio acordes a la importancia de las actividades que se llevan a cabo en el IAC.

Por este motivo, aplicamos metodologías de gestión TIC reconocidas como buenas prácticas y nos ayudamos de herramientas adecuadas para la misma. Durante este año 2021 hemos consolidado un tratamiento unificado de todas las actividades que realizamos pudiéndose hacer seguimiento de las mismas desde una herramienta común, creando además una base para la gestión del conocimiento.

### **Formación y eventos**

Finalmente, en el apartado de formación, hay que destacar que, este año, además de asistir a diversas sesiones y webinar, el equipo de SAP impartió un curso online sobre conceptos básicos de SAP, para personal del propio IAC, que ha quedado disponible para futuros empleados en la plataforma interna de formación.



# ÁREA DE INVESTIGACIÓN



Corresponde al Área de Investigación la “elaboración y desarrollo de Proyectos de Investigación en el campo de la Astrofísica y en áreas relacionadas con ella”. A fin de cumplir sus objetivos, el Área tiene una estructura organizativa, de gestión y de servicios enfocada a facilitar y encauzar el desarrollo de la actividad investigadora.

El Área está encabezada por el Coordinador de Investigación como responsable directo de las actividades de investigación del IAC. El Consejo de Investigadores es el órgano asambleario del Área y en él están presentes todos los Doctores que realizan su actividad investigadora en el Centro, con una antigüedad de al menos seis meses en el IAC. Tiene como máximas atribuciones el proponer el nombramiento (y, en su caso, el cese) del Coordinador, así como valorar sus informes de Gestión y los de las comisiones que de él dependen.

Para asistir al Coordinador en el desempeño de sus funciones, existe la Comisión de Investigación, que él mismo preside, y de la que forman parte el Director del Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna, cinco doctores del centro, uno de ellos elegido por los estudiantes de Doctorado, y la Gerente de Investigación. Si bien es éste un órgano consultivo del Coordinador - para estudiar todos los asuntos relativos a la investigación y proponer las resoluciones pertinentes a los órganos competentes - éste lleva a través de la misma una dirección colegiada del Área de Investigación.

La organización del Área se apoya en la Secretaría y tres Servicios. La Gerencia, que dirige la Secretaría, tiene como misión asistir al Coordinador en sus funciones y llevar a cabo, bajo sus directrices, la gestión interna del Área. La Secretaría (compuesta por dos administrativos) asiste al Coordinador y a la Gerente en las tareas administrativas y de gestión, a la vez que ofrece apoyo al personal investigador.

Los Servicios del Área comprenden, los Servicios Informáticos Específicos, el Servicio Multimedia y el Servicio de Corrección Lingüística



## Servicios

### - Servicios Informáticos Específicos (SIE)

Su cometido es la instalación, mantenimiento y asistencia al usuario, en lo que concierne a todo el software de uso astronómico. El Servicio cuenta con un astrónomo responsable y gestor del mismo y un ingeniero que dedican una buena parte de su tiempo a estas labores de soporte.

### - Servicio MultiMedia (SMM)

Ofrece apoyo a los usuarios en todo lo referente a temas gráficos, tratamiento de imágenes, elaboración de ilustraciones o pósters y trabajos de vídeo o de infografía 3D. El Servicio está compuesto por un técnico especializado.

### - Servicio de Corrección Lingüística (SCL)

Se encarga de la revisión de textos de investigación astrofísica en lengua inglesa, destinados a ser publicados en revistas especializadas del campo. El servicio está formado por un técnico especializado.

## Actividad Investigadora

Finalmente, la actividad netamente investigadora en el IAC se estructura en **Proyectos de Investigación** que actualmente se engloban en seis líneas de investigación temática y que abarcan la mayoría de campos de la Astrofísica tanto teórica como observacional o instrumental. Las Líneas de Investigación actuales en el IAC son: Física Solar (FS), Sistema Solar y Sistemas Planetarios (SEYSS), Física Estelar e Interestelar (FEEI), La Vía Láctea y el Grupo Local (MWLG), Formación y Evolución de las Galaxias (FYEG) y Cosmología y Astropartículas (CYA-CTA).

Cada uno de 37 proyectos individuales, actualmente vigentes, está dirigido y gestionado por un *Investigador Principal* (IP) y aglutina la dedicación formal (total o parcial) de investigadores pre- y post- doctorales del IAC. Las vinculaciones y colaboraciones con investigadores de otros centros están reconocidas e incentivadas.

El personal investigador adscrito al Área (con relación contractual) se eleva a 238 personas, además de 24 *Investigadores Afiliados* y 2 doctores con el status de *Colaborador* adscritos al Área, quienes participan en distintos proyectos.

Durante el año 2021 se solicitaron 26 proyectos de investigación dirigidos por investigadores del IAC, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020, por un total 8.226.660 €. Asimismo, se incorporaron al IAC 43 investigadores postdoctorales a través de los proyectos del Plan Estatal (Proyectos I+D, Programa JCI y Programa RYC), 14 en el marco del Programa Severo Ochoa, 3 en el marco del Programa de la UE y 26 contratados con otros fondos.

Igualmente ha habido una intensa actividad de Seminarios y Coloquios en el Área. A lo largo de este año, 2 investigadores de reconocido prestigio internacional de otras instituciones han sido invitados a dar un Coloquio en el IAC, otros 55 investigadores han impartido Seminarios, Charlas y *Breaking News* además de 28 charlas impartidas por ingenieros.

Finalmente, cabe destacar que durante 2021 se ha alcanzado la cifra de 649 artículos científicos publicados en revistas internacionales contempladas en SCI. La gran mayoría de estos artículos han sido publicados en las revistas más prestigiosas de la especialidad.



# FÍSICA SOLAR

## MAGNETISMO SOLAR Y ESTELAR (P/309902)

Tobias Felipe García.

Iñigo Arregui Uribe-Echevarría, Andrés Asensio Ramos, Sangeetha Chitrapadi Rajaram, Manuel Collados Vera, Carlos H. Domínguez-Tagle Paredes, Bruno Femenía Castelló, Elena García Broock, Martín M. Gómez Miguez, Sergio J. González Manrique, Elena Khomenko Shchukina, Christoph A. Keckein, María J. Martínez González, Carlos Quintero Noda, Basilio Ruiz Cobo y Juan C. Trelles Arjona.

Colaborador del IAC: Héctor D. Socas Navarro.

L.R. Bellot Rubio, J.C. del Toro Iniesta (IAA); R. Kostic, N. Shchukina (Obs. de Kiev, Ucrania); V. Olshevsky (Univ. de Leuven, Bélgica); A. Sainz Dalda (Univ. de Stanford, EEUU); W. Schmidt, D. Soltau, Th. Berkefeld, S.K. Solanki, A. Gandorfer, A. Birch (Kiepenheuer Inst. für Sonnenphysik, Alemania); P. Cally, S. Shelyag (Monash Univ., Melbourne, Australia); M. Stangalini (Univ. de Tor Vergata, Roma, Italia); C. Beck (NSO, EEUU); C. Kuckein (Astron. Inst. Potsdam, Alemania); C. González Fernández (Univ. de Cambridge, Reino Unido); J. de la Cruz Rodríguez, A. Pastor Yabar, C. Díaz Baso (Univ. de Estocolmo, Suecia); M. Leitzinger (Univ. de Graz, Austria); A. López Ariste (CNRS, Francia); F. Leone (Univ. de Catania, Italia); R. Manso Sainz (MPI, Alemania); D. Braun (North West Research Associates, EEUU).

### Introducción

Los campos magnéticos son uno de los ingredientes fundamentales en la formación de estrellas y su evolución. En el nacimiento de una estrella, los campos magnéticos llegan a frenar su rotación durante el colapso de la nube molecular, y en el fin de la vida de una estrella, el magnetismo puede ser clave en la forma en la que se pierden las capas externas de forma dramática. En la vida adulta, el magnetismo da lugar a la actividad de las estrellas. Nuestro Sol tiene campos magnéticos que

dan lugar a una actividad tan espectacular que es capaz de tener un impacto en la Tierra. Pero en otras estrellas, la actividad magnética es, en algunos casos, órdenes de magnitud más intensa que la solar, influenciando drásticamente el transporte de especies químicas y de momento angular, así como afectando posibles sistemas planetarios alrededor de éstas.

La finalidad de este Proyecto es estudiar diversas manifestaciones del campo magnético que se pueden observar en la atmósfera solar y en otras estrellas. Estas incluyen estructuras tan diversas como las manchas solares, los campos débiles presentes en el sol en calma o estructuras cromosféricas y coronales como los filamentos y las protuberancias. Así, se han ido abordando gradualmente los siguientes temas de investigación:

### *Magnetismo solar*

- Estructura y evolución del campo magnético en manchas solares.
- Estructura y evolución del campo magnético en el Sol en calma.
- Estructura y evolución del campo magnético en la cromosfera y en estructuras cromosféricas (protuberancias, espículas,...).
- Estructura y evolución del campo magnético en bucles coronales.
- Estructura y evolución del campo magnético global del Sol. Estudios del ciclo de actividad magnética.
- Estudio empírico de la propagación de ondas magnetohidrodinámicas en el seno de estructuras magnéticas.
- Estudio empírico de mecanismos relacionados con el calentamiento de las capas externas del Sol.
- Estudio empírico de la influencia de la ionización parcial en la dinámica de la atmósfera solar.
- Implicación en el proyecto del Telescopio Solar Europeo.

### *Magnetismo estelar*

- Desarrollo de métodos numéricos para el diagnóstico del campo magnético estelar,



tanto en la superficie como en la cromosfera.

- Estudio del magnetismo en protuberancias estelares.
- Impacto del campo magnético en las últimas fases de la evolución estelar.

### Hitos

Se ha mapeado el magnetismo del Sol en calma con una nueva técnica basada en inversiones multilínea de la intensidad de líneas sensibles al efecto Zeeman.

Se ha evaluado la capacidad de diagnóstico de varias líneas fotosféricas. Los resultados obtenidos indican qué líneas son más adecuadas para futuras observaciones.

Se ha confirmado el potencial de nuestro método para detectar regiones activas en el hemisferio solar no visible y se ha cuantificado su precisión.

Se ha desarrollado y evaluado una nueva estrategia de inversión para observaciones espectroscópicas de la región espectral en torno a 5780 Å.

### Desarrollo y resultados

#### *Sismología de la corona solar*

Se continúa con desarrollos de aplicación de técnicas bayesianas a comparación de modelos en sismología de la atmósfera solar. En particular, se ha realizado una comparación entre las predicciones teóricas de dos modelos de amortiguamiento de ondas transversales en bucles coronales y datos provenientes de un catálogo extenso de oscilaciones con el objetivo de discernir cuál de los dos mecanismos explica mejor las observaciones. El primer modelo es lineal y considera el mecanismo absorción resonante; el segundo modelo incluye la evolución no lineal de las ondas, por lo que depende de la amplitud de la oscilación. Primeramente, se ha realizado un análisis de verosimilitud marginal y de factor de Bayes en el plano de observables de tasa de amortiguamiento y amplitud de la oscilación. Se halla que el modelo no lineal predice mejor combinación de amplitud de oscilación y tasa de amortiguamiento en la región del plano donde se sitúan las observaciones. Seguidamente, se ha calculado el factor de Bayes para 101 eventos de catálogo hallándose que el número de eventos que son explicados mejor por el modelo no lineal es un factor significativamente mayor que el número de eventos para los que el modelo lineal de absorción resonante ofrece una explicación más plausible.

Los resultados han sido publicados en Arregui (2021, ApJL 915, L25).

#### *Modelado numérico de umbral flashes*

Se ha calculado la propagación de ondas en manchas solares utilizando simulaciones numéricas. Estas simulaciones se han empleado para apoyar el análisis de observaciones mediante el cálculo de los perfiles de Stokes sintéticos y su posterior inversión utilizando el código NLTE NICOLE. Los resultados muestran que las oscilaciones en velocidad y temperatura inferidas a partir de la línea Ca II 854,2 nm son razonables. Por el contrario, el campo magnético inferido muestra oscilaciones con una amplitud de unos 300 G que no están presentes en la simulación. Estos resultados, publicados en Felipe et al. (2021, ApJ, 918, 47), sugieren tener cuidado con la interpretación del campo magnético inferido mediante inversiones de líneas formadas en NLTE.

#### *Mapeado del magnetismo del Sol en calma*

Se utilizaron simulaciones magneto-hidrodinámicas para demostrar que es posible inferir la intensidad promedio del campo magnético del Sol en calma usando inversiones multilínea de perfiles de intensidad en el régimen Zeeman. La inversión simultánea de 15 líneas espectrales en torno a 1.5 micras permite revelar que la distribución espacial del campo "oculto" está estrechamente correlacionada con los movimientos convectivos de la superficie solar y permite, además, encontrar una magnetización promedio de 46 G. Reconciliar este resultado con los resultados inferidos a través del efecto Hanle implicaría un aumento de la intensidad del campo magnético con la altura sobre la superficie solar, algo que es físicamente cuestionable. Por ello, se debe seguir trabajando en ambos métodos o técnicas de inferencia del campo magnético. Los resultados han sido publicados en Trelles Arjona (2021, ApJ, 915, 20).

#### *Ionización parcial en la atmósfera solar*

Se ha estudiado la influencia de los efectos Hall y ambipolar en la vorticidad a partir de simulaciones tridimensionales de magnetoconvección. Los resultados muestran que la difusión ambipolar produce una fuerte reducción de la vorticidad en las capas cromosféricas altas, mientras el efecto Hall actúa de forma opuesta. Cuando se incluye el efecto Hall, el campo magnético simulado es más vertical y se producen tubos de flujo con mayor tiempo de vida (Khomenko et al., 2021, RSPTA, 379, id.20200176).

### ***Nuevo método para inferir el campo magnético a partir de medidas de intensidad***

Se ha estudiado el rango espectral en torno a las líneas Cr I 5780.9, 5781.1, 5781.7, 5783.0, and 5783.8 Å, todas ellas sensibles al campo magnético. Se ha invertido simultáneamente la intensidad de 15 líneas espectrales. Los resultados ofrecen medidas precisas de la temperatura y velocidad Doppler, mientras que la mejor estimación del campo magnético se obtiene cuando éste está orientado a lo largo de la línea de visión. Esta nueva estrategia de inversión tiene aplicaciones para multitud de objetivos científicos. Los resultados se han publicado en Kuckein et al. (2021, A&A, 653, A165).

### ***Capacidad de diagnóstico de líneas fotosféricas***

Se ha estudiado la respuesta de varias líneas fotosféricas del visible e infrarrojo sensibles al efecto Zeeman. Utilizando simulaciones numéricas, se han calculado e invertido perfiles sintéticos y se han comparado las variables inferidas con los valores conocidos de la simulación. Los resultados, publicados en Quintero-Noda et al. (2021, A&A, 652, 161), muestran que las mejores líneas para estudiar el Sol en calma y regiones de “network” son Fe I 5250.2, 6302, 8468 y 15648 Å.

### ***Detección de regiones activas en el hemisferio solar no visible***

Se ha evaluado la capacidad de la red neuronal diseñada por nuestro grupo para detectar regiones activas en el farside (hemisferio solar no visible desde La Tierra). Para ello, se han comparado las predicciones de la red y del método estándar con observaciones directas del farside obtenidas con STEREO. Los resultados confirman la mejora en la sensibilidad de nuestro método con respecto al método estándar, siendo capaz de detectar un 47% más de regiones activas con el mismo número de falsos positivos. Además, la red también muestra mejor sensibilidad para regiones activas más pequeñas. Los resultados fueron publicados en Broock et al. (2021, A&A, 652, A131).

## MAGNETISMO, POLARIZACIÓN Y TRANSFERENCIA DE RADIACIÓN EN ASTROFÍSICA (P/300725)

Tanausú del Pino Alemán.

David Afonso Delgado, Ernest Alsina Ballester, Andrés Asensio Ramos, Edgar S. Carlín Ramírez, Sara Esteban Pozuelo, Supriya Hebbur Dayananda, Jaume Jaume Bestard, Hao Li, María J. Martínez González, Héctor D. Socas Navarro, Andrii Sukhorukov, Javier Trujillo Bueno, Andrés Vicente Arévalo, Ángel M. Vicente Garrido y Nikola Vitas.

Colaboradores del IAC: Carlos Allende Prieto, Iñigo Arregui Uribe-Echevarría, Manuel Collados Vera, Cristina D. Ramos Almeida y Basilio Ruiz Cobo.

M. Bianda, L. Belluzzi, R. Ramelli (Inst. Solari Ricerche, Suiza); R. Casini, R. Centeno (High Altitude Obs., NCAR, EEUU); R. Manso Sainz (MPIA, Alemania); J. de la Cruz (Univ. de Estocolmo, Suecia); N. Shchukina (Main Astronomical Obs., Kiev, Ucrania); H. Uitenbroek (NSO, EEUU); D. McKenzie (Univ. de Alabama, EEUU); R. Ishikawa (NAOJ, Japón); F. Auchère (IAS); J. Stepan (Astronomical Inst., Rep. Checa).

### Introducción

Los campos magnéticos están presentes en todos los plasmas astrofísicos y controlan la mayor parte de la variabilidad que se observa en el Universo a escalas temporales intermedias. Los tenemos en estrellas a lo largo de todo el diagrama de Hertzsprung-Russell, en galaxias, e incluso quizás en el medio intergaláctico. La polarización de la luz nos proporciona la fuente más fiable de información para la teledetección de campos magnéticos en Astrofísica, incluyendo los campos magnéticos del Sol. En particular, el diagnóstico de campos magnéticos en las atmósferas del Sol y de otras estrellas requiere de la medida e interpretación física de señales de polarización en líneas espectrales, las cuales son inducidas por varios mecanismos físicos que operan a las escalas atómicas. Además del efecto Zeeman, hay muchos otros mecanismos físicos que producen polarización en la radiación electromagnética. Por ejemplo, la polarización de los niveles atómicos o moleculares inducida por el bombeo óptico de un campo de radiación anisótropo, las interferencias cuánticas entre niveles de estructura fina o hiperfina, el efecto Hanle, etc. La polarización generada por tales mecanismos es sensible a las condiciones físicas del plasma astrofísico en consideración y,

en particular, a la presencia de campos magnéticos en un rango de intensidades que va desde valores tan bajos como 1 microgauss hasta varios miles de Gauss.

El principal objetivo de este Proyecto es explorar, en profundidad, la física y el origen de la radiación polarizada en plasmas astrofísicos, así como su utilidad como medio de diagnóstico para descifrar y entender la actividad magnética en Astrofísica, con énfasis en el magnetismo de la atmósfera solar. Nuestras investigaciones involucran:

- La física de la polarización, lo que requiere profundizar en la teoría cuántica de la interacción radiación-materia, teniendo en cuenta procesos de "scattering" en presencia de campos magnéticos y eléctricos.
- El desarrollo de técnicas de diagnóstico de plasmas para la exploración de campos magnéticos en Astrofísica, con particular interés en descifrar el complejo magnetismo de la atmósfera solar, envolturas circunestelares y nebulosas planetarias.
- Observaciones espectropolarimétricas y su interpretación en términos de modelos físicos.
- Desarrollo de métodos numéricos para la solución de problemas de transporte radiativo sin suponer equilibrio termodinámico local, con aplicaciones a modelos tridimensionales de atmósferas estelares resultantes de simulaciones magneto-hidrodinámicas.
- Espectroscopia y espectropolarimetría atómica y molecular, con aplicaciones en varios campos de la Astrofísica.

Este Proyecto está formado por un grupo de científicos convencidos de la importancia de complementar investigaciones teóricas, observacionales e instrumentales para hacer frente a algunos de los retos actuales de la Astrofísica.

### Hitos

Lanzamiento exitoso de un cohete sonda con el instrumento CLASP-2 (Chromospheric Layer Spectro-Polarimeter) para la observación de una plage solar. En este segundo vuelo se han obtenido observaciones espectropolarimétricas de alta calidad en la región espectral alrededor de 280 nm.

Desarrollo del código numérico con paralelización P-CORONA para la síntesis de la radiación polarizada emergente en modelos tridimensionales de la corona solar, incluyendo polarización atómica y la rotura de simetría debida a

campos magnéticos y velocidades no radiales del viento solar.

Desarrollo de técnicas de inversión: 1) un código numérico de inversión incluyendo polarización atómica y redistribución parcial, 2) una red neuronal para el cálculo de coeficientes de alejamiento que acelera en gran medida las inversiones y 3) un nuevo algoritmo para la inversión en tres dimensiones de perfiles espectropolarimétricos.

Desarrollo de un código de transporte radiativo que incluye polarización por dispersión, redistribución parcial en frecuencia y estructura hiperfina en el régimen de Paschen-Back incompleto. Su aplicación a la línea D1 del sodio neutro ha permitido resolver la “paradoja del sodio”.

### Desarrollo y resultados

Se ha concluido y publicado en revistas científicas las investigaciones desarrolladas durante 2020 cuya publicación quedaba pendiente.

El primer análisis de las observaciones del experimento suborbital CLASP-2 (Chromospheric LAyer Spectro-Polarimeter) se ha publicado en *Sciences Advances*.

El esquema general de entrenamiento sin supervisión de sistemas de aprendizaje profundo para la deconvolución ciega de imágenes se ha publicado en *A&A*.

El estudio teórico de la sensibilidad a la rotura de simetría axial de la polarización lineal de la línea espectral del calcio neutro en 422.7 nm en el centro del disco solar se ha publicado en *The Astrophysical Journal*.

El estudio teórico del efecto de la resolución temporal limitada en las observaciones de la línea espectral de estroncio neutro en 460.7 nm y su comparación con nuevas observaciones se ha publicado en *The Astrophysical Journal*.

Se ha estudiado la componente longitudinal del campo magnético cromosférico en el Sol en calma inferida de observaciones espectropolarimétricas en la línea del calcio ionizado en 854.2 nm en el Swedish Solar Telescope (SST). Para tal fin se ha aplicado la aproximación de campo débil en la polarización circular. Se ha encontrado una correlación entre la fuerza del campo magnético longitudinal y el tamaño de las concentraciones de campo en el Sol en calma. Se han encontrado los valores máximos, que se encuentran entre 150 y 500 gauss, en el centro de dichas concentraciones magnéticas. Se ha enviado el artículo correspondiente a *The Astrophysical Journal*.

Se ha estudiado la formación de la polarización por dispersión en la línea D1 del sodio neutro. Se ha mostrado cómo al incluir todos los ingredientes físicos relevantes para el problema, a saber, redistribución parcial en frecuencia, estructura hiperfina, interferencia cuántica entre niveles de estructura fina e hiperfina pertenecientes a un mismo término y el campo magnético en el régimen Paschen-Back incompleto, la paradoja del sodio queda resuelta. Dicha paradoja se basaba en la creencia, fundamentada en investigaciones teóricas en las que no había podido tenerse en cuenta toda la física relevante de forma simultánea, de que la polarización por dispersión de la línea D1 era debida al dicroísmo. Si este fuera el caso, campos magnéticos de muy pequeña intensidad deberían ser capaces de eliminar la polarización lineal casi por completo, pero, sin embargo, esta es siempre observable. Al tenerse en cuenta toda la física relevante, se ha podido demostrar que la contribución del dicroísmo no es significativa y que, efectivamente, la polarización de la línea D1 es perfectamente compatible con campos magnéticos con intensidades de varios gauss.

Se ha finalizado el desarrollo de un código numérico de transporte radiativo con polarización basado en el formalismo de las matrices de redistribución. Dicho código tiene en cuenta la polarización por dispersión, la redistribución parcial en frecuencia y la estructura hiperfina en el régimen de Paschen-Back incompleto. Se ha estudiado la fiabilidad de diferentes aproximaciones en la modelización de las señales de polarización por dispersión en las alas de líneas resonantes fuertes del magnesio ionizado y del hidrógeno neutro. Se ha enviado el artículo correspondiente a *A&A*.

Se ha desarrollado un método de inversión diseñado para observaciones espectropolarimétricas de alta resolución. Dicho método está basado en redes neuronales entrenadas con perfiles generados a partir de la solución del problema de transporte radiativo en modelos de atmósfera con estratificaciones aleatorias con el fin de dotar a la red con mayores capacidades de generalización. Se ha aplicado el método a datos de Hinode. Los resultados han sido interpretados como la primera evidencia observacional directa del efecto de “muro caliente”, una predicción de los modelos teóricos de los años setenta.

Se ha desarrollado un método para determinar coeficientes de alejamiento a partir de la estratificación de la temperatura entrenando una red neuronal de grafos. Se ha demostrado que la red es capaz de recuperar la estratifi-

cación de dichos coeficientes con suficiente precisión en una pequeña fracción del tiempo que sería necesario para su cálculo exacto. Se ha implementado la red en un código numérico que permite la inversión rápida de perfiles de intensidad teniendo en cuenta los efectos de no equilibrio termodinámico local. Se ha enviado un artículo con la descripción del método y los resultados del trabajo a The Astrophysical Journal.

Se ha desarrollado el primer código de inversión capaz de tener en cuenta la polarización atómica, la redistribución parcial en frecuencia y la acción conjunta de los efectos Hanle y Zeeman en el régimen de Paschen-Back incompleto. Se ha estudiado el rendimiento del código usando modelos semi-empíricos de la atmósfera solar y se ha aplicado a las observaciones espectropolarimétricas de la misión CLASP-2 (artículos en preparación).

Se ha realizado con éxito el lanzamiento de un cohete sonda con el espectropolarímetro CLASP-2 para la observación de una plage solar. Este último experimento, fruto de una colaboración internacional, ha sido denominado CLASP-2.1. Se han obtenido observaciones espectropolarimétricas de alta calidad en la región espectral alrededor de 280 nm y se ha comenzado su reducción e interpretación.

Se ha desarrollado un esquema estocástico para la inversión en tres dimensiones de observaciones espectropolarimétricas. Se ha comprobado la funcionalidad del algoritmo aplicándolo a un caso académico. El artículo en que se describe el algoritmo ha sido aceptado para publicación en A&A y se ha comenzado a desarrollar el código de inversión que será aplicado a datos espectropolarimétricos.

Se ha completado la primera versión del código P-CORONA para el cálculo de la radiación polarizada emergente en modelos tridimensionales de la corona solar, teniendo en cuenta la rotura de simetría debida a la presencia de campos magnéticos y velocidades no radiales del viento solar. Se ha completado una investigación teórica de la polarización lineal en las líneas espectrales de hidrógeno y helio neutro en 121.6 y 30.4 nm, respectivamente. Estas líneas muestran diferente sensibilidad al campo magnético vía el efecto Hanle, siendo sensibles a intensidades de campo que difieren en un orden de magnitud para ambas líneas. Además, también muestran sensibilidad diferencial al efecto Doppler producido por el viento solar debido a sus diferentes anchuras espectrales. Se ha estudiado cómo la observación simultánea de estas dos líneas puede facilitar la determinación del campo magnético

y de la velocidad macroscópica en la corona solar. Se ha publicado el artículo correspondiente en The Astrophysical Journal.

Se ha completado la implementación híbrida MPI+OpenMP de P-CORONA, que facilita su ejecución eficiente con un elevado número de procesos. Se ha avanzado considerablemente en el desarrollo de 'scripts' para la generación sencilla de los modelos atmosféricos y atómicos para la ejecución de P-CORONA, así como en el desarrollo de una interfaz gráfica para la visualización de modelos y resultados del código, una herramienta que facilitará la utilización del código numérico una vez se haga público para la comunidad.

Se ha derivado una nueva cuadratura angular especialmente adecuada para problemas de transporte de radiación polarizada en tres dimensiones. Se ha probado el rendimiento de esta y comparado con la cuadratura óptima que se había desarrollado y publicado durante el año 2020. Se ha demostrado que ambas cuadraturas superan en al menos un factor tres, respecto a la eficiencia en cuanto al tiempo de cómputo, al habitual producto tensorial de cuadratura gaussiana y trapezoidal y, además, la nueva cuadratura necesita un número menor de rayos para alcanzar la misma precisión numérica.

Se ha estudiado el impacto de la aplicación del método de características cortas para la solución de la ecuación de transporte radiativo en modelos tridimensionales, a saber, el difuminado numérico inherente al método y, en particular, su efecto sobre la polarización lineal emergente del modelado. Se ha comparado el cálculo con dicho método con el resultante de la aplicación del método de características largas que, aunque más costoso a nivel computacional, no sufre del citado efecto de difuminado. Se ha demostrado que, aunque en investigaciones previas hemos hecho uso de las características cortas en el cálculo de la radiación emergente, la resolución espacial de los modelos utilizados es lo suficientemente alta como para que los efectos sean no significativos. Se ha demostrado las ventajas de calcular la radiación polarizada emergente con el método de características largas y se ha implementado en la versión pública de nuestro código PORTA de transporte radiativo en tres dimensiones.



## SIMULACIÓN NUMÉRICA DE PROCESOS ASTROFÍSICOS (P/300313)

Fernando Moreno-Insertis.

Iñigo Arregui Uribe-Echevarría, Iballa Cabello García, Belén Coronado Granados, Tobías Felipe García, Peter Hunana, Elena Khomenko Shchukina, Valeriia Liakh, David Martínez Gómez, Mikhail Modestov, Ana M. Navarro Noguera, Daniel E. Nóbrega Siverio, Andrea Perdomo García y Nikola Vitas.

M. Luna (Univ. Islas Baleares); J. Martínez Sykora, V. Hansteen (Lockheed Martin Solar and Astrophysical Lab., EEUU); E.R. Priest (Univ. St. Andrews, Reino Unido); M. Madjarska (Max Planck Inst. for Solar System Research; Alemania), C. Fischer (Kiepenheuer Inst., Alemania), B. Schmieder (Obs. de Meudon, París, Francia); L.R. Van der Voort (ROCS/ITA, Univ. de Oslo, Noruega), R. Joshi (Univ. de Oslo, Noruega).

### Introducción

La simulación numérica mediante códigos complejos de ordenador es una herramienta fundamental en la investigación física y en la técnica desde hace décadas. El crecimiento vertiginoso de las capacidades informáticas junto con el avance notable de la matemática numérica ha hecho accesible a los centros de investigación de tamaño medio esta rama de la investigación, a caballo entre la física teórica y la física experimental. La astrofísica no es excepción a lo anterior, habiéndose desarrollado desde finales de los 70 una especialidad de la misma, la astrofísica computacional, que ha permitido llegar a comprender gran variedad de fenómenos inaccesibles a la investigación teórica pura y dar cuenta de observaciones hasta entonces inexplicadas. Su mayor campo de aplicación en las décadas pasadas han sido los fenómenos (magneto) hidrodinámicos y de dinámica de gases en multiplicidad de entornos cósmicos, por ejemplo los interiores y atmósferas estelares y planetarios y el medio interestelar, incluyendo magnetoconvección y dínamo, discos de acreción, evolución de nebulosas planetarias, explosiones y restos de supernova, etc. La incorporación a las simulaciones numéricas de las ecuaciones del transporte radiativo, ocurrida ya en décadas pasadas, ha permitido dotar de mayor realismo a los estudios de procesos hidrodinámicos en fotosferas y cromosferas estelares.

El presente Proyecto quiere apoyar el desarrollo en el IAC de la investigación astrofísica basada en el uso de grandes códigos numéricos

que requieren el uso de ordenadores masivamente paralelos y su enlace con los resultados de observación. Objetivo general de este Proyecto es la realización de cálculos de física de fluidos cósmicos y de transporte radiativo. La temática de dichos cálculos se centrará en:

- Fenómenos de dinámica de gases magnetizados en interiores y atmósferas estelares.
- Transporte de radiación y señales de polarización en líneas espectrales en base a modelos atómicos y moleculares realistas y los efectos Hanle y Zeeman.
- Comparación de resultados teórico/numéricos con datos de observación.

Este Proyecto es especialmente relevante a la vista de la involucración, cada vez mayor, del IAC en las redes de supercomputación nacionales y europeas y, en general, en grandes iniciativas de instalación de superordenadores.

### Hitos

Usando datos del satélite solar IRIS, se han conseguido determinar por primera vez parámetros físicos fundamentales de las eyecciones solares conocidas como 'surges' tanto a nivel de cromosfera media y baja como de región de transición. (Nóbrega-Siverio et al 2021).

Usando simulaciones numéricas de gran resolución espacial, se han determinado los mecanismos de amortiguamiento de oscilaciones de gran amplitud (LAOs) en protuberancias (tesis Valeria Liakh).

Se ha creado un banco de pruebas para códigos numéricos MHD con módulos de difusión ambipolar. Este paquete numérico se basa en soluciones que contienen singularidades esenciales de interés tanto físico como matemático (Moreno-Insertis et al 2022).

Un análisis Bayesiano ha cuantificado la evidencia a favor de un modelo no lineal de oscilaciones en bucles coronales. El análisis de 101 oscilaciones muestra evidencia concluyente a favor del modelo no lineal en la mayoría de los casos. El modelo no lineal ofrece por tanto una explicación plausible al amortiguamiento de ondas en la corona solar (Arregui 2021).

Se ha determinado que la interacción entre partículas cargadas y neutras en plasmas parcialmente ionizados tiene un efecto no despreciable en el mecanismo de batería de Biermann, aumentando, de hecho, la generación del campo magnético. (Martínez-Gomez et al 2021).

## Desarrollo y resultados

### *Aplicación de técnicas bayesianas a comparación de modelos en sismología de la atmósfera solar*

Se ha realizado una comparación entre las predicciones teóricas de dos modelos de amortiguamiento de ondas transversales en bucles coronales y datos provenientes de un catálogo extenso de oscilaciones con el objetivo de discernir cuál de los dos mecanismos explica mejor las observaciones. El primer modelo es lineal y considera el mecanismo absorción resonante; el segundo modelo incluye la evolución no lineal de las ondas, por lo que depende de la amplitud de la oscilación. Primeramente, se ha realizado un análisis de verosimilitud marginal y de factor de Bayes en el plano de observables de tasa de amortiguamiento y amplitud de la oscilación. Se halla que el modelo no lineal predice mejores combinaciones de amplitud de oscilación y tasa de amortiguamiento en la región del plano donde se sitúan las observaciones. Seguidamente, se ha calculado el factor de Bayes para 101 eventos de catálogo hallándose que el número de eventos que son explicados mejor por el modelo no lineal es un factor significativamente mayor que el número de eventos para los que el modelo lineal de absorción resonante ofrece una explicación más plausible. Los resultados han sido publicados en Arregui (2021, ApJL 915, L25).

### *Impacto de jets coronales sobre protuberancias*

Se ha publicado un modelo numérico 2.5D que explica la física del proceso de impacto de un jet coronal sobre un filamento seguido de oscilaciones de gran amplitud del mismo. En el modelo, los jets se generan mediante cizalladura en una región fotosférica en la que se halla una polaridad magnética parasítica en las cercanías de la protuberancia. Se ha estudiado en detalle la propagación, a lo largo del canal del filamento, de diferentes ondas no lineales que surgen del sitio de reconexión, sobre todo de una perturbación rápida Alfvénica y de un frente de choque sónico, más fuerte pero más lento; en la fase tardía se produce un chorro o jet que es el principal causante de las oscilaciones de la protuberancia, con amplitudes superiores a 10 km/s. El modelo incluye el estudio detallado de dichas oscilaciones. El modelo explica las observaciones, realizadas con datos en el Extremo Ultravioleta tomadas por el satélite SDO, de oscilaciones de gran amplitud (LAOs) en protuberancias causadas por el

impacto de chorros coronales, un fenómeno detectado (Luna + Moreno-Insertis, 2021).

### *Oscilaciones de gran amplitud en protuberancias estables y eruptivas*

Se ha llevado a cabo un estudio de oscilaciones de gran amplitud (LAOs) de protuberancias mediante simulaciones numéricas de gran resolución espacial. Una de las grandes incógnitas en la investigación de LAOs es cómo se amortiguan sus oscilaciones. Para estudiar este problema es necesario reducir la difusión numérica y, por tanto, aumentar mucho la resolución espacial. Se consiguió determinar que el amortiguamiento es debido a emisión de ondas rápidas. Además, se descubrió un efecto, oculto por la difusividad numérica, consistente en la transferencia de energía de la parte inferior de la protuberancia a la superior. Esto hace que las oscilaciones de la parte superior de la protuberancia se amplifiquen en las primeras fases de la oscilación para luego amortiguarse. Este efecto ya se había descrito en observaciones. Estas simulaciones se realizaron con el código MANCHA y fueron llevadas a cabo en las instalaciones del BSC Marenostrum (Liakh et al, 2021). Estos trabajos son parte de la tesis doctoral de Valeria Liakh, defendida en la Univ. de La Laguna en diciembre 2021. El estudio abre vías para la investigación en el futuro de los mecanismos de desestabilización de protuberancias que dan lugar a Eyecciones de Masa Coronal (CMEs).

### *Desarrollo de un banco de pruebas de códigos numéricos MHD con capacidades de cálculo de difusión ambipolar*

Se han obtenido soluciones matemáticas al problema de la difusión ambipolar en una situación simple que generalizan la solución clásica de Zeldovich-Kompaneets-Barenblatt-Pattle (ZKBP). La existencia de dichas soluciones había sido demostrada en el campo de la matemática aplicada, pero no se disponía de soluciones concretas hasta el momento. En base a esas soluciones, hemos desarrollado un 'banco de pruebas' para comprobar la validez de códigos numéricos magnetohidrodinámicos que incluyan el término de difusión ambipolar. Al incluir singularidades matemáticas inevitables (que, además, corresponden directamente a la física del problema), estas soluciones constituyen un test mucho más estricto que el proporcionado por la solución clásica ZKBP. Se ha ensayado el banco de pruebas con el código Bifrost, y, en particular, con el nuevo módulo de difusión ambipolar de dicho código desarrollado por Nóbrega-Si-



verio et al (2021), con resultados satisfactorios. (Moreno-Insertis et al).

### ***Observaciones y comprensión teórica de los puntos brillantes coronales***

Los puntos brillantes coronales (CBPs) se observan, en números elevados, en observaciones del EUV y rayos X en la corona sobre todo el disco solar. Su importancia es conocida desde hace décadas, pero su relevancia está siendo más apreciada en el presente debido a las nuevas misiones espaciales que se están acercando al Sol. Investigadores de nuestro proyecto han participado en una publicación (Madjarska et al 2021) en que se estudian observaciones simultáneas en la corona, cromosfera y fotosfera de un punto brillante en que tuvo lugar emergencia de flujo con correlación importante de cambio de brillo en las alturas coronales. Realizamos también estudio de la estructura 3D del campo magnético mediante extrapolaciones con diferentes técnicas. Por otro lado, estamos desarrollando modelo 3D de estas estructuras utilizando el código Bifrost (Nóbrega-Siverio + Moreno-Insertis, 2022)

### ***Surges cromosféricas y su contrapartida en región de transición y corona***

Las *surges* son eyecciones frías y densas, típicamente (pero no exclusivamente) observadas en líneas cromosféricas y muy relacionadas con otras eyecciones como brotes de ultravioleta o jets coronales. En un trabajo liderado por miembros de nuestro proyecto (Nóbrega-Siverio et al 2021) se ha intentado caracterizar el plasma cromosférico y de región de transición en estos procesos y se ha atacado el problema de la falta de modelos de inversión y diagnóstico para ellos. Se ha analizado un episodio de *surges* recurrentes relacionadas con brotes de ultravioleta observados con el satélite IRIS. Para estudiar la región de cromosfera media y baja, se han obtenido perfiles de línea de Mg II h&k mediante un algoritmo de 'k-means' y se han llevado a cabo inversiones usando el código STiC. También se han estudiado espectros en el UV lejano, para estudiar la región de transición de estos fenómenos. Finalmente, se ha llevado a cabo una comparación de los datos observacionales con datos de modelado numérico realizado con el código Bifrost. Gracias a todo lo anterior se ha podido determinar con alto nivel de confianza las temperaturas, densidades de número de electrones y velocidades en la línea de visión en estas eyecciones. Se han obtenido primeras evidencias observacionales del gran impacto de estos fenómenos en la región de transición. Gracias a la compa-

ración con el modelado teórico, se puede entender la topología y localización de diferentes aspectos de las observaciones en el contexto de la atmósfera baja y la corona solares.

### ***Simulaciones realistas de convección cercana a la superficie de estrellas frías con el código mancha***

Se han revisado y optimizado varios módulos del código MANCHA que tratan de las difusividades artificiales y derivadas espaciales, transporte radiativo, ecuación de estado y de las condiciones iniciales y de contorno. Se han creado varios códigos auxiliares independientes en apoyo de este desarrollo, a saber, un código para calcular opacidades y distribuirlas en cajas (*bins*), así como un nuevo código paralelo para resolver la ecuación de estado para composición arbitraria atómica y molecular. La estudiante de doctorado Andrea Perdomo ha desarrollado un algoritmo que crea modelos iniciales de atmósfera consistentes con la física usada en las simulaciones (Vitas y Perdomo, en preparación).

### ***Inestabilidad raileigh-taylor en protuberancias***

Se ha estudiado este fenómeno bajo tratamiento de dos fluidos en un plasma de hidrógeno, y teniendo en cuenta efectos como el intercambio de impulso entre iones y neutros, calentamiento por fricción, viscosidad y difusividad y ionización/recombinación. Se ha concluido que, al tener una transición continua entre la prominencia y la corona, el comportamiento lineal de la RTI cambia comparando con el comportamiento clásico descrito por Chandrasekhar, en el sentido de que el campo magnético no implica una frecuencia de corte y las longitudes de onda son inestables a perturbaciones lineales. Sin embargo, la interacción ion-neutro implica un corte, ya que las colisiones entre especies impiden que las escalas pequeñas desarrollen la inestabilidad. Durante la fase no-lineal hemos observado la fase de mezcla turbulenta entre fluidos y la creación de estructuras magnéticas, como plasmoides (Popescu et al 2021).

### ***Difusión ambipolar y efecto hall: consecuencias sobre la vorticidad***

Se ha publicado un estudio usando simulaciones 3D de magneto-convección que llegan hasta la cromosfera media. Se ha concluido que el efecto ambipolar permite disipar los vórtices, mientras que en simulaciones con efecto Hall, la vorticidad aumenta (Khomenko et al 2021).

***Estudio del efecto de la interacción entre iones y partículas neutras en la generación de campo magnético mediante el mecanismo de batería de Biermann***

Usando la versión de 2 fluidos del código MANCHA, se han realizado simulaciones 2D de la inestabilidad de Kelvin-Helmholtz en plasmas parcialmente ionizados (Martínez-Gómez et al 2021).

***Análisis del efecto de la inhomogeneidad en densidad sobre oscilaciones en hilos de protuberancias solares***

Usando el código numérico MoLMHD y un modelo 3D de tubo de flujo magnético se ha estudiado la influencia de la mencionada inhomogeneidad en los periodos y tiempos de atenuación de oscilaciones transversales, y sus implicaciones para el campo de la seismología de protuberancias. Se ha aplicado un modelo aproximado de “forward modeling” para generar imágenes sintéticas en la línea espectral H-alfa que permiten comparar los resultados de las simulaciones con los datos obtenidos mediante observaciones (Martínez-Gómez et al, AA, aceptado para publicación).

***Investigación del estadio lineal de la inestabilidad hidrodinámica de una llama laminar en una celda Hhele-Shaw***

Se ha desarrollado un modelo teórico que tiene en cuenta pérdidas de calor e impulso, coeficientes de transporte dependientes de la temperatura y la estructura interna continua del frente de la llama. Se ha obtenido numéricamente una relación de dispersión como solución de un problema de autovalores de las ecuaciones linealizadas que regular el proceso. Se ha estudiado en detalle el impacto de diferentes aspectos físicos del problema. (Han et al, 2021, incluye a Modestov, M.)

***Desarrollo de un método general de resolución del problema de estabilidad lineal de una interfase con estructura interna continua***

Tales interfases se encuentran en muchas situaciones en diferentes ramas de la física, como por ejemplo en física del plasma y de la combustión. El trabajo presente extiende el análisis simplificado de un frente discontinuo infinitamente delgado por medio de la integración numérica a lo largo de la solución de estado estacionario. Se han presentado dos ejemplos que demuestran la aplicación del método en la inestabilidad de pulsación 1D en deflagración magnética, así como en la in-

estabilidad 2D de Darrieus-Landau de una onda de ablación laser. (Modestov 2021).

## SISMOLOGÍA SOLAR Y ESTELAR Y BÚSQUEDA DE EXOPLANETAS (P/300008)

Savita Mathur.

Roi Alonso Sobrino, Paul Beck, Juan A. Belmonte Avilés, Hans Deeg, Diego O. Godoy Rivera, Lucía González Cuesta, Antonio Jiménez Mancebo, Pere L. Pallé Manzano, Fernando Pérez Hernández y Teodoro Roca Cortés.

Colaboradores del IAC: Antonio M. Eff-Darwich y Jesús Patrón Recio.

R.A. García (CEA Saclay, Francia); L. Bugnet (Flatiron Inst., EEUU); A.R.G.S. Santos (Univ. de Oporto, Portugal); J. van Saders (Univ. de Hawaii, EEUU); J. Tayar (Univ. de Florida, EEUU); M. Pinsonneault (OSU, Ohio, EEUU); T.S. Metcalfe (WDC, Boulder, Colorado, EEUU); M.F. Anderson, J. Christensen-Dalsgaard, F. Grundahl, H. Kjeldsen (Univ. de Aarhus, Dinamarca); E. Corsaro (INAF Obs. Astrofisico de Catania, Italia); K. Jain (NSO, Boulder, Colorado, EEUU); M. Cunha (CAUP, Portugal); W.C. Chaplin (Univ. de Birmingham, Reino Unido); T. Bedding (Univ. de Sydney, Australia); S. Korzennik (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, EEUU); M. Deleuil (LAM Marsella, Francia); D. Gandolfi (Univ. de Torino, Italia); M. Fridlund (Univ. Chalmers, Suecia); L. Doyle (SETI, EEUU); H. Rauer, Sz. Czismadia, P. Klagyivik, J. Cabrera (DLR, Alemania); J. Schneider (Obs. Meudon, Francia); V. Kozhevnikov (Ural State Univ., Rusia); T. Mazeh (Univ. de Tel Aviv, Israel); D. Queloz (Obs. de Ginebra, Suiza); J. Ballot (CNRS, Univ. de Toulouse, Francia); O. Creevey (Lab. Lagrange, Univ. de Niza, Francia); T. Boyajian (Univ. de Yale, EEUU); D. Martín (Univ. de Ginebra, Suiza); A. TriAUD (Univ. de Cambridge, Reino Unido); D. Fabrycky (Univ. de Chicago, EEUU); K.P. Schroder (Univ. de Guanajato, México); I. Martín Mateos (ULL).

### Introducción

Los objetivos genéricos de este Proyecto son: el estudio de la estructura y dinámica del interior solar, la extensión de dicho estudio al caso de otras estrellas, la búsqueda de planetas extrasolares por métodos fotométricos (principalmente mediante tránsitos por delante de sus estrellas principales) y espectroscópicos (variaciones en la velocidad radial de la estrella).

Para el primer objetivo se utiliza la heliosismología tanto global (la que se obtiene de los modos propios de oscilación) como la local (que

deriva del estudio de ondas viajeras). La sismología solar permite inferir de modo preciso información acerca de la estructura y dinámicas del interior del Sol hasta su mismo núcleo.

El presente proyecto cubre las distintas facetas necesarias para alcanzar dicho objetivo, desde la instrumental, pasando por la observacional, técnicas de reducción, análisis e interpretación de los datos, así como el desarrollo de técnicas teóricas de inversión y elaboración de modelos de estructura y evolución.

Por otro lado, la astrosismología pretende obtener un conocimiento similar en otras estrellas. Hoy en día esta rama de la astrofísica está produciendo un gran número de resultados gracias a la enorme cantidad de estrellas observadas por las misiones espaciales CoRoT, Kepler y TESS, siendo posible extraer información sobre la estructura y dinámica de cientos de estrellas, tanto de tipo solar como de gigantes rojas. Todo ello se verá complementado con el desarrollo de la red SONG (Stellar Observations Network Group), una batería de telescopio en Tierra dotados con espectrógrafos de alta precisión.

Actualmente el método de tránsitos, observando la disminución del brillo de una estrella cuando uno de sus planetas pasa por delante, es la metodología preferida para la investigación de planetas pequeños, no sólo por su sensibilidad sino también porque permite llevar a cabo estudios relativamente detallados de los planetas descubiertos. Sus observaciones fotométricas de alta precisión son similares a las que se utilizan en helio y astrosismología por lo que se puede entender como una extensión lógica de lo aprendido con los anteriores objetivos. Por otro lado, es importante desarrollar algoritmos y métodos observacionales para la detección inequívoca y el análisis de los planetas, distinguiéndolos de los que resultan ser falsas alarmas.

El panorama actual para los estudios de exoplanetas involucra nuevas misiones espaciales como CHEOPS y TESS que serán seguidos por JWST y en 2026, PLATO. Por lo tanto, se abre una ventana temporal en la que los observatorios terrestres pueden complementar estos datos. Para ello se siguen llevando a cabo observaciones usando principalmente con los telescopios TNG, NOT, GTC, además de contribuir al desarrollo de las nuevas misiones espaciales.

### Hitos

El análisis de los datos de Solar-SONG obtenidos durante la campaña de verano de 2018

se finalizó y dio lugar a un artículo (en prensa). Este trabajo mostró la calidad de los datos de Solar-SONG en comparación con las observaciones durante el mismo tiempo de la misión GOLF a bordo de SOHO.

Después de implementar una herramienta de aprendizaje automático en nuestro pipeline de rotación, hemos entregado el mayor catálogo de Kepler con períodos de rotación y niveles de actividad magnética de más de 55.000 estrellas de tipo solar (en la secuencia principal y de subgigantes).

Utilizando una muestra de estrellas muy bien caracterizadas con sismología, derivamos una nueva calibración del número de Rossby en función de los colores de las estrellas en el mismo espacio de parámetros que la muestra sísmica de Kepler.

Una exestudiante de doctorado (Lisa Bugnet, cuya tesis fue co-dirigida por Savita Mathur), recibió dos premios por el trabajo que realizó durante su tesis: uno de la Sociedad astronómica francesa y otro de la División G de la IAU.

## Desarrollo y resultados

### *Heliosismología*

Se ha publicado el artículo de los análisis de Solar-SONG y la comparación con el instrumento de referencia GOLF (SoHO). Es un artículo liderado por el estudiante de tesis Sylvain Breton.

Con respecto a VIRGO/SoHO se ha continuado con la operación del instrumento y se ha estado preparando el análisis de los 27 años de SoHO cubriendo completamente dos ciclos solares. Se pretende ampliar estudios hechos anteriormente con solo un ciclo de actividad magnética y utilizando medidas simultáneas de intensidad (VIRGO) y velocidad radial (GOLF).

### *Dinámica estelar*

Se ha finalizado el catálogo de los parámetros “Período de Rotación” e “Índice fotométrico de actividad magnética” de las estrellas de tipo solar observadas por Kepler durante 4 años. Eso dio lugar a la publicación del catálogo más grande de Kepler con esas medidas para más de 55,000 estrellas (casi doblando el catálogo de referencia anterior). La figura muestra los períodos de rotación (top panel) y el índice de actividad magnética Sph (bottom panel) en función de la temperatura efectiva de las estrellas.

Calibración sísmica del número de Rossby (cociente de su período de rotación y “tiempo

característico convectivo”) utilizando modelos sísmicos de 60 estrellas de tipo solar observadas por Kepler. Estos modelos son los más precisos que tenemos para estas estrellas, permitiendo medir la profundidad de la zona convectiva. Teniendo los índices de color B-V y de Gaia BP-RP, se obtuvo una relación semi-empírica entre el tiempo típico convectivo y los colores para el rango de colores de la muestra sísmica. Los resultados se publicaron en ApJ Letters.

Se estudió el tiempo de vida de las regiones activas por medio de simulaciones y utilizando la función de auto-correlación. Este trabajo mostró que un decaimiento lineal representa mejor el tiempo de vida que un decaimiento exponencial. Se destaca también que la duración de las observaciones influencia mucho la precisión de la estimación del tiempo de vida de las regiones activas.

Se procedió a re-analizar las observaciones de velocidad radial obtenidas con SONG de la estrella Arturo desde 2016. La re-calibración de los datos y las modificaciones en el software de cálculo de la velocidad, demoraron el análisis y la interpretación de los mismos. La publicación de los resultados de esta extensa campaña de observación será uno de los objetivos prioritarios para 2022.

Con el catálogo de períodos de rotación, se calcularon modelos estelares que tienen en cuenta el transporte de momento angular para estimar las edades y el tiempo típico convectivo para estudiar la evolución de la actividad magnética de las estrellas de tipo solar en función de su tipo espectral.

En colaboración con T. Brown (CU Boulder, EEUU), se ha definido una nueva variable “mid-frequency continuum” (MFC) que mide la potencia media del espectro de frecuencia de las oscilaciones entre 20 y 280  $\mu$ Hz. El cálculo de MFC de estrellas de Pleiades observadas con K2 parece mostrar una correlación con la actividad magnética de las estrellas. Los resultados se publicaron en ApJ.

Se analizó la rotación de las estrellas con planetas de TESS, Kepler y K2. Se publicó un artículo en Science, otro con más de 30 estrellas y un tercero está en preparación con más estadísticas de más de 500 objetos.

Se inició el análisis de sub-series de 27, 80 días y 1 año para determinar la rotación de estrellas observadas por Kepler para mejorar el pipeline de rotación y aplicarlo a los datos de TESS y preparar la misión PLATO. Los resultados preliminares se presentaron en un poster de la conferencia de TESS.

### *Asterosismología*

Se finalizó la caracterización de modos acústicos en 99 estrellas observadas por Kepler y que no se habían estudiadas previamente lo que proporcionó un catálogo de 624 estrellas de tipo estelar observadas por Kepler y con detección de modos de tipo solar. Los resultados se publicaron en A&A.

Se publicó el catálogo de detección de modos acústicos en gigantes rojas observadas con la misión K2. Se ha progresado con el análisis de las gigantes rojas para el Legacy Catalog de Kepler.

Se han calculado 2 mallas de modelos con la última versión del código de evolución estelar MESA desde la ZAMS hasta las gigantes rojas jóvenes. Son mallas que usan masas de 0.8 hasta 1.5 masa solar, metalicidad entre -0.5 y 0.5 dex. Una malla incluye el tratamiento de la difusión y la otra no. Cada malla tiene casi 400,000 modelos guardados. Esta malla se va utilizar para modelizar estrellas con detección de modos para varios proyectos de Kepler, K2 y TESS.

Se caracterizaron los modos individuales de estrellas de tipo solar con el código Apollinaire desarrollado por el estudiante de tesis Sylvain Breton. Más de 100 estrellas fueron analizadas con datos de Kepler y K2. Eso incluye 8 estrellas observadas en 2 campañas de K2, un trabajo liderado por la estudiante de tesis Lucía González Cuesta. El artículo, en preparación, incluye la modelización de estas estrellas.

Se llevó a cabo el trabajo teórico del impacto de un campo magnético fósil sobre los modos mixtos en gigantes rojas y estudiar si se puede medir con los datos de Kepler. Este trabajo dio lugar a 2 publicaciones, en las cuales una liderada por L. Bugnet, una estudiante de tesis co-dirigida en el IAC quien termino su tesis en 2020.

Se han estudiado estrellas en sistemas binarios con datos de TESS que incluye una gigante roja como componente. Este estudio mostro la detección de oscilaciones de tipo solar en 100 sistemas. El manuscrito ha sido enviado a A&A.

Se realizó el estudio astrosismológico de estrellas observadas por K2 y TESS con y sin planetas, dando lugar a 3 artículos aceptados o publicados.

### *Planetas extrasolares*

Se publicó un trabajo revisando los planetas descubiertos por la misión CoRoT con los datos de la misión TESS, rastreando cambios de

la periodicidad de estos planetas y derivando ephemerides de muy alta precisión. Se avanzó en un artículo sobre el sistema USP (ultra short period) TOI 1416 con datos de TESS y de un gran consorcio de contribuyentes de datos de velocidades radiales.

Para la contribución del IAC a la misión PLATO, se finalizaron todos los diseños técnicos de la componente MEU-PSU (main electronics power supply) y se recibió financiación para la construcción de estos componentes, aunque con plazos de ejecución muy problemáticos. Además, se participa en varios grupos de trabajos para la preparación científico de la misión (product definition WG, liderazgo de WG de fotometría de seguimiento terrestre y WG de planetas circumbinarias y WG estelar para sismología y rotación/actividad magnética).

Se iniciaron los pasos con la editorial Springer para generar la segunda edición del Handbook of Exoplanets (editores principales H. Deeg y J.A. Belmonte), con la firma del contrato con Springer previsto para febrero 2022.

### *Laboratorio Solar del Observatorio del Teide*

Las instalaciones telescópicas ubicadas en esta zona (Mark-I, GONG, SONG y Solar-SONG) han permanecido operativas a lo largo del año en el que se llevaron a cabo trabajos de actualización, reparación y mejora de algunos de los instrumentos. En el telescopio "Hertzprung SONG" se procedió al primer realuminizado de su espejo primario (1 m.) en el IAC, así como a instalar una nueva estructura (hexapod) en el espejo secundario y un nuevo sistema de óptica activa (AO).

Tras la aprobación y financiación del Proyecto MUSOL (Magnetometry Unit for Solar-SONG) con los Fondos de Recuperación del IAC, se procedió a definir y adquirir todos los componentes del mismo (montura ecuatorial, sistema de auto-guiado, telescopio solar con filtro de Ca, fibras ópticas y componentes ópticos, mecánicos y electrónicos del nuevo polarímetro). Se prevé la instalación y primera luz a finales de la primavera de 2022.



# SISTEMA SOLAR Y SISTEMAS PLANETARIOS

## ARQUEOASTRONOMÍA (P/309307)

Juan A. Belmonte Avilés.

César Esteban López y Maitane Urrutia Aparicio.

Colaborador del IAC: Antonio Aparicio Juan.

A. Rodríguez Antó, C. González García (INCI-PIT-CSIC, Santiago); M. García Quintela (Univ. de Santiago); G. Magli (Politécnico de Milán, Italia); L. Costa Ferrer (Independiente, Santiago); J.L. Escacena Carrasco (Univ. de Sevilla); A. Espinosa (Vilamuseu, Vilajoiosa); L. Fatas Fernández, F. Romeo Marugán (Direc. General de Cultura y Patrimonio, Gob. de Aragón); M. Fekri (Univ. de Minufiya, Egipto); M.C. Gallegos, J.M. Vaquero (Univ. de Extremadura); M. Hoskin (Univ. de Cambridge, Reino Unido); S. Machause López (Univ. de Valencia); M.A. Molinero (Univ. de La Laguna); M.A. Perera (Cabildo de Lanzarote); A. Polcaro (Univ. La Sapienza, Italia); M. Zedda (Soc. Archeofila Sarda, Italia); M. Órfila (Univ. de Granada); J.M. Noguera Celdrán (Univ. de Murcia); L. Benítez de Lugo Enrich (UAM, UNED); R. Shady (UNMSM, Lima, Perú).

### Introducción

Este Proyecto tiene como objetivo fundamental determinar la importancia de la Astronomía como parte integrante de la cultura y de la civilización desde el Paleolítico a nuestros días (Belmonte 2021). El interés del grupo se centra, en especial, en los pueblos del antiguo ámbito Mediterráneo desde el Atlántico al Oriente Medio, con una dedicación especial a España, su entorno geográfico inmediato y el Egipto antiguo. Sin embargo, también se tienen ramificaciones en el área del Pacífico, Perú y en Mesoamérica.

### Hitos

Los resultados de la investigación sobre la localización y orientación de los edificios principales de las primeras manifestaciones de urbanismo en América (Caral) muestran que no es sólo la presencia del río Supe la que determina la orientación de estos edificios, pero

la localización dentro del valle también viene dictada por posibles relaciones astronómicas.

Tras analizar una muestra significativa, se ha demostrado más allá de toda duda y por vez primera que las iglesias románicas del Camino de Santiago muestran orientaciones compatibles con la fecha móvil del Domingo de Pascua.

Este año se ha publicado el libro "Las escrituras del pueblo majo: claves para el poblamiento de Canarias" donde se recogen el trabajo conjunto de más de un cuarto de siglo de sus autores sobre las escrituras de la población aborigen de Lanzarote y Fuerteventura, contextualizadas en varias disciplinas científicas entre las que se incluye la Astronomía cultural.

### Desarrollo y resultados

Este año se ha proseguido el trabajo en el marco de la Iniciativa "Astronomía y Patrimonio Mundial de la IAU y la UNESCO. En este marco, se ha contribuido de forma significativa al trabajo de la candidatura "Menorca Talayótica: una odisea ciclópea insular", bien seriado que fue presentada a la UNESCO en su forma final febrero de 2021. En octubre de 2021 tuvimos la evaluación in situ por parte de ICOMOS. Es muy probable que el proceso culmine en 2022, esperemos que con éxito. Entre otras actividades en este mismo ámbito, este año han visto la luz una serie de trabajos relacionados con astronomía y patrimonio en el ámbito canario (véase la Producción Científica). Se quiere destacar que desde agosto de 2021 el IP del proyecto es el Presidente de la Comisión C4 de la IAU "Patrimonio Mundial y Astronomía".

También en este año se han publicado los resultados de nuestro equipo multidisciplinar sobre Caral en la prestigiosa 'Latin American Antiquity' (González-García et al. 2021). El valle del río Supe en Perú posiblemente alberga una de las primeras manifestaciones de urbanismo en América. Los resultados de la investigación sobre la localización y orientación de los edificios principales muestran que no es sólo la presencia del río Supe la que determina la orientación de estos edificios, pero la localización dentro del valle también viene dictada por posibles relaciones astronómicas. Se



muestra que la orientación más importante de estas estructuras concuerda con la salida más meridional de la luna. Existe la posibilidad de una tendencia de atribuir una importancia creciente del solsticio de junio y la salida de ciertas estrellas y asterismos. Estas orientaciones se pueden relacionar con momentos concretos a lo largo del ciclo anual, en particular con las estaciones de lluvia las crecidas subsiguientes del río y los ciclos terrenal agrícolas. De esta manera, los monumentos del valle del Supe aparecen como una de las primeras muestras de interacción del paisaje y el celaje en culturas humanas de América. Esto cierra el proceso de una de nuestras investigaciones recientes más fascinantes.

Se llevaron a cabo trabajos de campo en varios yacimientos ibéricos de la provincia de Valencia, como la Cueva Merinel y el poblado de El Molón en Camporrobles. También se confirmó un marcador astronómico doble (de equinoccio y solsticio de verano) espectacular en el yacimiento de Tossal de Cala (Benidorm, Alicante). Se finalizó, en colaboración de arqueólogos la Univ. de Sevilla, un estudio sobre la orientación del templo dedicado al emperador romano Trajano (edificio conocido como Traianeum) en la ciudad hispanoromana de Itálica (Santiponce, Sevilla). Los nuevos resultados indican que, aunque la entrada al templo monumental se encuentra en su fachada oriental, la orientación astronómica más precisa y relevante se produce hacia poniente, hacia el ocaso solar en el solsticio de invierno, con interesantes implicaciones que se discuten en Escacena Carrasco et al. (2021).

Se ha proseguido el trabajo de investigación sobre las "Tradiciones astronómicas del Camino de Santiago", que constituye el núcleo de la tesis doctoral de la FPI asociada al proyecto M. Urrutia Aparicio. Este año se ha completado el análisis. Los resultados del estudio de casi dos centenares de iglesias románicas son excepcionales. La cantidad de datos disponible nos está permitiendo realizar una estadística fiable y coherente, analizando tanto los patrones generales como las particularidades de cada territorio.

En esta línea se han publicado dos trabajos este año (Urrutia Aparicio et al. 2021a y 2021b) donde se examina, desde la perspectiva de la Astronomía Cultural, si las iglesias románicas del Camino de Santiago siguen un patrón de orientación común a todas ellas. Para ello, se ha obtenido la orientación de 192 templos en los antiguos reinos de León y Castilla, y se ha realizado un estudio comparativo. Ambos reinos comparten orientaciones hacia la salida

del Sol el domingo de Pascua, probablemente obtenidas en su mayoría mediante observación directa del sol sobre el horizonte, aunque León presenta una fuerte preferencia por el equinoccio eclesiástico del 21 de marzo, que no aparece en Castilla. También se han analizado las iglesias pertenecientes al Camino y una muestra de contraste en cada reino, lo que ha permitido extraer información relevante sobre las iglesias construidas en lugares concretos como Santiago de Compostela, la Ribeira Sacra, Sahagún o la Montaña Palentina.

Se ha publicado este año el libro "Las Escrituras del Pueblo Majo: claves para el Poblamiento de Canarias", escrito por el IP del proyecto junto a la arqueóloga y colaboradora M. Antonia Perera. En él se recoge un estudio multidisciplinar que tiene como base los alfabetos de las poblaciones aborígenes de Fuerteventura y Lanzarote, y en que la astronomía cultural tiene un papel determinante.

Igualmente se ha avanzado en los trabajos de edición y redacción del Volumen 1: "The Cultural History of the Universe in Antiquity", de la colección "Cultural History of the Universe" de la Editorial Bloomsbury. Se ha finalizado la redacción de la Introducción y se ha avanzado en los trabajos de edición del conjunto de contribuciones.

Este año se ha asistido al encuentro anual de SEAC XXVIII celebrado en Stara Zagora (Bulgaria) en el que se presentaron dos comunicaciones sobre la relación con el solsticio de los templos egipcios y las tradiciones astronómicas del Camino de Santiago. También se asistió al Congreso Starlight celebrado en Evora (Portugal) en septiembre donde se defendió una ponencia invitada sobre Astronomía y Patrimonio.

Desafortunadamente, este año y a causa de la pandemia de COVID-19 se han tenido que postergar varios de los objetivos propuestos para 2021. La campaña en las provincias romanas de Mesia y Tracia (actual Bulgaria) tuvo que ser cancelada una vez planeada y postergada a un momento en que las condiciones socio-sanitarias la hagan viable. La campaña en Arabia Saudita tuvo que cancelarse por las restricciones a la movilidad a causa de la pandemia y por la carencia de fondos disponibles para un proyecto de esta envergadura. La aprobación del Proyecto del MICIN OAS V esperamos que permita acometer ambas campañas en un plazo razonable.

Igualmente, el congreso Oxford XII -SIAC VIII y su escuela asociada, a celebrar en La Plata (Argentina) en noviembre de 2021, tuvieron que

ser pospuestos para 2022, confiamos en que este año se pueda celebrar porque eventos de este tipo son fundamentales para la buena marcha del Proyecto y, sobre todo, para la formación de los doctorandos.

Finalmente, se ha seguido trabajando en temas relacionados con el Egipto antiguo (Belmonte et al. 2010), aunque queremos destacar que se ha finalizado la redacción de un primer borrador del libro "Ancient Egyptian Astronomy: a cultural perspective" para la Editorial Springer. Ahora comienza el largo proceso de evaluación y edición previo a su publicación.

No quisiéramos terminar este informe sin hacer un recuerdo especial de nuestro querido colega el Profesor Michael Hoskin de la Universidad de Cambridge, Reino Unido. Colaborador del proyecto desde su creación en 1993, le echaremos muchísimo de menos. Justo en el momento de su fallecimiento el 5 de diciembre de 2021 se había terminado de redactar una semblanza sobre su persona, cuyo recuerdo permanecerá imborrable en nuestra memoria.

## EXOPLANETAS Y ASTROBIOLOGÍA (P/301301)

Enric Pallé Bago.

Roi Alonso Sobrino, Juan A. Belmonte Avilés, Antonio L. Cabrera Lavers, Carlos Cardona Guillén, Hans Deeg, Emma Esparza Gorges, Akhiko Fukui, Nikolas C. Cedric Lodieu, Manuel Mallorquín Díaz, Thomas Masseron, Savita Mathur, Giuseppe Morello, Felipe A. Murgas Alcaino, Norio Narita, Grzegorz Nowak, Jaume Orell Miquel, Hannu Parviainen, Jorge A. Pérez Prieto, Víctor J. Sánchez Bejar, Héctor D. Socas Navarro y Monika Beata Stangret.

P. Miles Páez (ESO); M.R. Zapatero Osorio (CAB-INTA-CSIC); M. MasHesse (CAB); M. Deleuil (LAM Marseille, Francia); M. Fridlund (Leiden, Países Bajos - Onsala, Suecia); L. Doyle (SETI, EEUU); H. Rauer, J. Cabrera, S. Csizmadia, P. Klagyivik (DLR, Alemania); D. Pollacco (Queens Univ. Belfast, Reino Unido); E. Günther, A. Hatzes (Obs. Tautenburg, Alemania); T. Mazeh (Univ. de Tel Aviv, Israel); T. Boyajian (Univ. de Yale, EEUU); D. Martin (Univ. de Ginebra, Suiza); A. Triaud (Univ. de Cambridge, Reino Unido); D. Fabrycky (Univ. de Chicago, EEUU); S. Grziwa (Univ. de Colonia, Alemania); J. Buday (Slovak Academia de Ciencias, Eslovaquia); P. Kabath (Obs. Ondrejov, Rep. Checa); N. Casayas (Univ. de Leiden, Países Bajos); G. Chen (Purple Mountain Obs., R.P. China).

### Introducción

La búsqueda de vida en el Universo se ha visto impulsada por los recientes descubrimientos de planetas alrededor de otras estrellas (los llamados exoplanetas), convirtiéndose en uno de los campos más activos dentro de la Astrofísica moderna. En los últimos años los descubrimiento cada vez más numerosos de nuevos exoplanetas y los últimos avances en el estudio de sus atmósferas no sólo están dándonos valiosa nueva información sobre sus propiedades físicas, sino que nos están permitiendo además poner las propiedades de los planetas de nuestro Sistema Solar dentro un contexto más global. El campo está acercándose al importante descubrimiento de los primeros planetas potencialmente habitables, impulsando estudios más detallados de estos planetas. Con el lanzamiento de las nuevas misiones como JWST, CHEOPS, TESS, ARIEL o PLATO, al campo de exoplanetas se le plantea un futuro muy excitante.

Es por esta razón que este campo se ayuda de y, a su vez motiva, el desarrollo de instrumentación cada vez más sensible y estable tanto para telescopios de tierra como para las misiones espaciales. Dos frentes para los que el grupo está especialmente preparado. Por un lado, durante los últimos años hemos desarrollado técnicas de observación y reducción de tránsitos de exoplanetas para los telescopios del ORM, siendo el nuestro uno de los grupos más productivos en la explotación del Telescopio GTC. Por otro lado, todas las misiones espaciales ESA (presentes y futuras) enfocadas a exoplanetas cuentan con uno o varios de los componentes del Proyecto como Cols, contribuyendo a la explotación científica de misiones actuales (TESS, CHEOPS) y la preparación de los futuros (PLATO, ARIEL).

En el marco de este Proyecto, se pretende que los investigadores del IAC mantengan una situación aventajada con la explotación de OSIRIS y EMIR, instrumentos de primera luz de GTC, y participen en la construcción, comisionado y operación de nuevos instrumentos. La explotación de la fotometría y espectroscopia de tránsitos es también uno de nuestros principales intereses.

En resumen, el proyecto “Exoplanetas y Astrobiología” se centrará entorno a estas cuatro líneas principales de actuación:

- Caracterización de las propiedades físicas y atmosféricas de exoplanetas (GTC, WHT, HARPSN, CARMENES, ESPRESSO, ARIEL etc.).
- Búsquedas y confirmación de exoplanetas por tránsitos (CoRoT, Kepler, K2, TESS, CHEOPS, XO, LCOGT, WFC, PLATO, etc.).
- Búsquedas/confirmación de exoplanetas por velocidad radial (HARPSN, HORUS, LCOGT, SONG, NOT/FIES, CARMENES).
- Astrobiología.

### Hitos

El descubrimiento CARMENES de un exoplaneta rocoso en tránsito cercano que es adecuado para la investigación atmosférica. Publicado en Science-

El descubrimiento de GJ 367b: un planeta subterráneo denso y de período ultracorto que transita por una estrella enana roja cercana. Publicado en Nature Astronomy.

El descubrimiento de la rápida contracción de planetas gigantes que orbitan alrededor de la estrella V1298 Tau de 20 millones de años. Publicado en Nature Astronomy.

Comprobando la atmósfera de HD 209458b como se ve con ESPRESSO. No hay absorciones planetarias detectables a alta resolución. Publicado en A&A

La detección de un vínculo compositivo entre exoplanetas rocosos y sus estrellas anfitrionas. Publicado en Science.

El descubrimiento CHEOPS de seis planetas en tránsito en una cadena de resonancias de Laplace en TOI-178. Publicado en A&A.

### **Desarrollo y resultados**

El grupo de “Exoplanetas y Astrobiología” ha sido extremadamente productivo durante 2021, con casi 100 publicaciones en artículos con árbitro y un gran número de contribuciones a congresos internacionales que durante este año se han realizado 100% online. Un gran número de estas publicaciones han sido en revistas de impacto, incluidos varios artículos en Nature o Science. Y varios resultados más de impacto como resultado de nuestras actividades durante este año están ya aceptadas.

### **Búsqueda y confirmación de exoplanetas**

Durante 2021, continuamos la búsqueda de exoplanetas alrededor de las estrellas Ms con el instrumento CARMENES, lo que ha llevado al descubrimiento de varios nuevos planetas. En particular el programa de seguimiento de los candidatos del satélite TESS con CARMENES, sigue incrementando el número de planetas rocosos entorno a estrellas M con masas y radios determinados con precisión, lo que ayuda a acotar los mecanismos de formación y evolución de esta población de planetas. Entre estos objetos cabe destacar la super-Tierra alrededor de la estrella M Gliese 486, situada a tan solo 8pc de nuestro Sol.

Se continuo la colaboración con TESS y SuperWASP, coordinando las observaciones de seguimiento de sus candidatos utilizando mediciones de RV con HARPS-N y datos fotométricos con MUSCAT2. También se utilizaron las instalaciones del O Las Cumbres (LCO) para la validación de candidatos de la misión TESS como parte del proyecto clave de exoplanetas de LCO y TESS EXOFOP.

Dentro de la colaboración KESPRINT y otras dedicadas a la búsqueda de planetas, se han realizado seguimientos de velocidad radial usando HARPS en La Silla (Chile), y HARP-N y FIES en el ORM, de datos de las misiones espaciales K2 y TESS, llevando a la publicación de varios artículos anunciando nuevos sistemas de planetas.

El instrumento MUSCAT2, en el telescopio TCS, sigue con su large survey de exoplanetas, y sus curvas de luz han sido usadas en una docena de artículos científicos sobre descubrimientos de nuevos planetas o variabilidad estelar.

### **Caracterización de las propiedades físicas y atmosféricas de los exoplanetas**

El Proyecto dispuso de tiempo de observación en diferentes instalaciones de alta resolución espectral (HARPS-N, GIANO, CARMENES y ESPRESSO) para estudiar la atmósfera de exoplanetas utilizando espectroscopia de transmisión y técnicas de correlación. Destacan el análisis de la atmósfera de XXX. En 2021 son destacables también los artículos con el espectrógrafo ESPRESSO sobre atmosferas planetarias, en los que el grupo del IAC tiene gran participación.

También se iniciaron los pasos con el editorial Springer para generar la segunda edición del Handbook of Exoplanets (editores principales H. Deeg y J.A. Belmonte), con el inicio oficial de este Proyecto a principios del 2022.

### **Misiones Espaciales**

En diciembre 2019 se produjo el lanzamiento con éxito de CHEOPS, y durante 2021 se ha continuado con la explotación científica de la misión, que responde a las expectativas esperadas. Se han publicado ya varios artículos, con decenas más en fase de preparación.

El grupo sigue activamente involucrado en la explotación de la misión TESS, que ocupa una gran parte de las labores del equipo. Se finalizó un trabajo de reidentificación de planteas descubiertos por la antigua misión CoRoT en los datos de la misión TESS.

Para las misiones PLATO y ARIEL se participa activamente en varios grupos de trabajo para su preparación, liderando nuestro grupo varios de ellos, además de una importante contribución en el PLATO Product Definition Group (PDG). Se supervisa también una contribución técnica del IAC a la misión PLATO, consistiendo en el suministro de la fuente de alimentación del Main Electronics Unit (MEU-PSU), la cual recibió financiación para su construcción.

## PEQUEÑOS CUERPOS DEL SISTEMA SOLAR (P/300004)

Julia de León Cruz.

**Javier A. Licandro Goldaracena, Vania Lorenzi, Hissa M. Lúcio Mederos, David Morate González, Alejandro Oscoz Abad, Juan L. Rízos García, Miguel Rodríguez Alarcón, Miquel Serra Ricart, Eri Tatsumi, Fernando Tinaut Ruano y Ovidiu Vaduvescu.**

N. Pinilla-Alonso, H. Campins, Y. Fernández (Univ. Central Florida, UCF, EEUU); J.L. Rízos García (Univ. de Maryland, EEUU); F. Vilas (Planetary Space Inst., EEUU); P. Abel (NASA Johnson Space Center, EEUU); A. Rivkin (John Hopkins Univ. EEUU); C. Thomas (Univ. de Arizona, EEUU); M. Popescu (Inst. de Astronomía, Rumania); P. Michel, P. Tanga, B. Carry (Obs. de la Côte d'Azur OCA, Francia); P. Pravec (Astronomical Inst. Academy of Sciences; Rep. Checa); C. Snodgrass (Univ. de Edinburgo, Reino Unido); A. Fitzsimmons (Queen's Univ. Belfast, Irlanda), J. Carvano, D. Lazzaro (Obs. Nacional, Brasil); J. Fernández (Univ. de Uruguay); F. Moreno, L. Lara, J.L. Ortiz (IAA); C. de la Fuente Marcos, R. de la Fuente Marcos (UCM); A. Álvarez Candal, A. Campo Bagatin (Univ. de Alicante).

### Introducción

Este Proyecto (grupo de Sistema Solar) estudia las propiedades físicas y composicionales de los llamados pequeños cuerpos del Sistema Solar, que incluyen asteroides, objetos helados y cometas. Entre los grupos de mayor interés destacan los objetos trans-neptunianos (TNOs), incluyendo los objetos más lejanos detectados hasta la fecha (Extreme-TNOs o ETNOs); los cometas y los objetos transicionales cometa-asteroide (Centauros y los llamados Main Belt Comets o MBCs); y los asteroides primitivos. Los dos últimos grupos contienen el material más primordial y prístino del Sistema Solar y son claves para comprender su origen y evolución. Los estudios de composición superficial y propiedades físicas y térmicas de estos cuerpos se llevan a cabo utilizando espectroscopia en un amplio rango de longitudes de onda (desde 0.35 a 24 micras), así como imagen y fotometría en el mismo rango. Los datos se interpretan utilizando modelos de scattering y termo-físicos. El Proyecto trabaja además en el análisis de las propiedades físicas de los núcleos cometarios y de las propiedades del polvo y el gas en las comas cometarias, muy especialmente en el estudio

del polvo en las colas de los MBCs y de los mecanismos por los cuales se emite.

Se está liderando el estudio de los asteroides primitivos: la IP del Proyecto es además IP (junto con la N. Pinilla-Alonso) de un survey espectroscópico (visible e infrarrojo cercano) de asteroides primitivos (PRIMitive Asteroid Spectroscopic Survey - PRIMASS), que ha obtenido hasta la fecha más de 700 espectros que se están subiendo al Small Bodies Node del NASA Planetary Data System. El grupo está además muy enfocado en el estudio de los asteroides que se acercan a la órbita de la Tierra (near-Earth asteroids o NEAs), así como los considerados potencialmente peligrosos (Potentially Hazardous Asteroids o PHAs). Como consecuencia tiene una participación muy activa tanto en misiones de estudio y caracterización in-situ de asteroides (OSIRIS-REX, Hayabusa2) como desde el punto de vista de defensa planetaria (DART y Hera).

Entre las actividades que se llevan a cabo, destacan:

- Ser miembros del Image Processing Working Group de la misión de NASA OSIRIS-REX.
- Ser miembros de la misión Hera de la ESA (aprobada en noviembre de 2019), en la que la IP del grupo es responsable del Grupo de Trabajo Observaciones Remotas (WG2) y responsable del instrumento HyperScout-H, a bordo de la nave.
- Participar en los proyectos de estudio de NEAs, financiados por la UE H2020, NEO-ROCKS y NEO-MAPP, junto con 14 instituciones europeas.
- Pertener al Center for Lunar and Asteroid Surface Science (CLASS, NASA).
- Participar en los surveys J-PLUS y J-PASS, en los que se trabaja en la explotación de las observaciones de objetos del Sistema Solar.
- Pertener a los grupos de trabajo de Sistema Solar de los telescopios Gaia, Euclid y JWST.

### Hitos

Obtención de un total de 839.000,00 € (Infraestructuras, Ref. EQC2021-007122-P) para la adquisición del hardware y la construcción de un telescopio para la red ATLAS en el Observatorio del Teide (OT), uno de los surveys más importantes de NEAs.

Participación de la IP del grupo como uno de los dos IPs del instrumento TAJINASTE, que irá a bordo del micro-satélite IACSAT, para entre



otros, la observación desde el espacio de asteroides primitivos en el UV cercano.

Participación en el único Long Program del JWST que ha obtenido tiempo (98.2 h) en el Cycle 1, "DiSCO-TNOs: Discovering the composition of the trans-Neptunian objects, icy embryos for planet formation" (IP: N. Pinilla-Alonso).

## Desarrollo y resultados

### Desarrollo

Durante 2021 se continuó con la actividad investigadora realizada en 2020, potenciando las líneas dedicadas al estudio de las propiedades físicas y composicionales de los asteroides primitivos, tanto NEAs como asteroides del cinturón principal. Se ha obtenido financiación para continuar con esta investigación tanto del Gobierno de Canarias (proyecto CAMINA 2, Ref. ProID2021010134) como del Plan Nacional (Proyecto MinHiCAP, Ref. PID2020-120464GB-I100). Las principales actividades han sido:

- Continuación del estudio de objetos transicionales (MBCs).
- Participación en misiones espaciales (OSIRISREx, Hayabusa2, DART, Hera). La IP del Proyecto se ha incorporado en 2021 al Grupo de Trabajo "Origin of Phobos and Deimos" OPD, de la misión de JAXA MMX (Martian Moons eXploration), prevista para 2025-2026.
- La explotación de grandes bases de datos (data mining), como J-PLUS y VISTA.
- La participación en telescopios espaciales (Gaia, JWST, Euclid).
- El estudio de los ETNOs y de cometas en órbitas hiperbólicas.

Además de la participación del grupo en dos proyectos financiados por la UE, NEOROCKS (Grant no. 870403) y NEO-MAPP (Grant no. 870377) dentro del llamado de H2020 *Advanced research in Near-Earth Object (NEOs) and new payload technologies for planetary defence (SU-SPACE-23-2019)*, así como en un proyecto financiado dentro del programa de ESA P3-NEO-I *Observational support from collaborating observatories*, en 2021 se ha reforzado el liderazgo en el estudio de NEAs mediante la obtención de un proyecto para la adquisición de equipamiento científico-técnico (Subprograma Estatal de Infraestructuras de Investigación y Equipamiento Científico-Técnico), financiado con 839.000,00 € (EQC2021-007122-P), para la adquisición del *hardware* y la construcción de un telescopio para la red

ATLAS en el Observatorio del Teide (OT), uno de los *surveys* más importante de NEOs.

### Resultados

En 2021 se han publicado 33 artículos en revistas internacionales con árbitro, y presentado 46 contribuciones (orales y posters) en congresos de ámbito nacional e internacional, a pesar de las restricciones y los problemas derivados de la declaración de emergencia por COVID-19.

### OSIRIS-REx

La actividad en relación a esta misión durante 2021 ha ido disminuyendo de forma progresiva tras la recogida de material de la superficie de Bennu en diciembre de 2020 y el inicio de la fase de retorno a la Tierra en marzo de 2021. El grupo participó en el artículo publicado en *Nature Astronomy* que presentó la detección de material exógeno en la superficie de Bennu (Della Giustina et al 2021) y se publicó un artículo relacionado en el que estudiamos de forma más general la presencia de este material (Tatsumi et al. 2021b). Por último, el Dr. Rizos-García, que terminó su contrato PoP en el IAC en abril de 2021, publicó el resultado principal de su tesis doctoral en la revista *Icarus* (Rizos et al. 2021), un trabajo donde aplicó técnicas de *clustering* espectral a las imágenes de la superficie de Bennu obtenidas con el instrumento MapCam.

### Hayabusa2

En 2021, a través de E. Tatsumi, hemos participado en las publicaciones derivadas de la misión, y en concreto en las que tienen que ver con las imágenes y los mapas de color de Ryugu con las cámaras del instrumento ONC-T, del que E. Tatsumi es Co-I. Además, E. Tatsumi lideró un artículo publicado en *Nature Astronomy* donde presentó la detección de material exógeno en la superficie de Ryugu (Tatsumi et al. 2021a), de forma coordinada con el artículo de DellaGiustina et al (2021) sobre Bennu. En 2021 E. Tatsumi publicó otro trabajo a *Nature Comm.* donde presentó el estudio de los efectos del *space weathering* en los materiales que abundan en la superficie del asteroide (Tatsumi et al. 2021c).

### Hera/DART

La mayor parte del 2021 se ha dedicado al trabajo del grupo de operaciones (órbita y trayectoria), a la consolidación de los grupos de trabajo y la definición definitiva del equipo científico de la misión. Se llevaron a cabo observaciones desde tierra del target de la misión, el asteroide Didymos, durante su aparición



de 2021. Estas medidas fueron fundamentales para terminar de definir la trayectoria de la nave DART, lanzada en noviembre de 2021. Se preparó y envió un artículo recopilando todas las observaciones fotométricas, actualmente en proceso de revisión (Pravec et al. 2022).

### PRIMASS

Se obtuvieron nuevos espectros y se completó la primera parte del proceso de archivo de la librería PRIMASS-L en el PDS de NASA (PRIMASS-L Spectra Bundle V1.0). Se finalizó el desarrollo del software de análisis de espectros (CANA) en Python (M. De Prá). Se publicaron los espectros en el NIR de los asteroides de la familia de Chaldaea (Arredondo et al. 2021a), Sulamitis (Arredondo et al. 2021b) y el background de asteroides primitivos de la zona interior del cinturón (Arredondo et al. 2021c), constituyendo estos tres artículos el núcleo principal de la tesis doctoral de Anicia Arredondo (University of Central Florida).

### J-PLUS

Se ha publicado en 2021 el primer catálogo de objetos en movimiento (*Moving Objects Observed from Javalambre MOOJa*) extraído del survey J-PLUS, con colores en 12 filtros en el rango visible de más de 3.000 asteroides. Este trabajo ha sido liderado el post-doc, el D. Morate González (Morate et al. 2021).

### JWST

Miembros del grupo participan como co-I en la única propuesta de tipo Long Program (ID. 2418) que ha obtenido tiempo de observación (un total de 98.2 h) con el JWST. Se trata de "DiSCo-TNOs: Discovering the composition of the trans-Neptunian objects, icy embryos for planet formation" (IP: N. Pinilla-Alonso), cuyo objetivo es obtener espectros con NIRSpec de un total de 59 TNOs y Centauros. Además, se envió otra propuesta de observación para el Cycle-1 del JWST (IP: J. de León), que no obtuvo tiempo.

### Objetos transicionales/cometas

Durante 2021 se ha continuado con el estudio de estos objetos, principalmente a través de observaciones con el telescopio GTC, como los asteroides activos P/2019 A4 y P/2021 A5 (Moreno et al. 2021); el cometa co-orbital de Júpiter P/2019 LD2 (Licandro et al. 2021); o el centauro 2020 MK4 (de la Fuente Marcos et al. 2021).

### Asteroides Primitivos en el UV cercano

En 2021 se ha dado un paso importante en el estudio de los asteroides primitivos en el rango del UV-cercano (0.35 0.5 micras). Además

de conseguir finalmente tiempo de observación para comenzar con la obtención de datos desde telescopios terrestres, se ha iniciado una colaboración con la F. Vilas (Planetary Space Inst., EEUU), que realizó una estancia de mes y medio en el IAC dentro del programa de visitantes Jesús Serra (Severo Ochoa), y con A. Hendrix, de la misma institución, para solicitar tiempo de observación con el HST en el UV. El estudiante de tesis F. Tinaut-Ruano ha comenzado el análisis de datos del satélite Iapetus obtenidos con la sonda Cassini en el UV, y ha obtenido una beca para trabajar un mes en ESAC (Madrid) con datos del HST. Finalmente, la IP del grupo, J. de León Cruz, ha sido seleccionada junto con A. Suárez Mascareño, como IP's del instrumento TAJINASTE, que será desarrollado por el IAC para ir a bordo del primer micro-satélite (IACSAT) diseñado y fabricado enteramente el instituto, y que realizará observaciones desde el espacio en el visible y el UV-cercano (0.25 0.45 micras) de, entre otros, asteroides primitivos.

### NEAs

En 2021 se ha continuado con el trabajo que se viene realizando en relación con esta población de asteroides. Se obtuvo tiempo de observación en los telescopios GTC, NOT e INT para obtener espectros en el rango visible, proporcionando un mínimo de 1 espectro al mes dentro del programa P3NEOI de ESA. Esta tarea está siendo liderada por el D. Morate González, que se incorporó al IAC en septiembre de 2020, con un contrato postdoctoral financiado con el Proyecto P3NEOI. Además, como parte del Proyecto NEOROCKS, el IAC es responsable de la Tarea 3.5, en la que debe proporcionar soporte observacional a las observaciones de NEAs con el telescopio de Arecibo: espectros en el rango visible, colores y curvas de luz, así como astrometría de forma puntual, de aquellos objetos que ya tenían datos de radar de buena SNR y que aún no han sido publicados. Este trabajo lo lidera la Dra. H. Lúcio Medeiros. A mediados de 2021 se aprobó una extensión de un año del Proyecto NEOROCKS, debido a los retrasos y los problemas provocados por la situación de COVID-19. Por último, en el estudio de NEAs, hay que destacar la obtención de colores en el visible usando el instrumento MuSCAT2 en el telescopio TCS, programa liderado por el M. Popescu, colaborador externo del grupo, con más de 250 asteroides observados hasta la fecha y un artículo en preparación.

# FÍSICA ESTELAR E INTERESTELAR

## ABUNDANCIAS QUÍMICAS EN ESTRELLAS (P/301008)

Carlos Allende Prieto.

David García Álvarez, Iveth Gaspar Gorostieta, Jonay González Hernández, Yeisson Martínez Osorio y R. Rebolo López.

Colaboradores del IAC: Andrés Asensio Ramos, Juan Calvo Tovar, Jorge Casares Velázquez, Claudio Dalla Vecchia, Domingo A. García Hernández, Ramón García López, Francisco Garzón López, María F. Gómez Reñasco, Félix Gracia Temich, E. Joven Álvarez, Francisco S. Kitaura Joyanes, José A. López Aguerri, Martín López Corredoira, Thomas Masseron, Andrea Perdomo García, Ángel M. Vicente Garrido y Nikola Vitas.

I. Hubeny (Univ. de Arizona, EEUU); D.S. Aguardo (Univ. de Florencia, Italia); M. Shetrone (Univ. de California Obs., EEUU); S. Majewski (Univ. de Virginia, EEUU); R. Schiavon (Univ. de Liverpool, Reino Unido); J. Holtzman (Univ. de Nuevo México, EEUU); H.G. Ludwig (Univ. de Heidelberg, Alemania); C. del Burgo (INAOE, México); T. Beers (Notredame, EEUU); V.S. Smith, K. Cunha (NOAO, EEUU); Y. Sun Lee (Chungnam National Univ., República de Corea); M. Cropper, D. Kawata (Univ. College London, Reino Unido); M.T. Belmonte (Univ. de Valladolid); D. Souto (Univ. Federal de Sergipe, Brasil); C. Rockosi (Univ. de California, EEUU); A. Cooper (Univ. Tsing Hua, Taiwán); B. Gaensicke (Univ. de Warwick, Reino Unido); R. Ezzeddine (Univ. de Florida, EEUU); S. Koposov (Univ. de Edinburgo, Reino Unido); M. Akhlaghi (CEFA).

### Introducción

La espectroscopia de estrellas permite determinar las propiedades y composiciones químicas de las mismas. A partir de esta información para estrellas de diferente edad en la Vía Láctea es posible reconstruir la evolución química de la Galaxia, así como el origen de los elementos más pesados que el boro, forjados principalmente en los interiores estelares. También es posible estudiar la formación estelar, y la de la propia Galaxia, a través de la

huella que deja el potencial galáctico en las órbitas de las estrellas, y de las distribuciones de masa, edad y la abundancia de elementos pesados.

La obtención de espectros con alta resolución espectral, apropiados para estudios de la composición química, requiere instrumentación sofisticada y eficiente. Esto es especialmente cierto en investigaciones en las que se necesitan extensas muestras de estrellas, que exigen observar cientos, o incluso miles de fuentes de forma simultánea. El procesado y análisis de los datos debe ser automatizado para ser igualmente eficiente.

La interpretación de los espectros se basa en modelos físicos de las atmósferas de las estrellas, de donde se escapa la luz que observamos. Los ingredientes fundamentales para la construcción de estos modelos son la dinámica de fluidos, y las propiedades de los átomos, iones y moléculas, especialmente en lo que se refiere a sus interacciones con la radiación que proviene del interior estelar. Una vez que se tiene un modelo plausible, es posible calcular de forma detallada cómo se propaga la radiación a través de la atmósfera estelar, y el espectro emergente, para, de forma iterativa, compararlo con las observaciones y refinar el modelo.

Este Proyecto incluye tres diferentes frentes de investigación:

- La mejora de los modelos de atmósfera y las simulaciones de espectros estelares.
- El desarrollo de herramientas para la obtención, reducción y el análisis de observaciones espectroscópicas, y en particular para la determinación de abundancias químicas en estrellas.
- El diseño, preparación, y ejecución de estudios espectroscópicos de estrellas con el fin de entender: los aspectos más relevantes de la física de las atmósferas estelares, la formación y evolución de las estrellas, el origen de los elementos químicos y la formación, estructura y evolución química de la Vía Láctea.

## Hitos

Realización y publicación del catálogo definitivo del Proyecto APOGEE, con velocidades radiales, parámetros atmosféricos y abundancias químicas para más de 20 elementos, para más de 700.000 estrellas.

Análisis de más de medio millón de espectros de la puesta a punto y verificación científica del instrumento DESI.

Asignación de tiempo de observación en el telescopio espacial James Webb.

## Desarrollo y resultados

### *Mejora de los modelos de atmósfera y las simulaciones de espectros estelares*

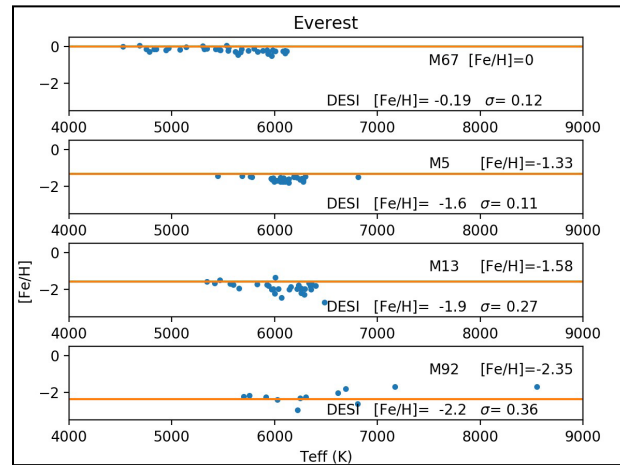
En este año se han actualizado los cálculos de espectros teóricos a partir de simulaciones 3D con el código CIFIST. Estos cálculos son más consistentes que los realizados anteriormente con las mismas simulaciones, y además se han extendido para la evaluación de la variación centro-limbo, que tiene numerosas aplicaciones.

Se han extendido notablemente las capacidades del código de síntesis espectral Synple ([github.com/callendeprieto/synple](https://github.com/callendeprieto/synple)), actualizando también la versión de Synspec que incluye, con nuevas listas de líneas atómicas y moleculares, así como con nuevas subrutinas para el cálculo de tablas de opacidades y el manejo de modelos NLTE.

También hemos participado en la actualización del código TLUSTY, que ahora puede combinar cálculos NLTE para ciertas especies, con opacidades precalculadas en LTE para otras. Esta nueva versión del código se ha hecho pública, acompañada de documentación detallada.

### *Desarrollo de herramientas para la obtención, reducción y análisis de observaciones espectroscópicas*

Se han implementado numerosas mejoras en el código de análisis de espectros estelares para el Proyecto DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument), piferre ([github.com/callendeprieto/piferre](https://github.com/callendeprieto/piferre)), así como en FERRE ([github.com/callendeprieto/ferre](https://github.com/callendeprieto/ferre)). Estas mejoras se han probado en datos reales, más de medio millón de espectros de DESI, que incluyen las observaciones realizadas durante la verificación científica del instrumento. Las pruebas indican consistencia con las medidas de metalicidad de referencia para varios cúmulos abiertos y globulares observados, como se muestra en la figura.



**Determinaciones de metalicidad en estrellas de cúmulos observadas por DESI. Las líneas horizontales marcan los valores de referencia de la literatura.**

### *Diseño, preparación y ejecución de estudios espectroscópicos de estrellas*

Se ha completado y hecho pública la última entrega del catálogo definitivo SDSS DR17 de parámetros estelares y abundancias químicas de APOGEE (Apache Point Galactic Evolution Experiment). El catálogo incluye resultados para más de 700.000 estrellas. El análisis, como en todas sus versiones anteriores, se basa en el código FERRE, desarrollado en el IAC. En esta nueva versión se incluyen modelos con poblaciones NLTE para los elementos Na, Mg, K y Ca, calculados con nuevos modelos de átomo, también desarrollados en el IAC, y el código TLUSTY.

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE NEBULOSAS IONIZADAS (P/308614)

Jorge García Rojas.

Romano Corradi, César Esteban López, David Jones, Antonio Mampaso Recio y José E. Méndez Delgado.

K. Arellano-Córdova (Univ. de Texas, EEUU); B. Balick (Univ. Washington, EEUU); H. Boffin (ESO, Alemania); F. Bresolin (IfA, Hawai, EEUU); L. Carigi, C. Morisset, M. Peimbert, M. Peña, L. Sabin (IA-UNAM, México); G. Domínguez-Guzmán, M. Rodríguez (INAOE, México); J. Drew (Univ. Hertfordshire, Reino Unido); X. Fang (Univ. de Hong-Kong); D.R. Goncalves (Obs. Volongo, Brasil); R. Greimel (Univ. Graz, Austria); T. Hillwing (Univ. Valparaiso, Chile); T. Liimets (Obs. Tartu, Estonia); A.R. López Sánchez (AAO, Australia); U. Magrini, U. Munari (INAF, Italia); M. Miller Bertolami (UNLP, Argentina); B. Mizalski (SALT, Sudáfrica); H. Monteiro (Univ. de Itajubá, Brasil); A. Prsa (Univ. Villanova, EEUU); M. Santander García (OAN); G. Stasinska (Obs. Paris-Meudon, Francia); N.C. Sterling (Univ. de West Georgia, EEUU); H. Van Winkel (KU Leuven, Bélgica); E. Villaver (UAM); R. Wesson (University College, Londres, Reino Unido) S. Akras (NOA, Grecia).

### Introducción

La investigación que llevará a cabo el grupo se puede condensar en dos grandes líneas:

- Estudio de la estructura, condiciones físicas y composición química de las nebulosas ionizadas, tanto galácticas como extragalácticas, a través del análisis detallado y modelización de sus espectros. Investigación de los gradientes de composición química a lo largo del disco de nuestra galaxia y en galaxias cercanas. Estudio detallado de las implicaciones de los resultados obtenidos en los modelos de evolución química de galaxias. Estudio de la influencia de estructuras a pequeña escala (proplyds, objetos HH) en la determinación de condiciones físicas y abundancias químicas en espectros integrados de regiones HII.
- Determinar las condiciones físico-químicas de nebulosas planetarias tanto galácticas como extragalácticas. Se pone especial énfasis en nebulosas planetarias con estrellas centrales binarias con el fin de entender la influencia de la binariedad en la morfología y la cinemática nebular y poner a prueba los modelos teóricos. En este sentido, el proyecto dedica un esfuerzo especial a la búsqueda de nuevas estrellas centrales binarias en nebulos-

sas planetarias y a la caracterización detallada de sus parámetros estelares. Por último, se estudian las implicaciones de la evolución de los sistemas binarios en otros escenarios astrofísicos, como la formación de jets, las variables cataclísmicas y las explosiones de tipo nova y supernova.

### Hitos

Se ha encontrado que las nebulosas planetarias en el extremo de la Función de Luminosidad de Nebulosas Planetarias en M31 son notablemente similares entre sí, siendo nebulosas moderadamente densas, que parecen descender de progenitores con masas iniciales alrededor de 1.5 masas solares. Estos resultados concuerdan con los de modelos de evolución estelar recientes.

### Desarrollo y resultados

Durante 2021, se ha avanzado en los siguientes puntos relativos al Proyecto.

Se finalizó el análisis del espectro de alta resolución del objeto Herbig-Haro HH204 de la nebulosa de Orión. La excepcional resolución espectral (datos de UVES-VLT) y espacial (datos de HST) y profundidad de los datos ha permitido aislar cinemáticamente la componente de gas a alta velocidad de la emisión de fondo de la nebulosa, permitiendo realizar un estudio de la distribución (a escalas menores al segundo de arco) de las condiciones físicas y abundancias químicas a lo largo del objeto HH. Ello ha permitido concluir que la emisión de baja y media ionización proviene de gas en equilibrio de fotoionización, mientras que la emisión altamente ionizada detectada en HH204 presenta una contribución importante de gas excitado por choques. También se ha logrado separar la emisión de la débil "capa difusa azul" y determinar sus condiciones físicas y abundancias iónicas. Se encuentra que, en caso de no resolver las distintas componentes cinemáticas, se pueden cometer errores en la determinación de la abundancia fundamental de oxígeno de hasta un 40%, principalmente debido a una determinación incorrecta de la densidad electrónica.

Se está finalizando la escritura de un artículo basado en datos UVES-VLT del objeto HH514 que presenta el gas a mayor velocidad con respecto al gas de fondo en la muestra de objetos HH de Orión. Se encuentra que prácticamente todo el polvo ha sido destruido por la onda de choque en este objeto HH, permitiendo estimar, por primera vez, abundancias totales de elementos refractarios como el hierro



y el níquel, encontrado valores similares a los valores solares.

Se ha finalizado un trabajo de re-evaluación de los gradientes de abundancia radial de He, C, N, O, Ne, S, Cl y Ar en la Vía Láctea usando espectros ópticos profundos de Regiones HII de la base de datos de observaciones del grupo. Con estos datos, se ha explorado el impacto en los gradientes de las nuevas determinaciones de distancia basadas en los paralajes de Gaia EDR3 y el uso del paradigma de las fluctuaciones de temperatura de Peimbert ( $t_2 > 0$ ) para derivar las abundancias iónicas. Los resultados del trabajo son muy interesantes pues confirman que las distancias cinemáticas basadas en curvas de rotación galáctica calibradas con radio-paralajes, son más consistentes a las obtenidas con Gaia EDR3 que las calibradas con distancias estelares espectrofotométricas. También se ha encontrado que los valores de abundancias y gradientes determinados asumiendo  $t_2 > 0$  dan abundancias elementales muy consistentes con las solares para la mayoría de los elementos. Por último, se presentan evidencias de que el gas de las regiones HII está bien mezclado en las zonas de la galaxia muestreadas.

Se está finalizando la escritura de un artículo de respuesta por parte del grupo a un trabajo aparecido en Nature (De Cia et al. 2021) en el que se afirma que el gas neutro en la vecindad solar presenta grandes inhomogeneidades químicas. Dichos autores sugieren la caída de gas prístino al disco de la galaxia (en forma de nubes de alta velocidad) que no se ha mezclado eficientemente como origen de dichas inhomogeneidades. Estos resultados están en clara contradicción con lo encontrado en Regiones HII, y en distintos objetos de Población I, así como en los datos observaciones sobre metalicidad en nubes de alta velocidad y en las predicciones de los modelos hidrodinámicos que simulan la mezcla de dichos objetos.

Se publicó el análisis de los datos MUSE de tres nebulosas planetarias con alta discrepancia de abundancias. En este trabajo se ha corregido de la contribución por recombinación al flujo de las líneas aurales de [N II] y [O II]. Se han construido mapas de Te usando diagnósticos de recombinación, encontrando gradientes de temperatura hacia el interior de todas las nebulosas, con valores extremadamente bajos en las zonas centrales. También se han construido, por primera vez de forma simultánea, mapas de la discrepancia de abundancias de O+ y O++, encontrándose un aumento muy significativo en las zonas centrales que coincide espacialmente con las zonas de baja tem-

peratura, reforzando la hipótesis de la existencia de dos componentes del gas muy diferenciadas. Por último, se propone un esquema para evaluar la contribución de cada componente a la emisión de H I y, por tanto, calcular de forma adecuada las abundancias en cada componente. Para la realización de este trabajo, se han usado técnicas de "Machine Learning" (ML) muy eficientes. Este trabajo se realizó en estrecha colaboración con C. Morisset que estuvo de estancia tres meses financiado por el Proyecto Severo Ochoa del IAC.

Se han reducido casi por completo todos los datos de MEGARA disponibles en el grupo, tanto de nebulosas planetarias, como de objetos Herbig-Haro y galaxias enanas. El principal problema con el que se ha encontrado es la falta de flats de cielo para poder trazar correctamente las fibras en la configuración más azul (LR-U) Se ha solventado por parte de GTC para alguna de las propuestas, pero aún estamos a la espera de las calibraciones adicionales para las propuestas de objetos HH y galaxias enanas.

Se ha participado en dos artículos relacionados con el descubrimiento de nuevas estrellas binarias en nebulosas planetarias usando datos de Gaia y de Kepler/K2.

Se continúa trabajando en la caracterización de varios sistemas binarios usando datos muy precisos de velocidad radial y fotometría (en algunos casos con datos del satélite TESS). Estos datos se usan como entrada para el código de modelado PHOEBE2, en el que el D. Jones también participa en su desarrollo y mantenimiento. Se ha finalizado el trabajo de la caracterización del sistema central de la NP Ou5 (el artículo ha sido aceptado recientemente). El estudio del sistema de la NP Necklace, así como de las abundancias de la nebulosa obtenidas a través de espectros UV obtenidos con el HST, con el fin de caracterizar su contenido en C, se encuentra en una fase avanzada.

Se ha continuado trabajando en el descubrimiento y caracterización de oscilaciones en sistemas binarios y en enanas blancas. Un resultado importante de este trabajo es el descubrimiento de pulsaciones afectadas por efectos de marea en un sistema binario muy cercano.

Se ha publicado un trabajo en el que se han estimado distancias usando los flujos en H alfa en nebulosas planetarias del catálogo IPHAS, flujos publicados en radio y usando distintos algoritmos para determinar mapas de extinción 3D. Comparando con las determinaciones fiables de distancia obtenidas para una

fracción de la muestra con Gaia, se encuentra que uno de los algoritmos usados (H-MEAD) es el que provee distancias más consistentes con las determinadas usando Gaia.

Se ha retomado el trabajo sobre determinación de abundancias precisas a partir de espectros muy profundos de regiones HII en las Nubes de Magallanes. Se espera que este trabajo (dividido en dos artículos) finalice durante 2022.



## ESTRELLAS BINARIAS (P/308807)

Pablo Rodríguez Gil.

Ayose Álvarez Hernández, María J. Arévalo Morales, Montserrat Armas Padilla, Jorge Casares Velázquez, Vikram Dhillon, Ignacio González Martínez-Pais, Paula Izquierdo Sánchez, Carlos Lázaro Hernando, Teodoro Muñoz Darias, Manuel Pérez Torres y Tariq Shahbaz e Idaira Yanes Rizo.

**Colaboradores del IAC: Carlos Allende Prieto, Roi Alonso Sobrino, David Jones.**

B.T Gänssicke, T.R. Marsch, D. Steeghs, M. Green, O Toloza, C. Manser, M. Hollands (Univ. de Warwick Reino Unido); S. Littlefair, S. Parsons (Univ. Sheffield, Reino Unido); K. Burdge, T.A. Prince (Caltech, EEUU); J. Ren (Univ. de Pekín, Rep. Popular China); P. Jonker (SRON, Países Bajos); T. van Grunsven (Nijmegen, Países Bajos); S. Gómez M. López Morales (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, EEUU); E. Bredt (Univ. de Cambridge, Reino Unido); L. Schmidtobreick, J.M. Corral-Santana (ESO, Chile); A. Pala (ESO, Garching, Alemania); K. Gazeas (Univ. Atenas, Grecia); G.C. Anupama (Indian Inst. of Astrophysics, India); S.B. Potter (SAAO, Sudáfrica); W. Skidmore (Thirty Meter Telescope, Caltech, EEUU); P. Hakala (Univ. de Helsinki, Finlandia); P.A. Charles (Univ. de Southampton, Reino Unido); K. Long (Space Telescope Science Institute, EEUU); M. Hernanz, G. Sala, N. Elías de la Rosa (Inst. Estudios Espaciales de Cataluña); A. Rebassa-Mansergas (UPC); R. Iglesias Marzoa (Univ. de La Laguna); P. Abraham (Obs. Konkoly, Hungría).

### Introducción

El estudio de las estrellas binarias es una parte esencial de la astrofísica estelar. Una gran parte de las estrellas de la Galaxia se ha formado en sistemas binarios o múltiples, por lo que entender la estructura y evolución de estos sistemas es importante desde el punto de vista estelar y galáctico. Un aspecto donde las binarias juegan un papel fundamental es en la determinación de parámetros estelares absolutos, siendo la única fuente de valores precisos para los radios y las masas estelares.

### Líneas de trabajo:

- Estudio de variables cataclísmicas con periodos orbitales cortos y de variables cataclísmicas magnéticas (polares intermedias). Va dirigido a entender las estructuras de acreción que se forman a consecuencia de la transferencia de masa, así como su evo-

lución. Entre los objetivos se pretende corroborar o desmentir las predicciones que hace la teoría estándar de evolución de estos sistemas binarios. Con este fin, se llevan a cabo estudios de poblaciones tanto en la región cercana al mínimo periodo orbital observado (~ 80 min), como en la frontera superior del “hueco de periodos”, el intervalo de periodos orbitales comprendido entre 3 y 4.5 horas. Se están realizando medidas de las masas de estos sistemas durante estados de cese temporal de la acreción, cuando la desaparición del disco permite la observación de ambas estrellas del sistema. Además, los estudios dinámicos que se están haciendo de polares intermedias pondrán a prueba los modelos espectrales en rayos X que hasta el momento se usan para estimar las masas de las enanas blancas magnéticas. Estos proyectos cuentan con amplia colaboración internacional, y requieren observaciones con telescopios de clase 8-m, como el VLT y Gemini, y el GTC de 10.4 m.

- Búsqueda y estudio de remanentes postplanetarios alrededor de enanas blancas, que puede beneficiarse de la experiencia de los estudios de discos de acreción en las variables cataclísmicas. Esta línea se centra en la búsqueda de elementos metálicos provenientes de estos remanentes en las atmósferas de enanas blancas, que reflejan la composición de los sistemas planetarios primigenios.
- Estudio de estrellas binarias progenitoras de nebulosas planetarias. Uno de los posibles efectos que podrían esculpir una nebulosa planetaria bipolar es la órbita de una estrella binaria central, que contiene al menos una enana blanca. Por tanto, se busca una correlación significativa “bipolaridad-binaria” a partir de su estudio.
- La determinación de parámetros absolutos en binarias eclipsantes de tipo Algol. Desde 2006 se trabaja en la determinación precisa de sus parámetros absolutos estelares en el rango de la secuencia principal poco masiva, mal conocidos, y poner a prueba los modelos de atmósferas estelares para estrellas M más modernos.

### Hitos

Publicación en *MNRAS* de la primera medida dinámica de las masas de las estrellas en el sistema GK Per (Nova Persei 1901). Se demuestra que las masas de las enanas blancas en este tipo de sistemas magnéticos, obtenidas me-

dian­te la modelización de espectros en rayos X, han de ser revisadas.

En su tesis, P. Izquierdo mide los parámetros fotosféricos de 13 enanas blancas DBA contaminadas por metales usando diferentes técnicas, datos y composiciones químicas de los espectros sintéticos para explorar los errores sistemáticos en los resultados. Las conclusiones muestran que los trabajos anteriores subestiman las incertidumbres en los parámetros fotosféricos.

Publicación en *MNRAS* de las abundancias de los metales que contaminan la fotosfera de la enana blanca GD424, provenientes de desechos planetarios, que cuadran con las condritas CI o con las del manto y el núcleo de la Tierra. Se encuentra una cantidad ingente de hidrógeno por la incorporación de material con alto contenido en agua.

### Desarrollo y resultados

Durante 2021 se han publicado 23 artículos, 4 de ellos liderados por miembros del Grupo de Investigación. Se ha obtenido financiación por un total de 70.000 € del Gobierno de Canarias (IP M. Armas Padilla, cols P. Rodríguez-Gil e I. González Martínez-Pais).

La tesis de P. Izquierdo Sánchez se encuentra en trámite de depósito en la Univ. de La Laguna ULL y las tesis de A. Álvarez Hernández e Idaira Yanes Rizo se desarrollan de acuerdo a lo planificado.

La Univ. de Warwick (Reino Unido) ha ofrecido un contrato postdoctoral a P. Izquierdo Sánchez.

Variables cataclísmicas: Se ha publicado el artículo del estudio dinámico de GK Per (Nova Persei 1901) y se ha progresado significativamente en el análisis de otras dos cataclísmicas magnéticas, XY Ari y DO Dra, también parte de la tesis doctoral de A. Álvarez Hernández. El análisis e interpretación de las observaciones de WX Ari en estado de acreción suspendida han avanzado y se finalizarán en 2022.

Se ha observado un sistema binario de sólo 51 minutos de periodo orbital con GTC/HIPERCAM, que podría ser el eslabón perdido entre las variables cataclísmicas y las binarias ultracompactas ricas en helio. El artículo será enviado a *Nature*.

Enanas blancas contaminadas por metales de origen planetario: los resultados de GD 424, una enana blanca rica en helio contaminada por metales, fueron publicados en *MNRAS*. Además, se ha reportado la existencia de un disco gaseoso alrededor de la enana blanca

HE 1349–2305. En él, el gas describe órbitas excéntricas fruto de la dependencia radial de la fotoionización que produce la enana blanca.

## **ESTRELLAS DE BAJA MASA, ENANAS MARRONES Y PLANETAS (P/309506)**

Rafael Rebolo López.

Carlos Allende Prieto, Carlos Cardona Guillén, Patricia Chinchilla Gallego, Jonay I. González Hernández, Nicolás Cedric Lodieu, Manuel Mallorquín Díaz, Eduardo Martín Guerrero de Escalante, Thomas Masseron, Víctor J. Sánchez Béjar y Alejandro Suárez Mascareño.

### **Introducción**

El estudio de la formación de estrellas de baja masa, enanas marrones y exoplanetas es una parte muy importante de la astrofísica actual. La caracterización de las propiedades físicas de estos astros en varias etapas evolutivas es esencial. Las estrellas de muy baja masa y las enanas marrones son probablemente los objetos más numerosos de nuestra Galaxia, pero no por ello están suficientemente bien establecidas sus propiedades. En particular, los objetos subestelares constituyen uno de los grupos más difíciles de estudiar desde el punto de vista observacional dada su baja luminosidad intrínseca. Se pretende establecer la frecuencia, multiplicidad y distribución espacial de estrellas ultrafrías y objetos subestelares en la vecindad del Sol y en regiones de formación estelar y cúmulos cercanos con el fin de proporcionar información sobre los mecanismos que los originan, caracterizar sus propiedades ópticas e infrarrojas, y establecer relaciones entre sus propiedades espectrales, masas y luminosidades. Se hace especial énfasis en empujar el límite de detección de masa, bien sea como objetos ligados por atracción gravitatoria a otros, o flotando libremente en el espacio interestelar. Los objetos menos masivos también suelen ser los de menor luminosidad intrínseca y temperaturas superficiales más frías por lo que entrañan notable dificultad de detección por medio de imagen directa. Sin embargo, la detección directa permite una caracterización fotométrica y espectroscópica mucho más completa y una mejor determinación de sus propiedades físicas y químicas. También se pretende investigar la presencia de exoplanetas en estrellas de baja masa, acercándonos cada vez más al descubrimiento de otras tierras orbitando estrellas cercanas al Sol, empleando técnicas de medida de velocidad radial de muy alta precisión y técnicas de muy alta resolución espacial. Se trabaja en el desarrollo de espectrógrafos ultraestables para grandes telescopios y de sistemas de

imagen ultrarrápida. Con los primeros es posible lograr la detección de planetas con masas similares a la de la Tierra en estrellas de tipos G, K y M, con el objetivo último de encontrar otras tierras en zona de habitabilidad, de establecer la frecuencia de estos planetas en las estrellas de la vecindad solar y caracterizar las propiedades de los sistemas planetarios a los que pertenecen.

### **Hitos**

Se ha demostrado que los planetas gigantes que orbitan alrededor de la estrella V1298 Tau, de 20 millones de años de edad, alcanzaron su masa y radio más rápido de lo previsto por los modelos.

Combinando los parámetros físicos de siete enanas marrones binarias, se confirma la brusca transición de la presencia de litio en las enanas marrones. Se establece una nueva masa mínima para la combustión termonuclear de litio en enanas marrones en  $51.48 \pm 0.22 - 4.0$  Mjup, inferior a las predicciones de los cálculos teóricos.

Se han medido las masas de los planetas del sistema L 98-59, usando datos de ESPRESSO. El planeta más interior del sistema tiene tan sólo la mitad de la masa de Venus. Se ha descubierto también la presencia de dos planetas adicionales en el sistema, uno de ellos en la zona de habitabilidad.

Descubierto la presencia de una super-Tierra, de 3 masas terrestres, en órbita a la estrella M cercana GJ 740.

Descubierto un compañero de masa planetaria muy joven que presenta una fuerte emisión en H $\alpha$ , lo que podría indicar que los objetos subestelares pueden acertar gas hasta edades de unos 20 Maños.

### **Desarrollo y resultados**

Se ha descubierto una binaria espectroscópica joven en un sistema quintuple que forma parte de la Asociación Local.

Se ha llevado a cabo un estudio de las compañeras anchas de las subenanas M y L con Gaia y el Observatorio Virtual.

Se ha explorado la población de masa planetaria en la asociación de Upper Scorpius con imágenes profundas.

Demstrado que los planetas gigantes que orbitan alrededor de la estrella V1298 Tau, de 20 millones de años de antigüedad, alcanzaron su masa y radio más rápido de lo previsto por los modelos.

Se han puesto nuevas restricciones a la masa mínima para la combustión termonuclear del litio en enanas marrones.

Dentro de la colaboración HADES, hemos descubierto algunos exoplanetas de tipo superterrestre que orbitan enanas M utilizando el espectrógrafo HARPS-N en el telescopio TNG, uno de ellos en un trabajo dirigido por B. Toledo-Padrón, como parte de su tesis doctoral.

Como uno de los resultados más relevantes de la tesis de P. Chinchilla Gallego se ha publicado el descubrimiento y caracterización de una compañera ultrafría L3 en la frontera de masas planetarias, con fuerte emisión en H $\alpha$ , alrededor de una enana marrón de Beta Pictoris (Chinchilla et al. 2021).

En el transcurso de la tesis de C. Cardona Guillén, se ha descubierto una binaria espectroscópica en el Grupo de movimiento de la Local Association y ha sido caracterizada con detalle usando espectrógrafos de alta resolución como HERMES, HARPS, CAFÉ o NRES (Cardona-Guillén et al. 2021).

Se ha publicado la búsqueda en el infrarrojo medio de planetas alrededor de estrellas de la vecindad Solar de menos de 5pc con el instrumento CanariCam. Aunque no se ha encontrado ningún planeta alrededor de estas estrellas, en su mayoría estrellas M, se han realizado las observaciones más sensibles hasta la fecha y hemos podido descartar la presencia de enanas marrones más masivas que 30M $_{\text{Jup}}$  y Teff mayores que 600K, demostrando que estos objetos son raros alrededor de las estrellas de baja masa.

Dentro del desarrollo instrumental del sistema de Óptica Adaptativa del telescopio GTC (GTCAO), se están llevando a cabo las pruebas de aceptación del sistema de estrella de guía natural y se ha comenzado el diseño de la cámara IR GRANCAIN, primer instrumento de Óptica Adaptativa que se instalará provisionalmente hasta la llegada de FRIDA.

Se ha integrado y probado con éxito, junto con el front-end, el haz de fibras, diseñado y desarrollado por el equipo del IAC, del espectrógrafo NIRPS en el telescopio de 3,6 m ESO en el Observatorio de La Silla (ESO).

## NATURALEZA Y EVOLUCIÓN DE BINARIAS DE RAYOS X (P/309710)

Teodoro Muñoz Darias.

Roi Alonso Sobrino, Ayose Álvarez Hernández, María J. Arévalo Morales, Montserrat Armas Padilla, Jorge Casares Velázquez, Virginia Cúneo, Vikram Dhillon, Jonay I. González Hernández, Ignacio González Martínez-Pais, Carlos Lázaro Hernando, Guayente Panizo Espinar, Manuel Pérez Torres, Pablo Rodríguez Gil, Javier Sánchez Sierras, Tariq Shahbaz y Idaira Yanes Rizo.

Colaboradores del IAC: Josefa Becerra González, Jorge García Rojas, Artemio Herrero Davó, Garik Israelyan Shatinyan y Sergio Simón Díaz.

R. Fender, J. van den Eijnden (Univ. de Oxford, Reino Unido); T. Marsh, B. Gaensicke, D. Steeghs, M. Green, O. Toloza, C. Manser, M. Hollands (Univ. de Warwick, Reino Unido); T. Belloni, S. Campana, P. D'Avanzo, G. Ponti, S. Motta (Obs. de Brera, Italia); P. Charles, C. Knigge (Univ. de Southampton, Reino Unido); J.A. Fernández Ontiveros (CEFA); R. Breton, D. Mata Sánchez (Univ. de Manchester, Reino Unido); M. Linares (Norwegian Univ. of Science and Technology, Noruega); M. Paredes, M. Ribó (Univ. de Barcelona); J.J. Martí (Univ. de Jaén); I. Negueruela (Univ. de Alicante); P. Jonker (Univ. de Utrecht, Países Bajos); J.M. Corral-Santana, L. Schmidtbreick (ESO, Chile); D. Russell (Univ. de Abu Dhabi, Arabia Saudita); B. de Marco (Nicolas Copernicus A.C., Polonia); N. Degenaar, R. Wijnands (Univ. de Amsterdam, Países Bajos); A. de Ugarte Postigo (IAA); Y. Ueda (Univ. de Kyoto, Japón); S. Littlefair, S. Parsons (Univ. de Sheffield, Reino Unido); K. Burdge, J.A. Prince (Caltech, EEUU); J. Ren (Univ. de Pekín, República China); T. van Grunsven (Nijmegen, Países Bajos); E. Breedt (Univ. de Cambridge, Reino Unido); A. Pala (ESO, Garching, Alemania); K. Gazeas (Univ. de Atenas, Grecia); G.C. Anupama (Inst. of Astrophysics, India); S.B. Potter (SAAO, Sudáfrica); W. Skidmore (Thirty Meter Telescope, Caltech, EEUU); P. Hakala (Univ. de Helsinki, Finlandia); K. Long (Space Telescope Science Inst., EEUU); M. Hernanz, G. Sala, N. Elías de la Rosa (Inst. de Estudios Espaciales de Catalunya); A. Rebassa-Mansergas (Univ. Politécnica de Cataluña); R. Iglesias Marzoa (Univ. de La Laguna), M. López Morales, S. Gómez (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, EEUU); P. Abraham (Konkoly, Hungría).

## Introducción

Los agujeros negros y estrellas de neutrones en binarias de rayos-X son laboratorios únicos para explorar la física de estos objetos compactos. No solo permiten confirmar la existencia de agujeros negros de origen estelar a través de mediciones dinámicas de sus masas, sino que también permiten investigar el comportamiento de la materia y la radiación bajo la influencia de un campo gravitatorio extremo. De este modo, es posible estudiar la física del proceso de acreción, la forma más eficiente de producción de energía conocida. El conocimiento de este proceso es esencial para entender el Universo, jugando un papel crucial en la astronomía galáctica y extra-galáctica.

Los objetivos científicos que se persiguen son:

- Estudios de acreción y eyección. Esta línea explota una fenomenología que nuestro grupo ha descubierto recientemente y se enfoca en la relación universal existente entre el proceso de acreción en agujeros negros y los procesos de expulsión en forma de jets colimados y vientos. Se pondrá énfasis en las propiedades generales y el efecto que el viento frío que hemos descubierto en binarias de rayos-X tiene sobre todo el proceso de acreción. Investigaremos como de comunes son estos vientos, como afectan al proceso de crecimiento en el agujero negro y cuál es su relación con los jets y los vientos observados en rayos-X. Asimismo se realizarán estudios espectrales detallados en rayos X, con el fin de caracterizar los diferentes estados y geometrías de acreción en función de la luminosidad.

- Se tiene como objetivo definir la distribución de masas de agujeros negros estelares y estrellas de neutrones. Para ello medimos masas en binarias de rayos-X, continuando así nuestra ya reconocida contribución a uno de los experimentos fundamentales en la astrofísica moderna. De este modo, esperamos mejorar significativamente las distribuciones conocidas de objetos compactos, lo cual permitirá verificar modelos de explosión de supernovas y evolución de binarias compactas; además de obtener límites a la ecuación de estado de la materia nuclear. Para ello, mediremos las masas en binarias de rayos-X conocidas o recientemente descubiertas, y se intentará encontrar un gran número de nuevas binarias de rayos X en nuestra galaxia que puedan después ser estudiadas dinámicamente.

- Analizar la estructura y variabilidad de los discos de acreción alrededor de los objetos compactos en diferentes bandas espectrales (ópti-



co-rayos X). La distribución espectral durante la erupción (especialmente a altas energías) y su variación temporal es esencial para restringir los modelos de erupción y la estructura física del disco (ej. radio del disco advectivo) así como la contribución del jet a la emisión en el visible y el infrarrojo.

### Hitos

Publicación de las primeras restricciones a la masa del objeto compacto en MAXI J1659-152 (Torres et al. 2021). Este estudio prueba que el sistema alberga un agujero negro, lo que confirma que MAXI J1659-152 es la binaria de rayos X con agujero negro con el período orbital más corto, lo cual tiene importantes implicaciones sobre la evolución de estos objetos.

Estudio global en el infrarrojo medio que compara las propiedades de acreción de los agujeros negros súper masivos (cuásares) con las de los agujeros negros de masa estelar (binarias de rayos X). Este trabajo proporciona algunas de las evidencias más sólidas de que ambas poblaciones tienen estados de acreción similares (Fernández-Ontiveros & Muñoz-Darias 2021).

### Desarrollo y resultados

Durante 2021 se han producido progresos sustanciales en las principales líneas de investigación del Grupo. Se han publicado 23 artículos. De estos, el Grupo ha liderado 5 trabajos. Además, se ha dedicado importante esfuerzo a la obtención de financiación: nos ha sido otorgado un proyecto del Gobierno de Canarias, dos proyectos estatales del Plan General de Conocimiento y un proyecto Excelencia Europa (resultado de haber obtenido puntuación A, en el step-2 de una ERC-CoG en 2020). Durante 2021 se enviaron solicitudes para una ERC-AdG, un proyecto estatal de generación de conocimiento y una Marie Curie fellowship. Por lo que respecta a estudiantes de doctorado, siguen su curso las tesis de I. Yanes Rizo, G. Panizo Espinar y J. Sánchez Sierra.

Vientos en binarias de rayos X: se ha continuado con el liderazgo internacional del grupo en esta línea. Se ha liderado un artículo (Panizo-Espinar et al. 2021) y participado en varios más (incluido uno recientemente aceptado en Nature, que se publicará en 2022). Además, se han impartido dos Invited Reviews en las asambleas generales de la COSPAR y la EAS. Asimismo, durante 2021 se ha dedicado una gran cantidad de recursos a la realización y análisis de nuevas observaciones con los telescopios GTC y VLT, que serán publicadas en 2022.

Masas de agujeros negros: se publicó el primer estudio dinámico de un sistema fundamental, MAXI J1659-152, confirmando que se trata del sistema con agujero negro con el período orbital más corto de los conocidos (Torres et al. 2021). También se confirmó la naturaleza del objeto compacto (agujero negro) en el sistema MAXI J1305-704 (Mata Sánchez et al. 2021). En esta línea también se impartió una charla invitada (asamblea COSPAR) y se realizaron nuevas observaciones que serán publicadas en 2022.

Procesos de acreción. Se publicó un estudio global comparando las propiedades de los discos de acreción en agujeros negros de masa estelar y súper masivos (Fernández-Ontiveros & Muñoz-Darias 2021). Esta nueva línea se seguirá desarrollando en años venideros.

Además, se realizaron diversas actividades de divulgación, tales como charlas y artículos en periódicos.



## NUCLEOSÍNTESIS Y PROCESOS MOLECULARES EN LOS ÚLTIMOS ESTADOS DE LA EVOLUCIÓN ESTELAR (P/308615)

Domingo A. García Hernández.

Maren Brauer, Lucio Crivellari, Arturo Manchado Torres, Thomas Masseron y Olga M. Zamora Sánchez.

Colaboradores del IAC: Carlos Allende Prieto, Jorge García Rojas., Yeisson F. Martínez Osorio.

L. Stanghellini (NOAO, EEUU); E. Villaver (CAB); P. García Lario, (ESAC); G. García-Segura (UNAM, México); B. Plez (Univ. de Montpellier, Francia); A. Karakas (Mt. Stromlo Obs., Canberra, Australia); M. Lugaro, A. Yagüe (Obs. Konkoly, Hungría); D. Lambert (Univ. Austin, Texas, EEUU); P. Ventura, S. Cristallo, L. Piersanti (INAF-OAR, Roma, Italia); F. Cataldo (Obs. de Catania, Italia); S. Kwok (British Columbia Univ. Vancouver, Canadá); S. Sadjadi (HKU, Hong-Kong); R. Szczerba (Copernicus Astronomical Center, Polonia); J.M. Trigo-Rodríguez (CSIC-IEEC, Barcelona); L. Bianchi (YHU, EEUU); K. Rao (IIA, India); M. Manteiga, C. Dafonte, R. Santoveña (CITIC-UDC, La Coruña); S. Mészáros (ELTE, Hungría).

### Introducción

Las estrellas de masa baja e intermedia ( $M < 8$  masas solares,  $M_{\odot}$ ) representan la mayoría de estrellas en el Cosmos y terminan sus vidas en la Rama Asintótica de las Gigantes (AGB), justo antes de formar Nebulosas Planetarias (NPs), cuando experimentan procesos nucleosintéticos y moleculares complejos. Las estrellas AGB son importantes contribuyentes al enriquecimiento del Medio Interestelar, donde nacen nuevas estrellas y planetas (incluyendo nuestro propio Sistema Solar Temprano, SST) y a la evolución química de sistemas estelares como cúmulos globulares (CGs) y galaxias. En particular, las AGBs más masivas ( $M > 4-5 M_{\odot}$ ) sintetizan (radio)isótopos muy diferentes de los formados por AGBs menos masivas y explosiones de supernova debido a los diferentes mecanismos de nucleosíntesis. Las estrellas evolucionadas en la fase de transición entre AGBs y NPs también forman diversos compuestos orgánicos como PAHs y nanoestructuras moleculares de fullereno y grafeno, siendo un maravilloso laboratorio astroquímico. Colaboraciones astronómicas punteras como SDSS-IV/APOGEE-2 y próximas instala-

ciones espaciales como el telescopio James Webb representan un paso fundamental para entender la nucleosíntesis y los procesos moleculares en estrellas evolucionadas. Se pretende explorar la nucleosíntesis de (radio)isótopos ligeros/pesados en estrellas AGB y como éstas contribuyen a la radioactividad del SST así como a la formación/evolución de CGs y galaxias. También se pretende entender el proceso de formación “top-down” de nanoestructuras moleculares de fullereno y grafeno en estrellas evolucionadas. Finalmente, se pretende usar el telescopio espacial GALEX para descubrir estrellas binarias en NPs Galácticas.

### Hitos

Durante 2021, se han publicado 26 artículos en revistas astronómicas internacionales con referencias de alto impacto, así como un artículo en la revista de Química-Física FNCN.

Se ha encontrado que los objetos extremadamente rojos (EROS) en la Gran Nube de Magallanes posiblemente ocultan sistemas binarios con períodos orbitales de varios días y es probable que este tipo de estrellas viejas extremadamente rojas sean responsables de una gran fracción de la producción de polvo en galaxias.

Los experimentos de laboratorio demuestran que la carbonización de los asfaltenos (los compuestos orgánicos clave para este Proyecto) producen compuestos orgánicos muy similares a los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs en inglés) ampliamente observados en el espacio.

Se ha presentado un catálogo de 2035 nebulosas planetarias con su correspondiente identificación de la estrella central de entre las fuentes Gaia EDR3.

Se ha multiplicado por seis el número de estrellas de P conocidas, lo que permitirá estudiar el patrón químico de este tipo de estrellas en una muestra significativa.

Se ha revisado el algoritmo iterativo secuencial para el cálculo de las atmósferas extensas de las estrellas AGB y de la solución numérica de la ecuación de transporte radiativo bolométrica.

### Desarrollo y resultados

Durante 2021, se trabajó en la preparación del último “data release” de la colaboración SDSS-IV/APOGEE-2 (DR17, públicos en diciembre de 2021). Además, se han publicado más de una decena de trabajos con datos de SDSS-IV/APOGEE-2 y se ha preparado un catálogo de

valor añadido (VAC) que contendrá las abundancias químicas de varios elementos pesados ricos en neutrones (Ce, Yb), el cociente isotópico  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ , etc. que no son obtenidos por la maquinaria estándar. Este catálogo se hará público en enero de 2022.

Haciendo uso de los espectros en banda H de SDSS-IV/APOGEE-2, se han calculado las abundancias de fósforo en estrellas gigantes ricas en Si de nuestra Galaxia. Como resultado se han descubierto ~70 nuevas estrellas de P, multiplicando por seis el número previo de estrellas de P conocidas. Esta muestra nos permitirá estudiar el patrón químico de este tipo de estrellas en una muestra significativa.

Se preparó y envió una propuesta de observación DDT para ESO VLT/UVES (IP: A. García-Hernández) con la intención de elucidar los progenitores de las enigmáticas estrellas ricas en fósforo. La propuesta fue aceptada y nos concedieron 23,5 hr de observación que ya han sido ejecutadas.

Como co-investigadores se obtuvo tiempo de observación con el satélite JWST para observar la nebulosa planetaria NGC 6720 y la galaxia primitiva Sextans A.

En laboratorio se ha publicado la síntesis de vinoacetilenos y se han aceptado dos artículos sobre la carbonización de diferentes tipos de asfaltenos.

Se preparó y envió una propuesta de observación para el radiotelescopio IRAM-30m (IP: García-Hernández) con la intención de detectar por primera vez derivados de fullerenos en el espacio. La propuesta fue aceptada (tipo A) y nos concedieron 88 hr de observación (28 diciembre 2021 4 enero 2022).

Con la intención de comprender el proceso de formación de nanoestructuras de carbono complejas (fullereno, grafeno y sus derivados) en el espacio a través de enfoques altamente multidisciplinares que incluyen astronomía, astroquímica de laboratorio, ciencia de materiales y química cuántica, entre otros, se ha re-enviado una Acción COST (NanoSpace; 126 proponentes de 45 países). Este Proyecto ha sido liderado por A. García-Hernández.

Se ha trabajado en el refinamiento de las trazas evolutivas AGB que se aplicaran a futuras observaciones con el telescopio espacial James Webb (JWST). Como resultado, se ha descubierto que las estrellas extremadamente rojas en la Gran Nube de Magallanes podrían ser sistemas binarios. También, se han caracterizado las estrellas de carbono de la Gran Nube de Magallanes en los filtros MIRI del JWST.

Utilizando datos de Gaia eDR3, se trabajó y publicó un estudio de nebulosas planetarias de nuestra Galaxia: identificación de las estrellas centrales, propiedades y binariedad. Como resultado, se ha presentado un catálogo de 2035 nebulosas planetarias (NPs) con su correspondiente identificación de la estrella central de entre las fuentes Gaia EDR3. De entre ellas se pudo calcular la distancia con precisión a 405. Además, se obtuvo tiempo de observación (4 noches en diciembre 2021) en el telescopio INT (38-INT2/21B; IP: Gonzalez-Santamaria) para calcular las abundancias y estimar el estado evolutivo de los objetos con distancias más precisas.

Se continuó trabajando en la implementación, dentro del algoritmo iterativo secuencial para el cálculo de las atmósferas extensas de las estrellas AGB, de la solución numérica de la ecuación de transporte radiativo bolométrica. De tal manera se ha logrado una corrección de la temperatura a través de la condición de equilibrio radiativo, consistente desde el punto de vista físico.

## PROPIEDADES FÍSICAS Y EVOLUCIÓN DE ESTRELLAS MASIVAS (P/309808)

Sergio Simón Díaz.

Abel de Burgos Sierra, Ricardo Dorda Laforet, Gabriel Gómez Velarde, Artemio Herrero Davo, Gonzalo Holgado Alijo y Daniel Lennon.

Colaboradores del IAC: Andrés Asensio Ramos, Cecilia Fariña, Yeisson Martínez Osorio, Pere L. Pallé Manzano y Jorge A. Pérez Prieto.

J. Puls (Univ. de Munich, Alemania); C. Evans (ROE, Reino Unido); M.A. Urbaneja (Univ. de Innsbruck, Austria); F. Najarro, M. García, J. Maíz Apellániz, M. Cerviño, J. Caballero, G. Holgado (CAB, Madrid); I. Negueruela, A. Marco, L. Patrick, E. Trigueros, S. Rodríguez Berlanas (Univ. de Alicante); N. Langer (Univ. de Bonn, Alemania); N. Castro (Univ. Postdam, Alemania); S. Clark (Open Univ., Reino Unido); G. Maynet, S. Ekstroem, C. Georgy, L. Haemmerle, S. Martinet (Univ. de Ginebra, Suiza); R. Barbá, J. Arias (Univ. La Serena, Chile); R. Gamen, G. Ferrero (Univ. La Plata, Argentina); D. Calzetti (Univ. de Massachussets, EEUU); C. Aerts, D. Bowman, S. Burssens (Univ. Lovaina, Bélgica); J. Drew (Univ. Hertfordshire, Reino Unido); N. Wright (Univ. Keele, Reino Unido); F. Martins (Univ. Montpellier, Francia).

### Introducción

Las estrellas masivas son objetos claves para la Astrofísica. Estas estrellas nacen con más de 8 masas solares, lo que las condena a morir como Supernovas. Durante su rápida evolución liberan, a través de fuertes vientos estelares, gran cantidad de material procesado en su núcleo y, en determinadas fases evolutivas, emiten gran cantidad de radiación ionizante. Como consecuencia, las estrellas masivas juegan un papel fundamental en muchos aspectos de la evolución del Cosmos; ej., son uno de los motores principales de la evolución química y dinámica de las galaxias y han sido propuestas como agentes clave en la reionización del Universo. A lo largo de su evolución, se asocian con los objetos estelares más extremos (estrellas O y WR; supergigantes azules y rojas; variables luminosas azules; agujeros negros, estrellas de neutrones y magnetars; estrellas binarias masivas de rayos X y gamma). También son el origen de los GRBs de larga duración y están asociadas con las recientes detecciones de ondas gravitacionales. Desde

un punto de vista práctico, las estrellas masivas son valiosos indicadores de abundancias y distancias en galaxias externas, incluso más allá del Grupo Local. Además, la interpretación de la luz emitida por regiones HII y galaxias starburst se basa en nuestro conocimiento del efecto que produce la radiación ionizante emitida por las estrellas masivas en el medio interestelar.

Este Proyecto está enfocado a la búsqueda, observación y análisis de estrellas masivas en galaxias cercanas con la finalidad de proporcionar un marco empírico sólido que nos permita entender sus propiedades físicas en función de parámetros clave que gobiernan su evolución (tales como masa, rotación, metalicidad, pérdida de masa e interacción binaria). Para ello, el proyecto se basa en observaciones de gran calidad obtenidas con telescopios de los observatorios de Canarias y de la ESO, complementadas con otras observaciones de interés proporcionadas por misiones espaciales como Gaia, HST, IUE y TESS. Como una parte clave de este proyecto, observaciones espectroscópicas de estrellas masivas en distintos estados evolutivos y localizadas en entornos de diferente metalicidad son analizadas haciendo uso de la última generación de códigos de atmósfera estelar y herramientas de análisis espectroscópico cuantitativo optimizadas para estrellas masivas con la finalidad de extraer la mayor cantidad de información empírica posible sobre parámetros estelares y abundancias.

Las principales líneas activas en el Proyecto son:

- La observación y análisis de grandes muestras de estrellas OB en la Vía Láctea.
- La exploración de la población estelar masiva localizada en regiones oscurecidas de la Vía Láctea.
- La búsqueda, observación y análisis de estrellas masivas extragalácticas, poniendo un especial énfasis en galaxias de baja metalicidad.
- El desarrollo y uso de modelos de atmósfera, modelos atómicos y herramientas numéricas para el análisis de estrellas masivas.

### Hitos

Revelada la naturaleza de la estrella J20395358+4222505, que ha resultado ser una de las estrellas B supergigantes más luminosas de la Galaxia y con uno de los vientos estelares más fuertes. Probablemente se trate de una estrella en el proceso de convertirse en una hipergigante, de las que actualmente se

conoce menos de una docena en la Vía Láctea.

Explorada en detalle la multiplicidad en estrellas supergigantes frías de las Nubes de Magallanes. La fracción de binarias encontrada en estrellas de este tipo, que representan fases avanzadas de la evolución de estrellas de alta masa, es significativamente menor que la encontrada en el caso de sus contrapartidas en la secuencia principal.

Proporcionadas nuevas pistas empíricas sobre la naturaleza del sistema binario LB1, que podría contener un agujero negro de alta masa. El análisis de nuevos datos obtenidos con STIS/HST ha permitido fijar de manera más precisa los parámetros del sistema, de naturaleza todavía discutida.

### Desarrollo y resultados

El año 2021 ha estado marcado por la continuación de la situación pandémica debido al COVID-19. Ello ha hecho que el Proyecto no avanzase de la manera planeada en el informe anterior. Pese a ello se ha conseguido mantener un avance adecuado en muchos de los frentes abiertos.

Se ha avanzado en el análisis espectroscópico de una muestra de más de 400 supergigantes B de la Vía Láctea con la finalidad de caracterizar sus propiedades físicas y establecer restricciones empíricas sobre su estado evolutivo. Parte de este trabajo se realizó durante una estancia pre-doctoral en la Universidad de Innsbruck por parte de A. de Burgos Sierra.

Se ha realizado una caracterización empírica de la velocidad de rotación en una muestra de más de 250 estrellas masivas de tipo O de la Vía Láctea con la finalidad de entender la evolución del momento angular en estrellas masivas de la Secuencia Principal (tanto en estrellas aisladas como en sistemas binarios).

Se ha avanzado en el estudio sobre la potencial naturaleza binaria de una muestra de estrellas O de alta rotación.

Se ha realizado una investigación exploratoria del posible interés de la aplicación de técnicas de ML para el estudio de las propiedades evolutivas de grandes muestras de estrellas masivas de tipo OB.

Se han investigado posibles correlaciones entre la variabilidad espectroscópica y fotométrica de una muestra de supergigantes OB de la Vía Láctea utilizando espectros multiépoca obtenidos por el Proyecto IACOB en los últimos 10 años y datos del satélite TESS. Dicho

trabajo fue desarrollado durante una beca de verano del IAC.

Se ha realizado un estudio empírico de una muestra de supergigantes rojas de la Vía Láctea para identificar potenciales sistemas binarios de muy largo periodo mediante la utilización de datos Gaia. Dicho trabajo fue desarrollado durante una beca de verano del IAC.

Se ha investigado cuál es el porcentaje de binarias espectroscópicas en estrellas supergigantes rojas de las Nubes de Magallanes, encontrando que el límite inferior de la fracción de binarias en sistemas estelares de este tipo es del orden del 15%.

Se preparó un programa largo (NOT+HERMES, aprobado por el CAT) para extender la muestra de estrellas B dentro de la base de espectros IACOB (60 noches en total, distribuidas en 4 semestres).

Se han realizado varias campañas de observación con los telescopios NOT y Mercator enmarcadas dentro del Proyecto IACOB (15 noches en total).

Se ha trabajado en la organización, mejora y ampliación de la base de espectros IACOB.

Se ha comenzado la implementación de una base de datos que incluirá todos los resultados de los análisis espectroscópicos de la muestra de estrellas IACOB.

Se ha recopilado información sobre paralajes Gaia-EDR3 para la muestra completa de estrellas O y supergigantes B dentro de la muestra IACOB.

Se han investigado dos sistemas binarios masivos en los que se ha propuesto que una de las componentes podría ser un agujero negro. En particular, para uno de estos sistemas (LB1) se obtuvieron espectros STIS/HST.

Se ha continuado el trabajo preparatorio de los surveys WEAVE-SCIP y WEAVE-Cygnus.

Se ha trabajado en la creación de varias redes de modelos de atmosfera generados con el código FASTWIND. Dichas redes están orientadas al análisis espectroscópico de las muestras de estrellas O y B de los surveys IACOB y WEAVE-SCIP.

Se ha realizado un estudio espectroscópico detallado de una supergigante B obscura situada en la región de Cygnus-X para la que se había obtenido previamente un espectro con MEGARA@GTC.

Se ha participado en el estudio espectroscópico de la población estelar masiva dentro de la

región de formación estelar de Carina dentro del survey Gaia-ESO.

Se ha reforzado la colaboración con N. Langer (Univ. de Bonn, Alemania) gracias a su visita de 3 meses al IAC (en parte financiada por la Fundación Jesús Serra). Su visita permitió establecer nuevas rutas conjuntas de trabajo en las que se combinarán resultados empíricos y desarrollos teóricos.

Se ha participado en varias reuniones de la colaboración XshootU, que se centra en el análisis de observaciones espectroscópicas obtenidas con el HST (500 órbitas) y XShooter@VLT (126 horas).



## PRUEBAS OBSERVACIONALES DE LOS PROCESOS DE NUCLEOSÍNTESIS EN EL UNIVERSO (P/300423)

Garik Israelian Shatinyan.

Colaboradores del IAC: Jorge Casares Velázquez, Ramón J. García López, Jonay I. González Hernández y Rafael Rebolo López.

N. Santos, V. Adibekyan, E. Delgado, S. Sousa (CAUP, Portugal); M. Mayor (Univ. de Ginebra, Suiza); V. Lipunov (Univ. de Moscú, Rusia); M. Frolov (Imperial College, Londres, Reino Unido); R. Rees (LCS, Londres, Reino Unido).

### Introducción

Recientemente se han llevado a cabo varios análisis espectroscópicos de estrellas con planetas. Uno de los resultados más relevantes ha sido descubrir que las estrellas con planetas son en promedio más metálicas que las estrellas del mismo tipo espectral sin planetas conocidos (Santos, Israelian & Mayor 2001, A&A, 373, 1019; 2004, A&A, 415, 1153). Existen dos hipótesis posibles para relacionar el exceso de metalicidad con la presencia de planetas. La primera es la del "autoenriquecimiento" que atribuye el origen de la sobreabundancia de metales observada en estrellas con planetas a la acreción sobre la estrella madre de grandes cantidades de material planetario rocoso, rico en metales y pobre en elementos como H y He. La hipótesis contraria es la principal y considera que el exceso de metales sea debido al alto contenido en metales de la nube protoplanetaria a partir de la cual se formó el sistema estrella-planeta.

Los elementos ligeros pueden proporcionar información valiosa sobre la mezcla, la difusión y la evolución del momento angular en estrellas con planetas, así como sobre la actividad estelar causada por la interacción con exoplanetas (Santos, Israelian, García López et al. 2004, A&A, 427, 1085; Israelian et al. 2004, A&A, 414, 601). Estudios sobre el Be, el litio y la razón isotópica  $6\text{Li}/7\text{Li}$  podrían aportar pruebas para distinguir entre las diferentes teorías de formación planetaria (Sandquist et al. 2002, ApJ, 572, 1012). Israelian et al. encontraron evidencias de la caída de un planeta o de material protoplanetario sobre la estrella HD82943 (2001, Nature, 411, 163; 2003, A&A, 405, 753).

Si el "autoenriquecimiento" fuera el principal responsable del exceso de metalicidad de las estrellas con planetas, eso implicaría una so-

breabundancia relativa de elementos refractarios (Si, Mg, Ca, Ti, etc.) respecto a los volátiles (CNO, S y Zn). Se han llevado a cabo varios estudios espectroscópicos del hierro (Santos et al. 2001, A&A, 373, 1019; 2003, A&A, 398, 363; 2004, A&A, 415, 1153) y de otros elementos (Bodaghee et al 2003, A&A, 404, 715; Ecuivillon, Israelian, Santos et al. 2004, A&A, 418, 703; 2004, A&A, 426, 619; 2006, A&A, 445,633; 2006, A&A, 449, 809; Gilli, Israelian, Ecuivillon, et al. 2006, A&A, 449,723).

El análisis espectroscópico de estrellas ricas en metales también proporciona información valiosa sobre las tasas de eyección al medio interestelar de elementos químicos producidos por explosiones de supernova en los últimos 10.000 millones de años. Otro método alternativo para investigar los productos de las explosiones de supernova es el estudio de las estrellas compañeras de los sistemas binarios de rayos X.

### Hitos

Se ha encontrado evidencia de un vínculo de composición entre los exoplanetas rocosos y sus estrellas anfitrionas al estimar la fracción de masa de hierro de los planetas a partir de su masa.

Se ha analizado una muestra de estrellas anfitrionas de planetas en cúmulos y un campo y no se pudo identificar un parámetro que pueda ser responsable sin ambigüedades de la arquitectura orbital de los planetas masivos.

Se ha revisado y actualizado las distribuciones de metalicidad de las estrellas que albergan planetas con diferentes regímenes de masa comparando los planetas de baja ( $< 30 M_{\oplus}$ ) y alta masa. Los nuevos datos fortalecen los resultados anteriores que muestran la posible tendencia en el diagrama de metalicidad-período-masa para planetas de baja masa.

### Desarrollo y resultados

Tanto las estrellas como los planetas se forman acumulando material de un disco protoplanetario. Debido a que crecen del mismo material, la teoría predice que debería haber una relación entre sus composiciones. En un estudio pionero, se ha encontrado un vínculo de composición entre los exoplanetas rocosos y sus estrellas anfitrionas. Se ha estimado la fracción de masa de hierro de los exoplanetas rocosos a partir de sus masas y radios y se ha comparado con las composiciones de sus estrellas anfitrionas, que asumimos reflejan las composiciones de los discos protoplanetarios. Se ha encontrado una correlación (pero no una



relación 1:1) entre estas dos cantidades, que interpretamos como atribuible a los procesos de formación de planetas. Las supertierras y los supermercurios parecen ser poblaciones distintas con composiciones diferentes, lo que implica diferencias en sus procesos de formación.

Se han realizado diferentes pruebas estadísticas para comparar las propiedades de los planetas y sus estrellas anfitrionas asociadas a diferentes entornos estelares. Se ha utilizado una muestra homogénea de estrellas enanas FGK relativamente jóvenes con planetas detectados por velocidad radial y probamos la hipótesis de que su asociación con el espacio de fase (posición-velocidad) sobredensidades (estrellas de "cúmulo") y densidades bajas (estrellas de "campo") impacta los períodos orbitales de los planetas. Al controlar las propiedades de la estrella anfitriona en una muestra de 52 planetas que orbitan alrededor de un cúmulo de estrellas y 15 planetas que orbitan alrededor de un campo de estrellas, no se encontraron diferencias significativas en la distribución del período de los planetas que orbitan estas dos poblaciones de estrellas. Al considerar una muestra extendida de 73 planetas que orbitan alrededor de un cúmulo de estrellas y 25 planetas que orbitan estrellas de campo, surgió una diferencia significativa en las distribuciones del período planetario. Sin embargo, los anfitriones asociados con densidades estelares bajas parecían ser significativamente más antiguos que sus contrapartes de cúmulos. Esto no permite concluir si la arquitectura planetaria está relacionada con la edad, el medio ambiente o ambos. Se estudió más a fondo una muestra de planetas que orbitan estrellas de cúmulos para estudiar el mecanismo responsable de la formación de órbitas de planetas en entornos similares. No se ha podido identificar un parámetro que pueda ser inequívocamente responsable de la arquitectura orbital de los planetas masivos, tal vez, lo que indica la complejidad del problema. Conclusión, que un mayor número de planetas en cúmulos y en entornos de sobredensidad ayudará a construir muestras grandes e imparciales que luego permitirán comprender mejor los procesos dominantes que dan forma a las órbitas de los planetas.

Se ha realizado un estudio teórico de espectros de alta resolución para estrellas anfitrionas de planetas observados por el equipo o recopilados a través de archivos públicos. Los parámetros estelares espectroscópicos se derivaron para los espectros siguiendo el mismo proceso homogéneo usando ARES y MOOG (ARES+MOOG) como para las versiones an-

teriores de SWEET-Cat. Volvimos a derivar parámetros para las estrellas en el catálogo usando espectros de mejor calidad y/o usando las versiones más recientes de los códigos. Además, la nueva tabla SWEET-Cat ahora se puede combinar más fácilmente con las propiedades de los planetas enumeradas tanto en la Enciclopedia de Planetas Extrasolares como en el Archivo de Exoplanetas de la NASA para realizar análisis estadísticos de exoplanetas. También se han usado los paralajes Gaia eDR3 recientes y la fotometría respectiva para obtener valores de gravedad superficial consistentes y precisos para las estrellas anfitrionas. Incrementamos el número de estrellas con parámetros homogéneos en más de un 40% (de 645 a 928). Revisamos y actualizamos las distribuciones de metalicidad de estrellas que albergan planetas con diferentes regímenes de masa comparando los planetas de baja masa ( $< 30 M_{\oplus}$ ) con los planetas de alta masa. Los nuevos datos fortalecen los resultados anteriores que muestran la posible tendencia en el diagrama de metalicidad-período-masa para planetas de baja masa.

# LA VÍA LÁCTEA Y EL GRUPO LOCAL

## EVOLUCIÓN GALÁCTICA EN EL GRUPO LOCAL

(P/301204)

**Carmen Gallart Gallart.**

**Elena Arjona Gálvez, Giuseppina Battaglia, Salvador Cardona Barreo, Arianna Di Cintio, Robert Grand, Matteo Monelli, Manuel Sánchez Benavente y Guillaume Thomas.**

**Colaboradores del IAC: Christopher Brook e Ignacio Trujillo Cabrera.**

T. Ruiz-Lara (Kapteyn Astronomical Inst., Países Bajos); N. Noël (Univ. de Surrey, Reino Unido); V. Hill, E. Fernández Alvar (Obs. De la Cote d'Azur, Francia); S. Cassisi, G. Fiorentino, M. Dall'Ora, E. Pancino, D. Massari (INAF, Italia); C. Martínez Vazquez (Gemini, EEUU); M. Marengo (Univ. de Iowa EEUU); S. Taibi (AIP, Alemania), D. Nidever, K. Olsen (NOAO, EEUU), E. Tolstoy (Kapteyn Astronomical Inst., Países Bajos), R. Leaman (Univ. de Viena, Austria); P. Jablonka (EPFL, Rep. Checa); G. Bono (Univ. Tor Vergata, Roma, Italia); P. Stetson (DAO); F. Aguado Agelet (Univ. de Vigo); F. Surot (Chile).

### Introducción

La formación y evolución de galaxias es un problema fundamental en Astrofísica. Su estudio requiere "viajar atrás en el tiempo", para lo cual hay dos enfoques complementarios. El más extendido consiste en analizar las propiedades de las galaxias a diferentes distancias cosmológicas. El equipo se concentra en el otro enfoque, denominado "Arqueología Galáctica". Se basa en la determinación de las propiedades de las galaxias a partir del estudio de sus estrellas individuales. Según su masa, las estrellas pueden vivir tanto como el propio Universo, y por tanto permiten estudiar, con un detalle exquisito, como han evolucionado las galaxias desde su formación hasta el momento actual. Esta disciplina es el principal motor de grandes proyectos, tanto observacionales (como Gaia, SDSS, WHT/WEAVE, LSST, VISTA/4MOST, DESI o E-ELT/HARMONI) como teóricos (como las simulaciones cosmológicas Nihao, Magic y Auriga), en muchos de los cuales los miembros de nuestro equipo están involucrados. Esto asegura que la Arqueología Galáctica va

a estar en un primer plano de la investigación astrofísica por mucho tiempo.

El objetivo es estudiar la formación y evolución de galaxias a partir de los ejemplos locales que pueden ser resueltos en estrellas y que, por lo tanto, pueden ser estudiados en un detalle imposible para galaxias más distantes. En particular, el Grupo Local y su entorno inmediato contiene unas 80 galaxias de diferentes tipos morfológicos. Entre ellas, las más grandes son galaxias espirales (la Vía Láctea, M31 y M33), una docena de ellas son de tipo irregular (LMC), o irregulares enanas, y el resto son esferoidales. Así, se pueden estudiar galaxias de diferentes tipos morfológicos en un gran rango de masas, desde espirales hasta las galaxias más pequeñas, que están incluso haciendo cuestionar el concepto de "galaxia".

Para este fin, se han usado los telescopios actuales y un conjunto de técnicas complementarias:

- Utilizando fotometría que llegue al turn-off viejo de la secuencia principal en el diagrama color-magnitud, es posible derivar su historia de formación estelar y caracterizar su evolución a lo largo de toda su vida.
- La espectroscopia de estrellas individuales añade información directa sobre la cinemática y las abundancias químicas de las diferentes poblaciones estelares.
- Para los objetos más cercanos, la astrometría precisa proporciona información sobre la distancia (y por lo tanto el brillo absoluto), el movimiento orbital, e incluso información 6-D completa.
- Las estrellas variables como RR Lyrae y Cefeidas aportan restricciones independientes sobre las edades y metalicidades de las poblaciones a las que pertenecen.

Estas observaciones proporcionan información muy valiosa con la que contrastar las predicciones de los modelos cosmológicos de formación y evolución de galaxias, que consideran la influencia de un amplio abanico de procesos físicos.

## Hitos

Usando datos HST de la galaxia ultra débil Eridanus II se ha determinado (Gallart 2021) que su único evento de formación estelar hace 13 Ga fue muy corto (100-500 Ma). La energía liberada por las SN asociadas pudo ser suficiente para expulsar el gas. Esto pone en duda que reionización sea la causa de la finalización de la formación estelar, como se suele suponer.

Los varios episodios de formación estelar, extendidos hasta hace pocos cientos de millones de años, que hemos datado con precisión en las galaxias esferoidales Fornax (Rusakov 2021) y Leo I (Ruiz-Lara 2021) han permitido estudiar los efectos de las interacciones y las fusiones en la historia de la formación estelar de las galaxias enanas.

Al realizar por primera vez un modelo dinámico conjunto de la cinemática interna estelar y del gas HI de una galaxia enana del Grupo Local, WLM, se pudo determinar que su halo de materia oscura probablemente tenga un core y una forma "prolate"; la coexistencia de estas características podría plantear un problema para self-interacting dark matter (Leung 2021).

Por primera vez usando simulaciones cosmológicas, se demostró que las fusiones de galaxias son una explicación viable para la presencia de rotación alrededor del eje mayor en el componente estelar de las galaxias también en la escala de las galaxias enanas (Cardona-Barrero 2021).

Se realizó la simulación cosmológica de la Vía Láctea con mayor resolución hasta la fecha (Grand 2021).

## Desarrollo y resultados

Se ha continuado la investigación basada en la determinación de la historia de formación estelar (HFE) de galaxias desde las escalas galácticas más pequeñas hasta la de la Vía Láctea (VL). Se han liderado varios estudios de la HFE en galaxias enanas usando datos propios obtenidos con el Hubble Space Telescope: Fornax: Eridanus II (Gallart 2021), Fornax (Rusakov 2021) y Leo I (Ruiz-Lara 2021). Se ha progresado en el Proyecto iniciado en 2018 para obtener HFEs de diferentes componentes de la VL utilizando datos de Gaia. Durante este año se han mejorado todos los procedimientos involucrados (simulación de errores observacionales, determinación del enrojecimiento 3D, inclusión de nuevos modelos de evolución estelar en el programa de cálculo de diagramas sintéticos, algoritmo de determinación de historias de la formación estelar) para poder extender el estudio a mayores distancias del Sol y po-

der proporcionar una estimación más rigurosa de los errores en la HFE resultante. Además, se culminó la segunda publicación de datos (DR2) de SMASH (Nidever 2021) y se participó en un estudio de las abundancias químicas e historias de enriquecimiento químico de un conjunto de galaxias enanas del Grupo Local usando datos de APOGEE. Se ha avanzado en el análisis de estrellas variables en galaxias del Grupo Local (Neeley+ 2021, Martínez-Vázquez 2021).

Se ha realizado la determinación más completa de los movimientos propios sistémicos de galaxias del Grupo Local usando datos de la tercera publicación anticipada (EDR3) de datos de Gaia (más de 70 galaxias hasta una distancia de 1.4 Mpc), así como el cálculo de las propiedades orbitales de las galaxias satélites de la Vía Láctea, incluyendo de manera auto-consistente el impacto de la LMC en el potencial gravitatorio (Battaglia A&A). Se ha desarrollado un método de aprendizaje automático para obtener distancias espectrofotométricas de estrellas, que será una contribución al cartografiado de Arqueología Galáctica de WEAVE. Este nuevo método se ha aplicado al set de datos de SEGUE para mejorar la determinación de las propiedades de la corriente estelar Cetus-Palca (Thomas & Battaglia, A&A). Se ha escrito un artículo invitado de revisión para la revista Nature Astronomy sobre la dinámica de las estrellas y las propiedades de los halos de materia oscura de las galaxias enanas del Grupo Local (Battaglia & Nipoti, enviado a NatAs). Se han publicado resultados sobre las propiedades del halo de materia oscura de la galaxia enana WLM, a partir de un nuevo método de modelado dinámico (Leung 2021), se finalizó el estudio de una muestra de galaxias enanas simuladas en un contexto cosmológico con el fin de investigar si las fusiones entre galaxias enanas podrían ser las responsables de imprimir rotación de su componente estelar alrededor de su eje mayor (Cardona-Barrero 2021) y se investigaron las propiedades de los gradientes de metalicidad en galaxias ultra difusas simuladas (Cardona-Barrero, en preparación). Participamos en dos propuestas de observación para VISTA/4MOST (PI: Ibata, PI: Skuladottir) que fueron aprobadas. Finalmente, se realizó la simulación cosmológica magneto-hidrodinámica de formación de la Vía Láctea con mayor resolución en el mundo (Grand 2021).

## VIA LÁCTEA Y GALAXIAS CERCANAS (P/309403)

Martín López Corredoria.

Antonio Aparicio Juan, Antonio L. Cabrera Lavers, Nieves D. Castro Rodríguez, Zofia Chrobakova, Francisco Garzón López, Carlos M. Gutiérrez De la Cruz, Terence John Mahoney, Alberto M. Martínez García y Alina Streblyanska.

**Colaboradores del IAC: Carlos Allende Prieto y Matteo Monelli.**

S. Hidalgo (IACTEC), E. Valenti, F. Surot, P.L. Hammersley (ESO, Garching, Alemania); S. Cassisi, A. Pietrinferni (INAF-Téramo, Italia); E. Kirby, T. Mineikis (Univ. California, Irvine, EEUU); G. Piotto (Univ. Padua, Italia); M. Robberto, L. Pueyo, A. del Pino (STScI, EEUU); G.M. Strampelli (Johns Hopkins Univ., EEUU); E. Skillman (Univ. de Minnesota, EEUU); H. Wang (Obs. Meudon-París, Francia); F. Sylos Lanini (Enrico Fermi Center, Roma, Italia).

### Introducción

El objetivo general del Proyecto es el estudio de la morfología, poblaciones estelares, cinemática y dinámica (incluyendo formación y evolución) de la Vía Láctea y sus galaxias satélites u otras del Grupo Local. El Proyecto se divide en tres líneas principales:

#### *Estructura de la Vía Láctea y galaxias cercanas*

El estudio detallado de la morfología pretende proveer una base de datos de distribución estelar en las regiones más alejadas y extintas de nuestra Galaxia o en otras galaxias. Se hace uso de la combinación de datos propios con los catálogos públicos fotométricos (UKIDSS, VISTA-VVV en infrarrojo cercano o SDSS) o espectroscópicos (SDSS-APOGEE en infrarrojo cercano, LAMOST). El grupo de investigación se ha integrado también en el nodo español de "Gaia" con la idea de orientar parte del trabajo en el aprovechamiento científico de los datos fotométricos y astrométricos del cartografiado más importante para estudios de la Galaxia: la misión Gaia. Se cuenta con información detallada de la distribución estelar de las poblaciones dominantes en una amplia zona de cielo, abarcando diferentes componentes estructurales en la Vía Láctea: bulbo triaxial, barra larga, disco, brazos espirales, halo. Las componentes de gas y polvo son también objeto de estudio en infrarrojo, o en microondas (estudios de contaminación galáctica al Fon-

do Cósmico de Microondas, por ejemplo, con datos de Planck).

#### *Poblaciones estelares y formación y evolución estelar*

Por medio del estudio de poblaciones estelares resueltas, tanto a partir de fotometría como espectroscopia, y con herramientas propias de librerías de evolución estelar, se pretende determinar las historias de la formación estelar detalladas y extendidas a toda la historia evolutiva de las galaxias con objeto de determinar el grado de importancia que los procesos cosmológicos (tales como la reionización o self-shielding) o locales (barrido de gas por supernovas, fuerzas de marea, migración estelar) tuvieron en su formación. También se estudian los cúmulos globulares, que albergan más de una población estelar de diferente composición química según muestran observaciones fotométricas usando el HST.

#### *Estudios dinámicos y de formación y evolución de componentes galácticos*

Los análisis cinemáticos y dinámicos pretenden hacer entender el origen de las estructuras observadas y su evolución temporal. Los mapas de velocidades de la Vía Láctea (obtenidos con datos de Gaia y complementados con datos espectroscópicos que permiten una mejor determinación de velocidades radiales, o para separar poblaciones con distintas edades o metalicidades) pueden ajustarse con distintos escenarios teóricos para determinar si la Vía Láctea está en equilibrio o no, el origen de su alabeo, etc. En otras galaxias, las historias cinemáticas se pueden conectar con las de formación estelar para avanzar en la comprensión del escenario evolutivo de este tipo de galaxias y del Grupo Local.

### Desarrollo y resultados

Las actividades del grupo durante 2021 se han visto afectadas por las restricciones inherentes a la epidemia de COVID-19, a consecuencia de la cual se han cancelado casi todas las visitas de colaboración que el grupo tenía previstas, de modo particular las de A.M. Martínez García (estudiante de doctorado). Sin embargo, se han mantenido reuniones telemáticas con frecuencia semanal de este doctorando y de A. Aparicio con nuestro colaborador externo A. del Pino (en el STScI hasta finales de 2021), que es codirector de la tesis de A.M. Martínez García.

En marzo de 2021 se ha presentado la tesis doctoral de E. Sökmen en la Univ. de La Laguna, titulada "Revealing the Stellar Popula-

tions of the Galactic Disk using the ESO-VVV Survey". Ha obtenido la calificación de sobresaliente cum laude. Los directores de la tesis han sido S. Hidalgo Rodríguez (IACTEC) y A. Aparicio Juan. La tesis ha hecho uso de datos del survey ESO-VVV y se han obtenido resultados novedosos sobre la estructura de la Vía Láctea, aportando, en particular, datos sobre la extensión y orientación de la barra.

En abril de 2021 se ha presentado la tesis de G. Maria Strampelli en la Univ. de La Laguna, titulada "Discovery and Characterization of Substellar Companions in Stellar Clusters Using Karhunen-Loève Image Processing of HST Data". Ha obtenido la calificación de sobresaliente cum laude y mención internacional. Los directores de la tesis han sido A. Aparicio Juan (IAC), M. Roberto y L. Pueyo (STScI, EEUU). Gran parte del trabajo de tesis se desarrolló en el STScI y en la Univ. John Hopkins (Baltimore, EEUU). En la tesis se ha aportado un código para la separación de compañeras ultradébiles en binarias. Esto ha permitido identificar varias enanas marrones y candidatas a planetas en la nebulosa de Orión.

En septiembre de 2021 se ha presentado la tesis de Z. Chrobáková, titulada "Revealing the outer Galactic disc with Gaia DR2", obteniendo la calificación de sobresaliente cum laude. El director de tesis ha sido M. López Corredoira. En la tesis se han hecho contribuciones sobre el disco externo de la Vía Láctea, haciendo uso de datos de Gaia.

El trabajo de tesis de A. M. Martínez García ha avanzado adecuadamente durante 2021. Se ha publicado un primer artículo y se está trabajando en un segundo, que se publicará en 2022.

Publicaciones destacadas: Martínez-García et al. (2021): sobre rotación de galaxias enanas.; Pietrinferni et al. (2021) sobre mejoras en modelos de evolución estelar; Chrobáková & López-Corredoira (2021): sobre la refutación de la detección significativa de la precesión del alabeo de la Vía Láctea. Otras publicaciones: se han escrito otros artículos (Ver PRODUCCION CIENTIFICA).

Desarrollos instrumentales: en particular en relación con la operatividad del telescopio GTC y su instrumento EMIR (F. Garzón, A. Cabrera-Lavers, N. Castro Rodríguez, A. Streblyanska), y la planificación de un nuevo telescopio robótico de 4 m (C. M. Gutiérrez).



# FORMACION Y EVOLUCIÓN DE GALAXIAS

## ACTIVIDAD NUCLEAR EN GALAXIAS: UNA PERSPECTIVA 3D DEL NÚCLEO Y SU ENTORNO (P/301404)

Cristina D. Ramos Almeida.

José A. Acosta Pulido, Anelise Audibert, Patricia Bessiera, Donaji Esparza Arredondo, Ana Ferré Mateu, Begoña García Lorenzo, Adriana D. Lorenzo-Cáceres Rodríguez, Evencio Mediavilla Gradolph, Ignacio del Moral Castro, Giovanna Speranza y Natacha Zanon Dametto.

Colaboradores del IAC: Andrés Asensio Ramos, John E. Beckman Abramson, Julio A. Castro Almazán, Sebastián Comeron Limbourg, Jesús Falcón Barroso, Ignacio A. Ferreras Páez, Johan H. Knapen Koelstra, Ignacio Martín Navarro y María J. Martínez González.

S. García Burrillo (Obs. Astronómico Nacional); A. Alonso Herrero (Centro de Astrobiología); C. Tadhunter (Univ. de Sheffield, Reino Unido); M. Bischetti (INAF, Trieste, Italia); M. Brusa (Univ. de Bolonia, Italia); A. García Bernete, N. Thatte (Univ. de Oxford, Reino Unido); C. Packham (Univ. de Texas, EEUU); R. López (IEEC, Univ. de Barcelona); S.F. Sánchez, J. Barrera Ballesteros (UNAM, México); S. Arribas (CAB-CSIC); E. López Rodríguez (KIPAC, Univ. de Stanford, EEUU); M. Ward (Univ. de Durham, Reino Unido); N. Levenson (Space Telescope); O. González Martín (IRyA, UAM, México); C. Ciccone (Univ. de Oslo, Noruega); B. Villarroel (Nordita-IAC); I. Márquez Pérez, J. Masegosa, B. Agis González (IAA); J. Angthopo (MSSL, UCL).

### Introducción

El grupo puede dividirse en dos líneas principales de investigación.

En primer lugar, el estudio de los vientos producidos por cuásares luminosos oscurecidos y del impacto que estos tienen en sus galaxias anfitrionas (retroalimentación del AGN). Para ello hemos obtenido observaciones infrarrojas y ópticas con los instrumentos del Telescopio

GTC CanariCam, EMIR y MEGARA, así como datos de ALMA en el rango milimétrico. Parte de esta investigación la realizamos en el marco de la Innovative Training Network BID4BEST, del programa H2020. Nuestro grupo está también fuertemente involucrado en el consorcio internacional GATOS (Galactic Activity, Torus and Outflow Survey), creado con el objetivo de conseguir tiempo en el JWST y ALMA para caracterizar el ciclo del gas y el material que oscurece el núcleo de galaxias activas cercanas.

En segundo lugar, nuestra actividad se centra en la aplicación de la espectroscopia de campo integral al estudio de objetos extensos tales como galaxias con formación estelar o galaxias activas para investigar el encendido de ambos fenómenos. Asimismo, contribuimos al desarrollo de nuevos instrumentos y técnicas de análisis de datos relacionadas con la espectroscopia 3D. En particular, participamos en el desarrollo del espectrógrafo de campo integral de alta resolución HARMONI, uno de los instrumentos de Primera Luz del Extremely Large Telescope de la ESO.

### Hitos

La financiación externa conseguida por C. Ramos Almeida (452.000 €) y B. García Lorenzo (700.000 €) en el marco de este Proyecto asciende a 1.152.000 €. Estos fondos sólo incluyen aquellos proyectos cuya fecha de inicio es 2020 y posterior, y la mayor parte de ellos se ha invertido en la contratación de nuevo personal científico y técnico.

Publicación de los dos primeros artículos basados en la muestra de GATOS (García-Burillo et al. 2021; Alonso-Herrero et al. 2021). La colaboración GATOS también obtuvo dos propuestas aprobadas en el Ciclo 1 del JWST.

Publicación de un estudio sobre morfología y cinemática del gas molecular frío de una muestra de cuásares de tipo 2 (QSO2s) a  $z=0.1$  (Ramos Almeida et al. 2022, aceptado en diciembre 2021). Para ello se hizo uso de datos del interferómetro ALMA en el rango milimétrico. Este trabajo es parte del proyecto QSO-FEED.



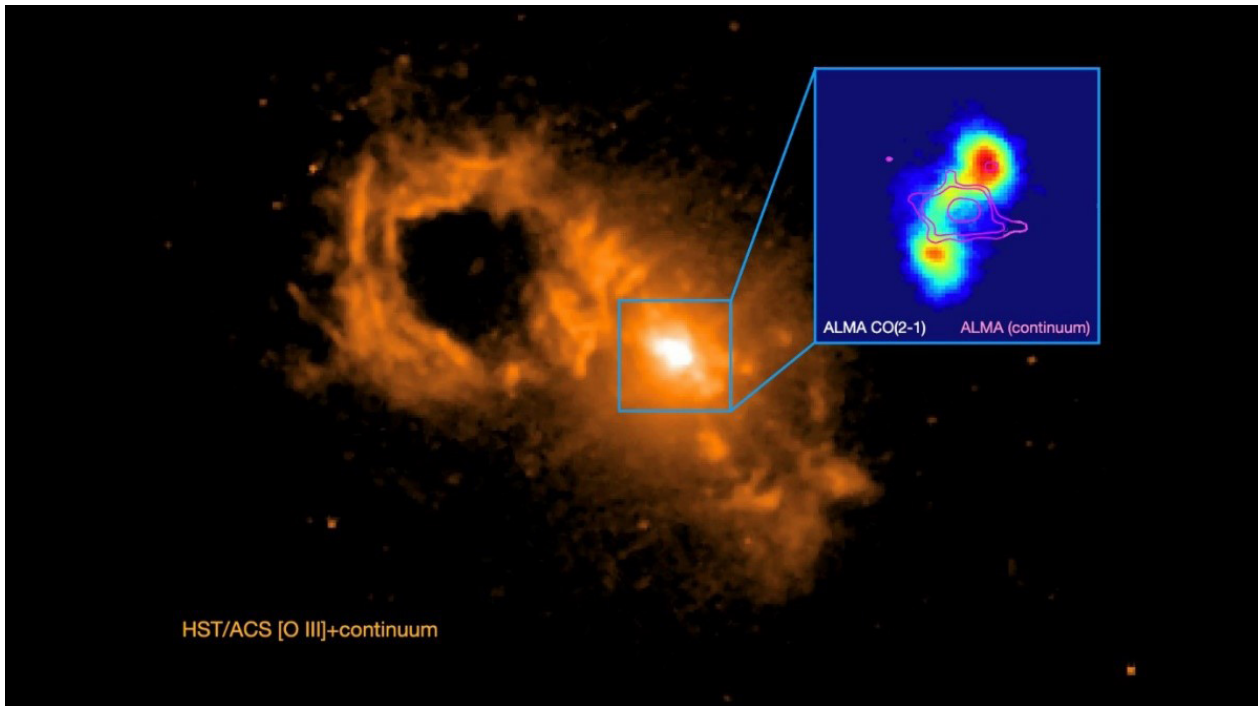


Imagen combinada a partir de datos de ALMA y HST/ACS del cuásar de tipo 2 J1430+1339 (The Teacup). Gracias a ALMA hemos podido investigar la distribución y cinemática del gas molecular frío, en este caso a través de la línea de CO(2-1) en los 3.5 kpc centrales del cuásar con una resolución de 0.2 arcsec (320 pc). Estos datos nos muestran como el gas molecular está siendo estirado en la dirección perpendicular a la emisión de radio (contornos en rosa), mostrando una morfología completamente distinta a la observada en gas ionizado. La retroalimentación del AGN, en forma de vientos y/o jets de radio, está modificando la distribución del gas molecular en la región central de éste y otros cuásares estudiados en Ramos Almeida et al. (2022).

I. del Moral Castro depositó su tesis doctoral, titulada “A 3D view of AGN triggering”, en diciembre de 2021. La tesis, supervisada por C. Ramos Almeida y B. García Lorenzo será defendida durante el primer trimestre de 2022.

Publicación del trabajo García-Lorenzo et al. en el cual se presenta un análisis de las capacidades de HARMONI para desentrañar las propiedades morfo-cinemáticas de las galaxias anfitrionas de AGN en el llamado “mediodía cósmico”.

Publicación del trabajo Bittner, de Lorenzo-Cáceres et al. (2021), en el cual se analizan datos de MUSE de tres galaxias barradas de la muestra de TIMER y se encuentra que las barras internas tienen poblaciones estelares diferentes a las de las barras externas o barras simples.

### Desarrollo y resultados

I. del Moral Castro depositó su tesis doctoral, titulada “A 3D view of AGN triggering”, en diciembre de 2021. La última parte de la tesis consiste en el análisis de las poblaciones estelares de la muestra estudiada en del Moral-Castro et al. (2020). El resultado principal de esta parte del trabajo es que las metalicidades que se encuentran en las galaxias activas son mayores que las de sus gemelas no activas, y también que estos valores de metalicidad corresponden principalmente a pobla-

ciones estelares más viejas que los periodos actuales de actividad nuclear. Esto podría significar que no todas las galaxias pasan por fases activas, y que aquellas que son activas en la actualidad ya lo fueron anteriormente. También se ha colaborado con J. Anghthopo (UCL) e I. Ferreras Páez (IAC/UCL) en la caracterización de la posición en la secuencia evolutiva de una submuestra de la muestra anteriormente mencionada. Esta colaboración ha dado lugar a un artículo que ha sido enviado a la revista MNRAS (Anghthopo et al.).

En el marco de la colaboración GATOS (Galactic Activity, Torus and Outflow Survey) se aceptaron para su publicación en A&A los dos primeros artículos basados en la muestra de GATOS. En los trabajos, liderados por S. García-Burillo y A. Alonso-Herrero, participaron C. Ramos Almeida y B. García-Lorenzo. A. Audibert se unió a la colaboración GATOS en octubre de 2021. Esta colaboración también obtuvo dos propuestas en el Ciclo 1 del JWST, una de ellas liderada por T. Shimizu (Closing in on the Launching Sites of AGN Outflows, 1670) y otra por D. Rosario (Dust in the Wind: Testing a New Paradigm for the Nature of AGN Feedback, 2064). Los datos estarán disponibles para toda la colaboración y con ellos se avanzará en el estudio de las regiones centrales de AGN cercanos.

C. Ramos Almeida publicó en diciembre de 2021 un estudio sobre morfología y cinemática del gas molecular frío de una muestra de cuásares de tipo 2 (QSO2s) a  $z=0.1$  (Ramos Almeida et al. 2022). Para ello se hizo uso de datos del interferómetro ALMA en el rango milimétrico. En concreto se estudió el gas molecular trazado por la molécula CO(2-1). El resultado principal de este estudio es que, aunque no observamos una reducción en el contenido de gas molecular que pueda indicar que el AGN está parando la formación estelar en las galaxias anfitrionas, hay vientos moleculares con extensiones y velocidades moderadas (0.4-1.3 kpc y 200-350 km/s) que estarían modificando la distribución del gas molecular frío en el kpc central de las galaxias. Este estudio es parte del Proyecto QSOFEED (<http://research.iac.es/galeria/cra/qsofeed/>) en el que participan varios miembros de este Proyecto.

En marzo de 2020 arrancó la Innovative Training Network (H2020-ITN-2019) Big Data applications for Black hole Evolution Studies (BID4BEST), de la cual C. Ramos Almeida es la IP en el IAC. La participación en esta ITN ha supuesto 250.000 euros para el centro, parte de los cuales se han destinado a la contratación de la estudiante de doctorado Giovanna Speranza, que empezó su tesis en septiembre de 2020 y publicó su primer artículo, Speranza et al. (2021) en A&A. Este trabajo consiste en un análisis de la cinemática del gas ionizado de la muestra de radio galaxias del 3CR. Durante este año también ha estado trabajando en el análisis de datos infrarrojos tomados con el instrumento NIFS (Gemini North) de un QSO2 de la muestra QSOFEED (Ramos Almeida et al.). Junto con J.A. Acosta Pulido se han desarrollado herramientas para el análisis de los datos y se han encontrado componentes de alta velocidad en gas ionizado que corresponden a vientos producidos por el AGN. El trabajo será enviado a A&A durante el primer trimestre de 2022.

B. García Lorenzo y C. Ramos Almeida consiguieron financiación del Plan Nacional en 2019 (PID2019). Con estos fondos hemos contratado a dos investigadoras postdoctorales que trabajarán en el marco de este proyecto. Una de ellas, N. Dametto Zanon, se incorporará en enero de 2022 y trabajará en simulaciones de datos de HARMONI y en el encendido de la actividad nuclear haciendo uso de espectroscopia 3D. La otra investigadora, P. Bessiere, se incorporó al IAC en diciembre de 2020 y está trabajando en el análisis de espectros ópticos de cuásares oscurecidos para determinar el impacto de la retroalimentación del AGN en las poblaciones estelares jóvenes. Como parte

de su trabajo hemos enviado una letter a MNRAS (Bessiere & Ramos Almeida, submitted) en la que presentamos una comparación espacial entre las poblaciones estelares de distintas edades y la cinemática del gas ionizado haciendo uso de datos de espectroscopia de campo integral obtenidos con el telescopio Keck. Gracias a este análisis hemos encontrado que el viento ionizado estaría promoviendo la formación estelar en un lado de la galaxia, donde la turbulencia es mayor, e inhibiéndola allí donde ésta es mayor.

C. Ramos Almeida obtuvo fondos ACCISI/FEDER, UE (ProID2020010105) y del MICIN/AEI/10.13039/501100011033 y la European Union NextGenerationEU/PRTR (EUR2020-112266), con los cuales se contrató a la investigadora postdoctoral A. Audibert. Que publicó un artículo sobre la cinemática del gas molecular en la galaxia NGC1808 (Audibert et al. 2021) como parte del proyecto NUGA, y actualmente está trabando en el análisis detallado de la cinemática del gas molecular con la muestra de QSO2s presentada en Ramos Almeida et al. Además de los datos de los que se dispone, CO(2-1) observado con ALMA en ciclo 6, se han descargado y procesado datos de un ciclo anterior de ALMA que ya son públicos, en este caso en CO(3-2). Mirando los cocientes entre esas dos líneas es posible estudiar el grado de excitación del gas molecular en el viento y fuera de él.

J.A. Acosta Pulido y C. Ramos Almeida han trabajado en la reducción de espectros de rendija larga de una muestra de 42 QSO2s a redshift  $z=0.1$  obtenidos con GTC/EMIR. Los espectros fueron obtenidos en la banda K (en torno a 2 micras) y en la actualidad están siendo analizados por el estudiante de máster M. Coloma Puga (Univ. de La Laguna). El objetivo es analizar la cinemática del gas ionizado y molecular templado de esta muestra de QSO2s. En paralelo, la estudiante de máster K. Hervella Seoane (Univ. de La Laguna), también bajo la supervisión de C. Ramos Almeida y J.A. Acosta Pulido, está analizando la cinemática del gas ionizado en una muestra de 20 QSO2s a redshift=0.3-0.4 con el objetivo de buscar correlaciones con las morfologías y poblaciones estelares de las galaxias anfitrionas, las cuales fueron publicadas en Bessiere et al. (2017). J.A. Acosta Pulido ha llevado a cabo la reducción de los datos obtenidos con GTC/MEGARA de una muestra de cinco cuásares (IP: C. Ramos Almeida). En todos ellos se detecta emisión extensa en gas ionizado y una cinemática compleja. El análisis detallado de los datos será la última parte de la tesis doctoral de G. Speranza.

C. Ramos Almeida impartió una charla review en el simposio S10 de la EAS 2021, “The many faces of AGN accretion”, celebrada online. Dicha charla se tituló, “Multi-scale and multi-wavelength observations of the AGN torus and its surroundings”.

B. Villarroel (investigadora postdoctoral afiliada a NORDITA y al IAC) ha seguido liderando el Proyecto VASCO, que persigue la detección de fuentes que aparecen y desaparecen en cartografiados históricos de cielo. Este Proyecto se realiza en colaboración con diferentes instituciones, entre ellas el Spanish Virtual Obs., Univ. Constantine (Argelia), Center for Basic Space Science (Nigeria) y Univ. de Uppsala (Suecia). Dada la repercusión de este proyecto, B. Villarroel fue galardonada con el premio L’Oreal-Unesco for Women in Science 2021 en Suecia.

A. de Lorenzo-Cáceres Rodríguez, que fue contratada en 2021 como postdoc HARMONI, ha pasado a ser investigadora postdoctoral Severo Ochoa, y sigue afiliada a este grupo trabajando en su Proyecto “GaBIAS: Galaxy Bars Influence on AGN and Secular evolution”. Como parte de este proyecto se están analizando las poblaciones estelares de galaxias con bulbo haciendo uso de la herramienta C2D, y se está explorando la fracción de dobles barras en el universo local haciendo uso de datos de CALIFA, y las poblaciones estelares de barras internas con datos de TIMER. A. Ferré Mateu también comenzó en 2021 como Severo Ochoa fellow y aunque desarrolla la mayor parte de su actividad en el grupo TRACES, también participa en la labor investigadora del grupo asistiendo a las reuniones semanales.

B. García Lorenzo publicó en diciembre de 2021 el análisis de las capacidades del instrumento HARMONI/ELT para estudiar las propiedades morfo-cinemáticas de la componente estelar en galaxias con núcleo activo en torno al mediodía cósmico ( $z \sim 2$ ). De acuerdo a las simulaciones realizadas y analizadas, tres horas de tiempo de integración en la fuente deberían ser suficientes para estimar la masa del agujero negro central y caracterizar la morfología y cinemática estelar de las galaxias anfitrionas de AGN brillantes en torno al mediodía cósmico. Para AGN poco brillantes se requerirán tiempos de integración superiores a 12 h.

Durante el verano de 2021, el becario de verano J. Sarrato Alós, bajo la supervisión de B. García Lorenzo y A. de Lorenzo-Cáceres, utilizó datos públicos de MUSE para analizar una muestra de 70 galaxias activas, obteniendo estimaciones de distintos parámetros a partir de los cubos de datos (desplazamiento al rojo,

ángulo de posición, inclinación, tipo nuclear I o II, tipo morfológico aparente, magnitudes y masas estelares). Los resultados de este análisis se presentarán en el workshop “Large-Volume Spectroscopic Analyses of AGN and Star Forming Galaxies in the Era of JWST” que se celebrará on-line en marzo 2022.

D. Esparza Arredondo (recientemente doctorada en el IRyA-UNAM de México) visitó el IAC durante dos meses para trabajar en un proyecto centrado en separar la emisión del AGN de su galaxia anfitriona en AGN de tipo I. Para ello se hizo uso de observaciones de espectroscopia de campo integral limitadas por seeing. Los resultados de esta colaboración se presentarán en un artículo durante 2022 y son el primer paso para la extrapolación de la idea a datos 3D obtenidos con sistemas de óptica adaptativa, como MUSE-AO o HARMONI. D. Esparza Arredondo se incorporará a nuestro equipo como investigadora postdoctoral durante el primer semestre de 2022, con un contrato financiado por el proyecto del PN PID2019-107010GB-I00.

Desde 2020, B. García Lorenzo y J. Castro Almazán participan en el Grupo de trabajo “Astro-weather”, vinculado al programa científico del ELT en ESO, grupo cuyo objetivo principal es mejorar diversos aspectos críticos que son necesarios para que el ELT haga ciencia transformadora y para que el telescopio y los instrumentos funcionen sin problemas. Durante 2021 se realizaron diversas reuniones y discusiones de este grupo orientadas a definir los parámetros fundamentales a monitorizar durante observaciones con el ELT y el tipo de instrumentación necesaria para esta monitorización.

B. García Lorenzo obtuvo fondos ACCISI/FEDER, UE (ProID2020010048) vinculados a la “Participación del IAC en el desarrollo de HARMONI”. Con dichos fondos se ha contratado a un ingeniero electro-mecánico, S. Menéndez Mendoza, para realizar tareas de Ingeniería. Todos los avances del proyecto, desde el punto de vista tecnológico, se encuentran en la memoria anual del Proyecto HARMONI del Área de Instrumentación.

## ASTROFÍSICA NUMÉRICA: FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE GALAXIAS (P/301502)

Claudio Dalla Vecchia.

Isaac Alonso Asensio, Elena Arjona Gálvez, Christopher Brook, Salvador Cardona Barrero, Arianna Di Cintio, Mónica Hernández Sánchez, Alex Massaro Acha y Andrea Negri.

Colaboradores del IAC: Andrés Balaguera Antolínez, Guiseppina Battaglia, Jesús Falcón Barroso, Ignacio A. Ferreras Páez, Carme Gallart Gallart, Francisco S. Kitaura Joyanes, Johan H. Knapen Koelstra, José A. López Aguerri, Jorge Martín Camalich, Jorge F. Sánchez Almeida, Ignacio Trujillo Cabrera y Alexandre Vazdekis Vazdekis.

A. Sánchez (MPE, Garching, Alemania); S. Khochfar (RoE, Edinburgh, Reino Unido); J. Schaye, Y. Bahé (Obs. de Leiden, Países Bajos); G. Yepes, A. Knebe (UAM, México); D. Kawata (Univ. College London, Reino Unido); B. Gibson (Univ. de Hull, Reino Unido); A. Dekel (Univ. Hebrew, Israel); H. Yashima (Tohoku Univ. Japón); K. Nagamine (Osaka Univ., Japón).

### Introducción

Entre las cuestiones fundamentales en Astronomía y Astrofísica están la formación y evolución de galaxias. Las escalas de tiempo y tamaño son tan astronómicas que su observación en galaxias individuales es imposible. Solo con el uso de simulaciones numéricas es posible entender la formación de estructuras cósmicas dentro del actual marco cosmológico.

Los principales procesos físicos que rigen la formación y evolución de galaxias son gravedad, hidrodinámica, gas cooling, formación estelar, evolución estelar, y SN y BH feedback, todos ellos no lineales y por ello difíciles de describir con modelos puramente analíticos. Otros modelos, los semi-analíticos, se basan en simulaciones de únicamente materia oscura y están, por tanto, sesgados al igual que éstas. Por todo esto, las simulaciones cosmológicas hidrodinámicas son la mejor herramienta para realizar los “experimentos controlados” de formación y evolución de galaxias.

Tras tres décadas de mejoras en las simulaciones numéricas, solo ahora los trabajos teóricos pueden reproducir simultáneamente las propiedades observadas de las galaxias y del medio interestelar (ej. EAGLE, Schaye et al. 2015, MNRAS, 446, 521; ILLUSTRIS, Vogelsber-

ger et al., 2014, Nature, 509, 177); en particular, las funciones de luminosidad y de masa de las galaxias, las relaciones entre tamaño y masa, entre metalicidad y masa, entre otras muchas propiedades están reproducidas en un amplio rango de masas de galaxias.

El grupo de astrofísica numérica trabaja en una variedad de temas científicos relacionados con la evolución de las galaxias y la estructura a gran escala del universo. La experiencia abarca desde la estructura interna de las galaxias enanas y de bajo brillo superficial, la Vía Láctea y sus galaxias satélite, el estudio de las galaxias en grupos y agrupaciones, hasta las grandes simulaciones cosmológicas de la estructura del universo. El grupo colabora con la mayoría de los grupos de investigación de IAC que trabajan en Astrofísica Extragaláctica y Cosmología.

### Hitos

Se han empleado simulaciones cosmológicas hidrodinámicas de galaxias enanas para explorar la formación de raros rotadores alargados. Solo un sistema mostró una clara rotación alrededor del eje principal, causada por una fusión importante. Su pronunciado gradiente de metalicidad recuerda al de Phoenix y And II, rotadores alargados conocidos (Cardona Barrero et al.)

Usando la simulación EAGLE, se han calculado las heterogeneidades químicas que surgen en el disco de galaxias debido a la aleatoriedad del proceso de acreción. La correlación entre la densidad superficial de SFR y la metalicidad concuerda con las observadas en el survey MaNGA (Scholz-Díaz et al., 2020).

Se demostró que la curva de rotación del UDG AGC 242019, rico en gas, se ajusta bien a un halo de materia oscura con una pendiente interna que da asíntotas a  $\sim -0,54$ , y que tal ajuste proporciona un parámetro de concentración que coincide con las expectativas teóricas. Las propiedades estructurales de estas galaxias son como las de otras LSB observadas (Brook et al.).

El estudio numérico del paso pericéntrico de los satélites mostró la correlación entre estos eventos y el estallido de formación estelar en sus anfitriones. Esto puede explicar las múltiples poblaciones estelares observadas recientemente en galaxias enanas como Carina y Fornax (Di Cintio et al., 2020).



## Desarrollo y resultados

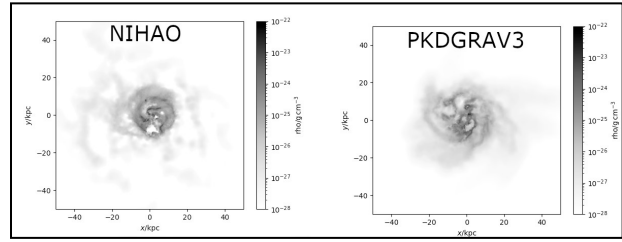
### Desarrollo numérico

El principal proyecto numérico de 2021 ha sido el desarrollo de un código hidrodinámico cosmológico con un modelo completo para la formación y evolución de galaxias. Este código servirá para varios proyectos científicos dentro del grupo. Se basa en el código de N-cuerpos PKDGRAV3 (Potter, Stadel & Teyssier, 2017). Después de agregar, durante los últimos años, hidrodinámica, formación y retroalimentación de estrellas, enfriamiento radiativo, evolución y retroalimentación de agujeros negros, la extensión de PKDGRAV3 ha avanzado al agregar los módulos de evolución estelar y enriquecimiento de metales. Además, se han realizado cambios sustanciales en todos los módulos para optimizar y mejorar la calidad y el rendimiento del código. Esto ha culminado con la fusión de nuestra rama de desarrollo en la versión principal de PKDGRAV3 desarrollada en Zurich, Suiza, que fue el objetivo de la visita de Alonso Asensio a los desarrolladores de PKDGRAV3 el pasado mes de diciembre. De esta forma, nuestro grupo podrá aprovechar los cambios que los desarrolladores de Zurich realizarán en el futuro, y se abren nuevas vías de colaboración a largo plazo. Los módulos de hidrodinámica y formación de galaxias serán parte de la versión pública del código.

Para garantizar el correcto funcionamiento de PKDGRAV3 y los nuevos módulos de formación de galaxias, la plataforma de pruebas automatizadas se ha seguido ampliando y mejorando. Gracias a ella, uno puede verificar fácilmente si algún cambio en el código degrada o invalida la solución esperada de diferentes pruebas estándar. Tomando como base esta plataforma, se ha escrito el primer artículo que describe el módulo de hidrodinámica implementado en PKDGRAV3. Este se encuentra en las etapas finales de corrección, y una vez publicado tanto el código como las diferentes pruebas se harán públicos a la comunidad.

Aunque está en desarrollo activo, PKDGRAV3 ya se ha utilizado para realizar varias simulaciones. Por ejemplo: La resimulación de una de las galaxias de la colaboración NIHAO (Wang+ 2015).

En la imagen se muestra una comparación en la distribución del gas en la galaxia. Para ambas simulaciones se han utilizado exactamente las mismas condiciones iniciales. Debido al esquema superior utilizado para resolver la hidrodinámica en PKDGRAV3, las estructuras de la galaxia, como los brazos espirales, se resuelven mejor.



### Comparación entre NIHAO y PKDGRAV3

La comparación con los resultados de otros códigos en el marco del Proyecto AGORA (Kim+ 2013,2016; Roca-Fàbrega+ 2021).

Las simulaciones de cajas cosmológicas utilizando hasta 64 nodos del superordenador LaPalma (1024 procesadores), con  $2 \times 512^3$  partículas, en preparación para las simulaciones típicas que se realizarán una vez que se complete el desarrollo.

Por el lado del análisis de datos, se ha realizado la optimización de nuestro propio código de procesamiento posterior multihilo para simulaciones hidrodinámicas. El código se ha utilizado para realizar el posprocesamiento de la simulación Cluster-EAGLE, incluidas magnitudes estelares sintéticas en  $\sim 100$  bandas, espectros estelares e historias de formación estelar, junto con una comparación con las simulaciones EAGLE y TNG. Con estos datos se ha llevado a cabo el estudio de la evolución de la función de luminosidad en un cúmulo de galaxias simulado con una cadena de Markov Monte Carlo acelerada por GPU.

### Ciencia

Algunos de los proyectos que resultaron en una publicación por miembros del grupo son los siguientes:

Se han empleado simulaciones cosmológicas hidrodinámicas de galaxias enanas para explorar la formación de raros rotadores alargados como las galaxias observadas Pheonix y And II. De las 27 galaxias enanas simuladas, solo un sistema mostró una clara rotación alrededor del eje mayor, cuyo culpable es una fusión con otra galaxia masiva a  $z = 1,64$  que provocó la transición de una configuración achatada a alargada. Esta galaxia muestra un fuerte gradiente de metalicidad, que recuerda al medido en Phoenix y And II: este es el resultado del evento de fusión que calienta dinámicamente estrellas viejas y pobres en metales y de la formación estelar residual concentrada centralmente. Las grandes fusiones en galaxias enanas ofrecen una explicación viable para la formación de sistemas tan peculiares, caracterizados por fuertes gradientes de me-

talidad y rotación alargada (Cardona-Barrero et al., 2020).

Utilizando la simulación hidrodinámica cosmológica de última generación EAGLE, se han calculado las heterogeneidades químicas que surgen en el disco de galaxias debido a la aleatoriedad del proceso de acreción. En los sistemas de baja masa y en las afueras de las galaxias masivas, las regiones de baja metalicidad se asocian con una mayor formación de estrellas, una tendencia que se invierte en los centros de las galaxias masivas. Estas predicciones concuerdan con la relación entre la densidad superficial de la tasa de formación estelar y la metalicidad observada en las galaxias espirales locales del sondeo MaNGA (Scholz-Díaz et al., 2020).

Se demostró que la curva de rotación de la galaxia UDG AGC 242019, rica en gas, se ajusta bien a un halo de materia oscura con una pendiente interna que da asíntotas a  $\sim -0,54$  y que tal ajuste proporciona un parámetro de concentración que coincide con las expectativas teóricas. Este hallazgo muestra que las propiedades estructurales de estas galaxias son como las de otros LSB observados (Brook et al., 2020).

El estudio numérico del paso pericéntrico de los satélites mostró la correlación entre estos eventos dinámicos y el estallido de formación estelar en sus anfitriones, lo que sugiere que este mecanismo induce estallidos de SF tanto en satélites como en galaxias centrales, de acuerdo con estudios recientes del SFH de nuestra galaxia. Estos hallazgos pueden explicar las múltiples poblaciones estelares observadas recientemente en galaxias enanas como Carina y Fornax, y deben tenerse en cuenta en los modelos semianalíticos de formación de galaxias y extinción de satélites (Di Cintio et al., 2020).

En colaboración con I. Ferreras, se ha publicado una comparación de la precisión de las simulaciones EAGLE e Illustris-TNG en reproducir la evolución de galaxias en la "green valley" (Anghopo et al., 2020).

***Los proyectos en desarrollo se enumeran a continuación:***

Se ha completado el estudio teórico sobre tamaños de galaxias utilizando la simulación EAGLE. Este es un proyecto en colaboración con Ignacio Trujillo. Hay dos artículos en preparación: la comparación de predicciones de simulaciones numéricas sobre la nueva definición de tamaño de galaxia de Trujillo et al (2020); la formulación de una nueva definición

de la relación Tully-Fisher con la nueva definición del tamaño de las galaxias.

Se han completado dos estudios de la evolución de la función de luminosidad de las galaxias en cúmulos utilizando el análisis de las simulaciones C-EAGLE mencionadas anteriormente. El primer artículo ha llegado a la versión final, pero su publicación se ha retrasado debido a que colaboradores externos solicitaron más pruebas y varios cambios menores en el texto. Se ha redactado el segundo artículo.

Sobre el tema de las galaxias enanas, se han realizado dos estudios: uno sobre la metalicidad de las UDG en simulaciones y observaciones, y el otro sobre el número de distribución radial de las UDG en simulaciones de grupos locales. Estos están en estado avanzado.

***Colaboraciones con otros grupos del IAC***

Nuestro grupo tiene carácter muy transversal, y sus miembros han venido colaborando activamente con otros grupos del IAC dentro y fuera de la línea de investigación de galaxias. En particular, existe una fuerte colaboración con la línea de investigación Milky Way and Local Group. Esto no solo se debe al interés en el Grupo Local y las galaxias enanas de algún miembro de nuestro grupo, sino también porque dos de sus actuales estudiantes de doctorado han sido antiguos estudiantes de maestría en nuestro grupo. Además, uno de los proyectos de simulación desarrollados en ese grupo podrá aprovechar el código para simulaciones cosmológicas que estamos desarrollando. El grupo tiene varias colaboraciones en curso con el grupo TRACES, en particular con I. Ferreras Páez e I. Trujillo Cabrera, con el grupo Estallidos (J. Sánchez Almeida) y el grupo de estructura de gran escala liderado por F. Kitaura Joyanes.

***Participación en colaboraciones nacionales***

El grupo participa en un proyecto nacional coordinado con la UAM (México).

***Participación en colaboración internacional***

Los miembros del grupo han estado involucrados en varios proyectos internacionales como, por ejemplo, EAGLE, C-EAGLE, CLUES, NIHAO y HESTIA. Todos estos son proyectos de simulación de última generación que estudian la formación y evolución de galaxias a diferentes escalas. Dieron como resultado la publicación de artículos científicos sobre cúmulos de galaxias simulados (Season et al., 2020), materia oscura autointeractiva (Cruz et al., 2020) y la formación de las primeras galaxias (Abe et al., 2020).



## EVOLUCIÓN DE GALAXIAS (P/301113)

Jordi Cepa Nogué.

**Bernabé Cedrés Expósito, Mauro González Otero, Jakub Nadolny y Carmen P. Padilla Torres.**

E. Alfaro, (IAA); R.M. Pérez-Martínez, (ESAC); M. Cerviño, A.M. Pérez García (CAB-INTA); J.A. de Diego, J. González (IA-UNAM, México); J. Gallego (UCM); I. González-Serrano (IFCA-UNICAN); A.M. Lara López(UCM); J. Nadolny (Univ. de Varsovia, Polonia); M. Sánchez-Portal (IRAM); B. Vila (ESO, Chile).

### Introducción

El estudio de la evolución de las galaxias es un tema crucial de la Astronomía Extragaláctica moderna. Permite vincular las galaxias locales con las primeras que existieron en el universo. Pero para poder abordarlo es preciso obtener censos estadísticamente significativos de galaxias de distintas luminosidades, a distintas distancias. Observacionalmente implica ser capaz de observar objetos muy débiles, utilizando distintas técnicas y a distintas longitudes de onda, desde el dominio centimétrico hasta los rayos-gamma, no solo para estudiar distintos procesos físicos, y determinar las distribuciones espectrales de energía de las galaxias, sino debido al desplazamiento al rojo de las galaxias distantes.

El Proyecto que aquí se presenta está encaminado a explotar un conjunto de censos de galaxias multi-rango espectral de las mismas zonas del cielo que, combinados, constituyen la base de datos que llamamos "Evolución". Esta base de datos está formada por los censos denominados OTELO y GLACE, de galaxias de campo y en cúmulos, respectivamente, obtenidos utilizando los filtros sintonizables ópticos de OSIRIS en el telescopio GTC; el censo Lockman SpReSO obtenido mediante Espectroscopia óptica multiobjeto empleando OSIRIS en el telescopio GTC; y PEP, consistente en imágenes en el lejano infrarrojo obtenidas con el observatorio espacial Herschel de la ESA. Esta base de datos está enriquecida con datos auxiliares profundos procedentes de otros instrumentos, que abarcan desde las ondas centimétricas (utilizando el VLA) hasta los rayos X (utilizando el satélite XMM de la ESA).

Por tanto, "Evolución" proporciona, para miles de galaxias a desplazamientos al rojo entre 0.4 y 7.0, su morfología y distancias, las luminosidades en líneas de emisión de distintos elementos, y del continuo óptico, infrarrojo cercano y

lejano y rayos-X. El censo GLACE, de cúmulos de galaxias, obtenido mediante las mismas técnicas y a las mismas longitudes de onda que OTELO, permite comparar la evolución de las galaxias de campo con las de cúmulo, estudiando, así, la influencia del entorno. En suma, este conjunto de censos, permiten abordar varios aspectos críticos de la evolución de las galaxias tales como la variación de la tasa de formación estelar, la metalicidad, la luminosidad bolométrica, la extinción y la potencia de acreción de núcleos galácticos activos, entre otros temas, en función del tiempo cósmico y de la densidad ambiental. Todo ello incluso para las galaxias más débiles o las más distantes, al límite de las posibilidades de la actual instrumentación astronómica. Asimismo, la combinación de observaciones profundas a distintas longitudes de onda permitirá arrojar luz sobre las relaciones entre la confusa fauna de objetos observada a altos desplazamientos al rojo, y que nuestro grado de desconocimiento solo permite clasificar, hasta ahora, por la manera cómo se han detectado.

### Desarrollo y resultados

Los objetivos propuestos para 2021 fueron:

La lectura de la tesis doctoral de J. Nadolny. La lectura tuvo lugar en mayo.

Proseguir con la tesis de M. González Otero: determinación de flujos de líneas de emisión ópticas de las galaxias del Lockman Hole observadas con OSIRIS/GTC, procedentes de una muestra observada en el FIR con el satélite Herschel. Se espera poder disponer de los flujos de toda la muestra, haber derivado metalicidades y tasas de formación estelar a partir de dichos flujos y, posiblemente, obtener las primeras correlaciones con el flujo FIR, siempre que los indicadores ópticos hubieran pasado un control de calidad". Ya se dispone de los flujos ópticos y se están obteniendo los FIR. No se ha efectuado todavía la correlación entre ambos, porque se ha decidido priorizar la publicación de dos artículos: uno sobre FeLoBALS y otro de presentación general del cartografiado Lockman SpReSO, actualmente en proceso de escritura.

Publicar un artículo sobre los emisores [OII] de OTELO. El artículo ya se ha publicado.

Publicar una carta (letter) sobre la evolución de la formación estelar de galaxias de baja masa (actualmente en proceso de escritura) El artículo formato "letter" ya se ha publicado.

Publicar un artículo sobre las nubes de [OII] y [OIII] observadas en la muestra de OTELO

(análisis concluido, pendiente de escritura).  
Esta contribución aún está pendiente.

Además, se ha publicado un artículo resultado de la tesis de J. Nadolny, y otro sobre el uso de redes neuronales para la obtención de desplazamientos al rojo y tipos morfológicos de galaxias de OTELO, para su futura aplicación al cartografiado espectroscópico Lockman.

## EVOLUCIÓN DE GALAXIAS EN CÚMULOS (P/300424)

José A. López Aguerrri.

Rafael Barrera Delgado, Walter Boschin, Claudio Dalla Vecchia, Lilian F. Domínguez Palmero, Jairo Méndez Abreu, C. Muñoz-Tuñón y Jorge Romero Gómez.

E.M. Corsini (Univ. de Padua, Italia); L. Monelli (Inst. de Astronomía y Ciencia Planetaria, Chile); L. Constantin (INAF - Obs. de Breda, Italia); J.M. Vilchez, J. Iglesias (IAA); C. del Burgo (INAOE, México); E. Jiménez Bailon, S. Sánchez (UNAM, México); M. Girardi, S. Borgani (Univ. de Trieste, Italia); A. Biviano (Obs. Astronómico de Trieste, Italia); V. Debattista (Univ. de Lancashire, Reino Unido); E. D'Onghia (Univ. Wisconsin-Madison, EEUU); M. de Santos Lleo (ESA); M. Arnaboldi (ESO, Alemania); O. Gerhard (MPIA, Alemania); R. Sánchez Janssen (ATC, Reino Unido); A. Diaferio (Univ. de Turín, Italia); O. Gerhard (MPIA, Alemania); V. Wild, A.M. Weijmans (Univ. St. Andrews, Escocia); S. Zarattini (Obs. de Trieste, Italia); A. Aragon-Salamanca (Univ. de Nottingham, Reino Unido); R. Peltier, S. Trager (Kapteyn Inst., Países Bajos); G. Dalton (Univ. de Oxford, Reino Unido).

### Introducción

Las estructuras en el Universo, a todas las escalas de masa, se han formado de una forma jerárquica y principalmente producidas por fusiones de galaxias. Sin embargo, esta formación jerárquica de las galaxias puede ser modulada por el entorno en el cual se crean y evolucionan. Mientras que las galaxias de campo presentan una evolución pasiva, los cúmulos de galaxias son entornos de muy alta densidad donde las galaxias interaccionan unas con otras y con el gas intracumular caliente (ICM). Además, la dinámica de los cúmulos está dominada por la alta densidad y cantidad de materia oscura presente en los mismos y que provoca elevados potenciales gravitatorios. Por todo ello, los cúmulos de galaxias son sistemas complejos con múltiples componentes (galaxias, ICM, materia oscura) que evolucionan de manera acoplada. La mezcla de todas estas componentes, así como sus interacciones, hacen de los cúmulos de galaxias laboratorios ideales donde estudiar una gran variedad de fenómenos que provocan que la evolución de galaxias en estos entornos de alta densidad sea muy diferente a la de las galaxias de campo.

El objetivo de este Proyecto es estudiar la formación y evolución de las galaxias en estos entornos densos. Se pretende entender en qué entorno domina cada uno de los mecanismos de transformación de galaxias propuestos por las simulaciones numéricas y como se produce la evolución de los diferentes tipos de galaxias (tanto brillantes como enanas) en los cúmulos. Cuantificar observacionalmente la eficiencia de estos mecanismos no es una tarea sencilla ya que muchos de ellos actúan a la vez, lo hacen en escalas de tiempo muy diferentes, y en regiones del cúmulo también diversas. Sin embargo, hay una serie de evidencias observacionales que pueden ser directamente contrastadas: i) distribución morfológica y estructural de las galaxias de los cúmulos; ii) función de luminosidad de galaxias en cúmulos; iii) luz difusa (cantidad y distribución); iv) presencia de subestructuras galácticas dentro de los cúmulos; v) propiedades espectro-fotométricas de las galaxias enanas y brillantes; vi) propiedades del ICM. Todos estos observables nos proporcionan la información necesaria para entender la relación entre entorno y evolución galáctica. Estas son las cantidades que queremos medir en este Proyecto para muestras amplias de cúmulos de galaxias.

### Hitos

Se ha estudiado cómo las órbitas de las galaxias en cúmulos influyen en la formación de sus galaxias centrales (CDs). Se ha encontrado un vínculo directo entre las órbitas y el dominio de la luminosidad de las CDs. Los sistemas con CD muy luminosos y dominantes (Grupos Fósiles) tienen sus galaxias satélites en órbitas más radiales que cúmulos con CDs menos luminosas.

Se ha usado nuestro código de descomposición espectrofotométrica, c2d, para separar la información espectral de bulbos y discos en CALIFA. Encontramos que los bulbos se formaron pronto y no han evolucionado mucho con el tiempo. Sin embargo, sus propiedades determinan la evolución de las galaxias y las propiedades de los discos que se forman a su alrededor.

Se han completado las observaciones correspondientes al último ITP concedido al Proyecto BEARD, cuyo IP es miembro del Proyecto.

### Desarrollo y resultados

Este Proyecto se ha convertido en los últimos años en un proyecto interdisciplinar que combina observaciones, simulaciones y desarrollo instrumental con el fin de estudiar la forma-

ción y evolución de las galaxias en entornos de alta densidad de galaxias.

Los diferentes objetivos que se propusieron para 2021 han dado los siguientes resultados:

***Preparación de los cartografiados de cúmulos de WEAVE***

El espectrógrafo WEAVE es un instrumento de nueva generación que está siendo construido para el telescopio WHT. El instrumento está siendo desarrollado por un consorcio internacional en el cual el IAC tiene una importante involucración. En particular el J.A. López Aguerrí es Co-IP del Proyecto WEAVE. Este instrumento proporcionará, entre otras cosas, una visión única sobre las propiedades espectroscópicas de las galaxias en cúmulos. Los miembros del equipo científico del presente Proyecto están involucrados en el Proyecto WEAVE tanto a nivel instrumental como a nivel científico.

Varios paquetes instrumentales de WEAVE son responsabilidad del IAC, los cuales se completaron durante 2021. Estos sistemas están en el telescopio WHT y están siendo ensamblados con el resto de los sistemas del instrumento realizados por los otros miembros del consorcio. Se espera que el instrumento WEAVE entre en operación durante 2022. Desde el punto de vista científico los investigadores de este Proyecto están liderando el cartografiado sobre cúmulos de galaxias que observará el espectrógrafo WEAVE. Durante 2021 se ha estado trabajando en el caso científico para las etapas del Science Verificación y el inicio de los cartografiados.

Durante los últimos años se han obtenido imágenes profundas con la cámara WFC@INT de los cúmulos que se van a observar espectroscópicamente con WEAVE. En 2021 dichas imágenes han sido analizadas. En particular se ha trabajado en un estado sobre las propiedades de las galaxias enanas en dicha muestra de cúmulos.

***Realizar observaciones asociadas al proyecto de ITP BEARD***

El proyecto BEARD (Bulgeless Evolution And the Rise of Disks) representa un esfuerzo de >20 investigadores repartidos en 9 instituciones de 6 países diferentes con el objetivo de proporcionar restricciones observacionales irrefutables que prueben el éxito o el fracaso de la teoría jerárquica de la CDM en galaxias como la Vía Láctea. Con este objetivo, BEARD plantea un enfoque multidisciplinar en el que se usarán diferentes trazadores observacionales para revelar la formación y evolución de

dichas galaxias. BEARD ha sido seleccionado por el Comité Científico Internacional del Observatorio Astronómico del Roque de los Muchachos en las convocatorias de 2019 y 2020 como Programa de Tiempo Internacional (ID: ITP 2019-02; ITP 2020-06, PI: J. Méndez Abreu) y ha recibido más de 70 noches de observación en los telescopios GTC, WHT, TNG, INT y LT.

Durante 2021 se ha proseguido con las observaciones y reducción de datos de los diferentes instrumentos. Durante 2022 se publicará el artículo de presentación del cartografiado, así como sus primeros resultados científicos. Varios miembros de este Proyecto son miembros de la colaboración BEARD, incluyendo el IP: J. Méndez Abreu.

***Realizar la reducción de datos y análisis de los datos obtenidos con el instrumento MEGARA@GTC de BEARD***

Los datos obtenidos durante los últimos dos años gracias al Proyecto ITP BEARD han sido ya reducidos y se está trabajando en su explotación científica. Durante este tiempo, se han obtenido datos con MEGARA@GTC para unas 40 galaxias del cartografiado. Durante 2021 se ha estado trabajando en la detección y caracterización de vientos estelares asociados a formación estelar en las partes centrales de estas galaxias. Este tipo de fenómenos está asociado a lo que se suele conocer como “feedback de supernovas” y tienen un papel muy relevante en la formación estelar y la evolución de este tipo de galaxias.

***Estudio de bulbos y barras usando espectroscopia de campo integral***

La espectroscopía de campo de integral (IFS de sus siglas en inglés) ha permitido mejorar considerablemente nuestro conocimiento sobre la dinámica estelar en galaxias y, en particular, en galaxias barradas. Durante 2021, hemos continuado el trabajo iniciado años antes para adaptar nuestro conocimiento y herramientas previas en este campo a nuevos datos de espectroscopia de campo integral. Este año se ha publicado un artículo (liderados por V. Cuomo y J.A.López Aguerrí) donde se ha analizado una muestra de galaxias barradas con patrones de velocidad ultrarápidos. Este tipo de galaxias plantea un problema a la teoría de órbitas estelares ya que según esta teoría no deberían de existir. En el artículo publicado se analizó una muestra de 10 galaxias ultrarápidas, concluyendo que para estas galaxias el patrón de velocidades era ultrarrápido debido a medidas sobredimensionados de la longitud de la barra.

### ***Desarrollo de herramientas para la descomposición espectro-fotométrica de galaxias***

El código de descomposición fotométrica C2D ha seguido dando sus frutos durante 2021. Analizando una muestra de 129 galaxias obtenidas del cartografiado CALIFA, se ha publicado un artículo mostrando la evolución morfológica que sufren los bulbos y los discos durante la evolución galáctica. Entre los resultados obtenidos se puede destacar el hecho de que la relación masa-tamaño se mantiene para los bulbos cuando se usa su propia masa estelar (y no la de la galaxia entera), pero esto no sucede en el caso de los discos. Se interpretan los resultados de manera que los bulbos se forman pronto en la historia del Universo y no evolucionan mucho con el tiempo. Sin embargo, sus propiedades tienen un impacto directo en la evolución de la galaxia, y de los discos que se forman alrededor de ellos.

### ***Aplicación de técnicas espectro-fotométricas a grandes muestras de galaxias***

La aplicación de C2D a la muestra de 129 galaxias clasificadas como bulbo+disco en el cartografiado de CALIFA se ha realizado durante este año 2021. El análisis de estos resultados se prolongará durante 2022 dónde se publicarán las principales propiedades de las poblaciones estelares para los bulbos y los discos de la muestra.

### ***Estudio de galaxias ultra-difusas en cúmulos cercanos***

Durante 2021 se ha continuado el estudio de las propiedades de galaxias de bajo brillo superficial en cúmulos de galaxias cercanos. En particular, se han analizado los datos espectroscopios obtenidos con el instrumento OSIRIS@GTC para una muestra de galaxias de bajo brillo superficial situadas en el cúmulo A2142. Se han obtenido sus velocidades de recesión, así como propiedades intrínsecas de edad y metalicidad de este tipo de objetos. Se ha aprobado una nueva propuesta de observación en telescopio GTC para el periodo 2022A para ampliar este estudio a otros cúmulos cercanos.

### ***Simulaciones de alta densidad de galaxias barradas tipo la Vía Láctea***

Durante 2021 se ha continuado el análisis de la simulación de alta densidad GALAKOS realizada en el superordenador de La Palma por J. A. López Aguerra y E. D'Onghia. Esta simulación representa una galaxia barrada simi-

lar a la MW. En particular, se han analizado la evolución de los parámetros estructurales de la barra (longitud, fuerza y patrón de velocidades) con el tiempo. Este estudio puede servir para clasificar las barras desacuerdo con estos parámetros estructurales en sistemas más o menos evolucionados. Actualmente, se está escribiendo un artículo a este respecto.

### ***Funciones de luminosidad en simulaciones cosmológicas de cúmulos de galaxias***

Durante 2021 se ha concluido el estudio sobre las funciones de luminosidad en cúmulos de galaxias presentes en la simulación cosmológica EAGLE. Se han caracterizado las funciones de luminosidad de estos cúmulos simulados obteniendo sus parámetros de ajuste similar a como se hace observacionalmente. Se está escribiendo un artículo al respecto, el cual será pionero en este tipo de estudio y servirá de comparación en el futuro con datos observaciones sobre funciones de luminosidad.



## FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE GALAXIAS: OBSERVACIONES INFRARROJAS Y EN OTRAS LONGITUDES DE ONDA (P/308610)

Ismael Pérez Fournon.

Stefan Geier y Frédéric N. Poidevin.

Principales colaboraciones internacionales en las que participa el grupo: Herschel SPIRE y programas de seguimiento de galaxias Herschel, z-GAL, SERVS, DEEPDRILL, SDSS-IV, SGLF, LensWatch, QUIJOTE, etc.

### Introducción

Este grupo desarrolla varios proyectos extragalácticos en diferentes rangos del espectro electromagnético utilizando satélites y telescopios terrestres para estudiar la evolución cosmológica de las galaxias y el origen de la actividad nuclear en galaxias activas. El grupo forma parte del consorcio que construyó el instrumento SPIRE del Observatorio Espacial Herschel y de otras colaboraciones internacionales.

Los proyectos principales en 2021 han sido:

- Galaxias y cúasares distantes con emisión en el infrarrojo lejano descubiertas con el Observatorio Espacial Herschel. Observaciones de seguimiento multi-frecuencia.
- Sloan Digital Sky Survey IV: galaxias Lyman alfa muy luminosas.
- Desarrollos de casos científicos para las futuras misiones espaciales en el infrarrojo medio y lejano.
- Búsqueda de supernovas en galaxias distantes amplificadas por lentes gravitacionales.
- Descubrimiento de supernovas utilizando las alertas públicas de Zwicky Transient Facility (ZTF) y seguimiento fotométrico y espectroscópico con los telescopios LT y GTC.
- Supernovas superluminosas. Estudios de polarización.
- Preparación de estudios de magnetismo con SKA.
- Estudios fotométricos de asteroides.
- Proyecto "Vanishing and Appearing Sources in a Century of Observations (VASCO)".
- Preparación de la ciencia del Observatorio Vera Rubin LSST sobre fuentes transitorias.

### Hitos

Poidevin et al. (2022) presentan resultados de estudios de polarización en el rango visible de la supernova superluminosa pobre en hidrógeno SN 2020znr en 3 fases después del máximo (+34, +288 y +289 días). Todas las medidas son consistentes con la ausencia de polarización después de corregir de efectos instrumentales y de transmisión en el medio interestelar.

Marques-Chaves et al. (2021) reportan el descubrimiento de una galaxia joven con formación estelar extremadamente luminosa a  $z = 3.244$  que muestra una fuga copiosa del continuo Lyman. Espectroscopía de alta calidad del continuo UV en reposo con el telescopio GTC revela emisión significativa del continuo Lyman y perfiles P-Cygni fuertes indicativos de una edad joven del "starburst".

Lacy et al. (2021) describen el cartografiado 'DeepDrill', que ha usado la Infrared Array Camera (IRAC) del Telescopio Espacial Spitzer para observar tres de los cuatro "Deep Drilling Fields (DDFs)" del Observatorio Vera C. Rubin Legacy Survey of Space and Time (LSST) en dos bandas, centradas en 3.6 y 4.5  $\mu\text{m}$ .

Álvarez-Márquez et al. (2021) reportan la detección de un flujo hacia afuera de gas ionizado masivo y rápido en BOSS-EUVLG1, la galaxia más luminosa en el UV detectada hasta ahora en el Universo. BOSS-EUVLG1 es la más brillante de una nueva clase de galaxias extremadamente luminosas en el UV (EUVLGs), con ritmos de formación estelar (no oscurecidos) grandes, de BOSS.

Tinyanont et al. (2022) presentan observaciones de SN 2020fqv, una supernova de tipo II en el cúmulo de Virgo con una curva de luz de resolución temporal alta del "Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS)", espectroscopía ultravioleta del telescopio espacial Hubble posterior a 3,3 días después de la explosión y espectroscopía con telescopios terrestres.

### Desarrollo y resultados

Utilizando los instrumentos OSIRIS y EMIR se ha continuado el estudio de galaxias Lyman alfa con una formación estelar muy alta y luminosidad en el UV extremadamente alta descubiertas por Marques-Chaves et al. (2020). Se ha estudiado en detalle la cinemática del gas ionizado en la primera galaxia de esta clase, BOSS-EUVLG1 a  $z=2.47$  (Álvarez-Márquez et al 2021). Otra galaxia de la muestra (J0121,0025) es la más brillante en el UV entre las pocas galaxias conocidas con detección del continuo Lyman (Marques-Chaves et al. 2021). Este re-

sultado indica que las galaxias “starburst” muy luminosas pueden tener un papel importante en la reionización cósmica.

Se ha continuado el análisis de galaxias Herschel a desplazamiento al rojo alto con datos de varios telescopios y satélites. Se ha contribuido a varias publicaciones sobre galaxias Herschel muy luminosas (ej. Riechers et al. 2021ab, Berta et al. 2021) así como al cartografiado con Spitzer de los Vera Rubin Observatory “Deep Drilling Fields” (Lacy et al. 2021) en el marco de los proyectos de Spitzer SERVS y DeepDrill.

Se ha continuado el proyecto de búsqueda de supernovas en galaxias distantes amplificadas por lentes gravitacionales de los proyectos SGLF y LensWatch y se ha llevado a cabo el seguimiento espectroscópico y fotométrico de varias muestras con los telescopios LT y GTC para su clasificación y determinación del desplazamiento al rojo. Para apoyar los estudios sobre supernovas descubiertas con ZTF y como preparación para estudios futuros con el Observatorio Vera Rubin LSST se ha continuado el desarrollo de herramientas de análisis que combinan los datos de las alertas públicas de ZTF procesadas por los “brokers” (principalmente Lasair y ALeRCE) con los principales catálogos de galaxias de los cartografiados de gran área (SDSS, Pan-STARRS1, DESI Legacy Imaging Surveys, Subaru, etc.). Utilizando las alertas públicas de fuentes transitorias del proyecto Zwicky Transient Facility se han descubierto y reportado al “Transient Name Server (TNS)” de la Unión Astronómica Internacional un gran número de posibles supernovas. También se ha reportado a TNS la clasificación espectroscópica de 25 supernovas, incluyendo una supernova superluminosa. Utilizando el telescopio LT se ha contribuido a la selección final de supernovas para ser observadas en el IR cercano con el instrumento WFC3 del HST en el proyecto “Supernova in the IR avec Hubble (SIRAH)” con el objetivo de estudiar el diagrama de Hubble en el infrarrojo. Se ha iniciado también un novedoso estudio de polarización de supernovas superluminosas con ALFOSC (telescopio NOT) y los primeros resultados, sobre la SN 2020znr, se presentan en Poidevin et al. (2022). Estos proyectos sobre supernovas están orientados también a la preparación de la ciencia del Observatorio Vera Rubin LSST sobre fuentes transitorias. [Curva de luz multi banda de la la supernova superluminosa SN 2020znr y ajuste de un modelo de magnetar con el modelo MOSFIT (Poidevin et al. 2022)] (curvadeluz2020znr.png).

Utilizando el LT se ha contribuido al estudio de la SN 2020fqv, una supernova de tipo II en la

galaxia NGC 4568 del cúmulo de Virgo (Tinynont et al. 2022). Lo novedoso de este trabajo ha sido la oportunidad de observar esta supernova poco después de su explosión con un gran número de telescopios, incluyendo HST (espectroscopía UV ultra rápida) y TESS. El primer espectro de SN 2020fqv fue obtenido con el instrumento SPRAT del telescopio LT solo 1,1 días después de la explosión.

Nota de prensa: <https://hubblesite.org/content/news-releases/2021/news-2021-007?news=true>

## GAS MOLECULAR Y POLVO EN LAS GALAXIAS A TRAVÉS DEL TIEMPO CÓSMICO (P/301509)

Helmut Dannerbauer.

Víctor P. Bonjean, Aurelio Carnero Rose-ll, Chiara D'Eugenio, Oliver Díaz Rodríguez, Iveth Gaspar Gorostieta, Carlos M. Gutiérrez de la Cruz y Andrés Laza Ramos.

Colaboradores del IAC: Jesús Falcón Barroso, Johan H. Knapen Koelstra, José A. López Aguerri, Ismael Pérez Fournon, Rafael Rebollo López, José M. Rodríguez Espinosa e Ignacio Trujillo Cabrera.

A. Bolatto (Univ. de Maryland, EEUU); C. Casey (Univ. de Texas, EEUU); Z. Chen (Univ. de Nanjing, Rep. Popular China); N. Cross (Royal Obs. de Edimburgo, Escocia); A. Díaz Sánchez (Univ. Politécnica de Cartagena); C. De Breuck, R. Ivison (ESO, Alemania); S. Driver (UWA, Australia); B. Emonts (NRAO, EEUU); M. Lehnert (IAP, Francia); T. Wong (Univ. de Illinois, EEUU).

### Introducción

Dos cuestiones fundamentales en la Astrofísica son la conversión de gas molecular en estrellas y cómo este proceso físico depende del entorno en todas las escalas, desde sistemas planetarios, cúmulos estelares, galaxias hasta cúmulos de galaxias. El objetivo principal de este Proyecto es el de estudiar la formación y evolución de galaxias a partir de la materia interestelar. Por ello, estudiaremos el gas molecular frío, el combustible de la formación estelar y el polvo, producto residual del proceso de formación, en galaxias a través del tiempo cósmico. Los estudios están basados, sobre todo, en observaciones en el infrarrojo lejano y en el radio. Nos centraremos en observaciones con interferómetros de radio como son NOEMA, ALMA, ATCA, SMA y VLA. Se prevén estrechas colaboraciones con otros proyectos del IAC, sobre todo para observaciones de galaxias con telescopios de radio. El grupo de trabajo caracterizará las propiedades de la formación estelar de galaxias masivas en el universo lejano a través del tiempo cósmico. Esto nos dará la oportunidad de estudiar la secuencia de formación de galaxias con brote estelar. Además, este grupo de trabajo investigará fuentes seleccionadas desde cúmulos de galaxias y del campo para explorar la evolución de galaxias en función del entorno. Además, realizaremos estudios complementarios de galaxias locales (seleccionadas desde CALIFA y WEAVE-APERTIF) que servirán de referencia

para investigaciones futuras de galaxias a alto desplazamiento al rojo.

### Hitos

Organización de la XXXII Canary Islands Winter School of Astrophysics "Formation and Evolution of Galaxy Clusters Across Cosmic Time" con J.A. López Aguerri.

Contribución con varios artículos como autores (principales) (parte de colaboraciones internacionales) sobre el estudio de galaxias de alto z.

Se ha preparado la versión 1 de los datos públicos de ESO (que tendrá lugar el 31 de enero de 2022). Se ha reducido la mayor parte de los datos, incluyendo el control de calidad de los mismos. Trabajo realizado principalmente por A. Carnero.

Se ha aprobado el ciclo 1 propuesta del JWST dirigido por H. Dannerbauer sobre un cúmulo de galaxias en formación.

Se han publicado tres notas de prensa del IAC (una de ellas vinculada a una de la ESA) sobre trabajos arbitrados dirigidos por nuestro grupo de investigación.

### Desarrollo y resultados

Este grupo de trabajo está bien establecido en el IAC y tiene estrechas colaboraciones con investigadores del IAC. En respeto a publicaciones, este grupo de trabajo estaba involucrado en 58 artículos en 2021 gran parte (34) por la participación de un miembro del grupo en el Dark Energy Survey -, del que contribuyó significativo en siete artículos (uno de "corresponding" autor y otro de segundo y/p tercer autor). Basado a los "lead artículos" del grupo hubo tres notas de prensa del IAC y uno de la ESA/HST. También, en este año, con éxito se envió como IPs propuestas de observaciones al GTC, VLT, ATCA and JWST. Se asistió a varios congresos (virtuales) para presentar los resultados. Además, se organizó con J.A. López Aguerri la XXXII Canary Islands Winter School of Astrophysics "Formation and Evolution of Galaxy Clusters Across Cosmic Time" con 65 participantes (55 presenciales).

En 2021, el grupo de trabajo se enfocó en siguientes proyectos para estudiar la formación y evolución de galaxias a partir de la materia interestelar:

#### *Impacto de entorno a la materia interestelar*

Desde abril de 2017 se está liderando un programa largo (IP: Dannerbauer) de 640 horas con el radio interferómetro ATCA (Australian

Telescope Compact Array). Estos datos, nos darán la oportunidad de estudiar sistemáticamente el impacto del entorno a la materia interestelar fría en galaxias en  $z=2$ , la época fundamental de la formación de galaxias. Se observó 100% del tiempo concedido y todos los datos están reducidos. Este año se publicó el primer artículo basado a este programa con primeros autores S. Jin (expostdoc del IAC) y H. Dannerbauer. En el mes de mayo, una estudiante doctoral de la Univ. de Nanjing (Z. Chen) llegó al IAC (con una beca del gobierno chino para dos años) y ha empezado de trabajar con datos de este programa que serán parte de su tesis doctoral.

#### **ESO Public Survey SHARKS:**

La meta principal de este survey (IP: H. Dannerbauer) es caracterizar galaxias lejanas seleccionadas en el infrarrojo lejano y el radio. La reducción de estos datos en el infrarrojo cercano (banda Ks) con el telescopio VISTA e instrumento VIRCAM ha progresado bastante bien gracias por el nuevo postdoc A. Carnero, más de 80% ya están reducidos. También se preparó el primero "data release" del Proyecto SHARKS vía ESO que tendrá lugar el 31 de enero de 2022. Se tomó más de 90% de las observaciones concedidas. Varios miembros del grupo empezaron la explotación científica de los datos de SHARKS, incluyendo una tesis. Al final de este año, en estrecha colaboración con I. Trujillo Cabrera, el "Big Data" postdoc Z. Ghaffari ha empezado de reducir las imágenes con el objetivo de extraer las estructuras de bajo brillo de las galaxias.

#### **Búsqueda de galaxias brillantes con brote estelar en el submilimétrico**

- En respeto al programa large con IRAM NOEMA "z-GAL: A Comprehensive NOEMA Redshift Survey of the Brightest Herschel Galaxies", se concentró en la reducción de los datos y la extracción de flujos del continuum y de líneas espectrales, se espera de terminar estas tareas al principio del año 2022.

- Se publicó dos artículos basado en la búsqueda de "lensed submillimeter galaxies". En el primero, casi un Einstein Ring se determinó la distancia y se caracterizó sus propiedades. En el segundo se descubrió una galaxia lejana con propiedades del gas molecular similar a nuestra Vía Láctea. Los dos artículos fueron acompañados por notas de prensa de IAC y también de la ESA/HST (el primero).

#### **Búsqueda de sobre-densidades de galaxias en el universo lejano**

Al principio de año, una publicación basada a datos tomados con el telescopio GTC OSIRIS de una sobre-densidad en  $z=5.2$  fue publicado en MNRAS y acompañado de una prensa de nota del IAC que llamó atención: entrevista con cadena ser de Canarias y artículo en prestigioso periódico alemán. También se ha aprobado una propuesta para el ciclo 1 del JWST dirigido por H. Dannerbauer sobre un cúmulo de galaxias en formación. La postdoc R. Calvi estaba trabajando en la reducción de observaciones con el GTC-EMIR de cuatro protocúmulos de galaxias en  $z=2$ . El postdoc V. Bonjean desarrolló un código para buscar sobre-densidades. Se aplicará este código a datos de SHARKS y en simulaciones para la preparación de la misión Euclid.

## GRUPO DE ESTUDIOS DE FORMACIÓN ESTELAR GEFE (P/309201)

Casiana Muñoz-Tuñón.

Nicola Caon, Nieves D. Castro Rodríguez, Cecilia Fariña, Joao J. Feio Calhau, Ana L. González Morán, José A. López Aguerri, Jairo Méndez Abreu, Daniel Reverte Paya, José M. Rodríguez Espinosa, Jorge F. Sánchez Almeida y Antonia Varela Pérez.

Colaboradores del IAC: Claudio Dalla Vecchia, Helmut Dannerbauer, Laura Scholz Díaz e Ignacio Trujillo Cabrera.

P. Arrabal Haro (NoriLab, Arizona, EEUU); A. Lumbreras Calle (CEFCA); L. Sánchez Menguiño (Univ. de Granada); S. Sánchez, I. Cruz-González (UNAM, México); R. Hinojosa (Obs. Cerro Tololo, Chile); O. González Martín (IRYA, Morela, México); D. Sobral (Univ. de Lancaster, Reino Unido); M. Mass Hesse (C. de Astrobiología, INTA-CSIC, Madrid); G. Tenorio Tagle, S. Silich, (INAOE, México); D. Elmegreen (IBMNY, EEUU); R. Sánchez Janssen, M. García del Valle (Royal Obs. Edinburgo, Reino Unido); A. Monreal Ibero (Obs. Leiden, Países Bajos); A.R. Plastino (Univ. del Noroeste, Buenos Aires, Argentina); ESTALLIDOS (<http://www.iac.es/project/GEFE/estallidos/>).

### Introducción

El Proyecto interno GEFE es parte del proyecto coordinado ESTALLIDOS, financiado por el Plan Nacional desde el año 2001. El último proyecto aprobado es ESTALLIDOS7. En el Proyecto GEFE trabajamos en base al caso científico de ESTALLIDOS7.

La formación de estrellas (SF) marca las edades de las galaxias y, de hecho, define los diversos tipos de galaxias. Durante las últimas dos décadas, nuestro grupo ha hecho contribuciones significativas a nuestra comprensión de los starbursts y su impacto en las galaxias anfitrionas. En el pasado, hemos adquirido experiencia sobre los procesos de SF masivos y sus consecuencias en el Universo local, al estudiar con gran detalle los procesos de en objetos locales (tiempo presente) a partir de datos obtenidos con buena resolución espacial y espectral. En la última década, las observaciones con corrimientos al rojo intermedios y altos se han incrementado extraordinariamente y desde el proyecto anterior ESTALLIDOS6 aplicamos nuestros conocimientos y técnicas también a objetos/galaxias distantes. La mejora en la cantidad de estos datos es grande, disminuyendo extraordinariamente los errores

estadísticos. Sin embargo, si las recetas utilizadas para interpretar estos datos son simplistas o no totalmente adecuadas, los errores sistemáticos pueden ser aún muy altos, lo que podría conducir a escenarios evolutivos erróneos. En la presente propuesta damos un paso más, aplicando nuestras técnicas y conocimientos obtenidos del estudio de starbursts locales, a los excelentes cartografiados que también ya están dando datos de buena calidad, en otras épocas de su evolución.

En el IAC lideramos el objetivo titulado: "Formación Estelar a lo largo de la historia del Universo". Nuestro trabajo se estructura en los siguientes objetivos específicos que son los que se abordarán en los próximos tres años:

- Estudio de la formación de estrellas que se alimentan de gas a diferentes  $z$ .
- Comprensión de la formación de estrellas en  $z$  diferentes, a partir de información fotométrica de múltiples longitudes de onda.
- Cuantificación de la retroalimentación de la SF.
- Starburst en la época de la reionización.

### Hitos

Descubrimiento de Ha en emisión con doble pico que podría estar generada en discos de acreción alrededor agujeros negros de masa intermedia flotando libremente en el halo de algunas galaxias.

Polytropic cores están presentes halos de materia oscura si estos están simulados con suficientes colisiones.

Demostración de la existencia de una sobre-densidad rica en galaxias a  $z = 5.2$ .

### Desarrollo y resultados

#### *Demostrando la existencia de una rica sobredensidad de galaxias a $z = 5.2$*

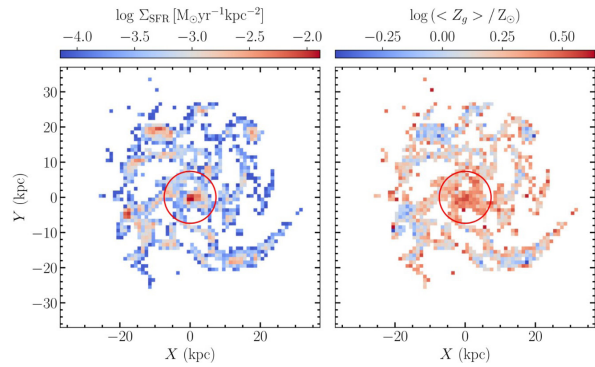
Reportamos los resultados de un programa espectroscópico piloto de una región a  $z = 5.2$  en el campo GOODS-N que contiene una sobredensidad de galaxias alrededor de la conocida galaxia submilimétrica (SMG) HDF850 .1. Hemos seleccionado miembros de clúster candidatos del catálogo fotométrico óptico de 25 bandas del proyecto Shards (Survey for High- $z$  Absorption Red and Dead Sources). Con el instrumento OSIRIS en el telescopio GTC, se han observado 17 galaxias seleccionadas en el ultravioleta (LAE y LBG) con redshift entre  $5,15 < z_{\text{phot}} < 5,27$ , candidatas a estar asociadas físicamente con la sobredensidad. 13 de estas 17 (76 por ciento) fuentes tienen confirmación



espectroscópicas con la línea Ly  $\alpha$  coincidente en el corrimiento al rojo del protocúmulo de galaxias PCI-HDF850.1; Esto demuestra la alta fiabilidad de nuestro método de obtención del corrimiento al rojo fotométrico y 10 de las 13 fuentes son nuevos miembros que acabamos de confirmar. Con el trabajo aumentamos el número de objetos confirmados en esta sobredensidad de 13 a 23. Para caracterizar completamente esta estructura, combinamos nuestro conjunto de datos los de la literatura. Además del SMG HDF850.1, ninguno de los 23 miembros confirmados espectroscópicamente es brillante en el rango de longitud de onda del infrarrojo lejano/sub-mm (SFRIR < unos cientos de Msun año<sup>-1</sup>). El análisis de agrupamiento de la muestra completa de los 23 miembros revela cuatro componentes distintas en el espacio físico en diferentes estados evolutivos, dentro del rango  $\Delta z < 0,04$  desde la región central que alberga SMG HDF850.1. La masa del halo de toda la estructura en  $z = 5.2$ , estimada por una variedad de métodos, oscila entre 2 y  $8 \times 10^{12}$  Msun. La comparación con la literatura sugiere un ensamblaje a gran escala comparable a la formación de un cúmulo central similar a Virgo en  $z = 0$  con varias componentes satélite que posiblemente se integrarían en un único halo si el protocúmulo fuera el progenitor cúmulo más masivo, como Coma ( $> 10^{15}$  Msun).

#### *Historia de la formación estelar alimentada por gas en simulaciones numéricas*

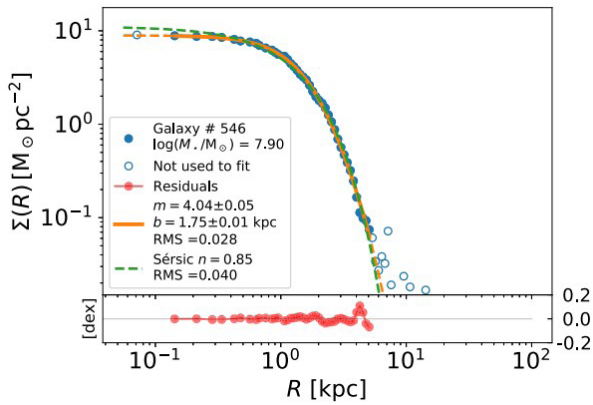
La teoría predice que la acumulación de gas cosmológico juega un papel fundamental en la formación de estrellas en las galaxias. Sin embargo, aún falta una descripción detallada del proceso de acreción para interpretar las observaciones. Utilizando la simulación hidrodinámica cosmológica de última generación EAGLE, resolvemos las heterogeneidades químicas que surgen en el disco de galaxias debido a la aleatoriedad del proceso de acreción. En los sistemas de baja masa y en las afueras de las galaxias masivas, las regiones de baja metalicidad se asocian con una mayor formación de estrellas, una tendencia que se invierte en los centros de las galaxias masivas. Estas predicciones concuerdan con la relación entre la densidad superficial de la tasa de formación estelar y la metalicidad observada en las galaxias espirales locales del cartografiado de MaNGA (Sánchez-Menguiano+19, ApJ). Este trabajo se describe en uno de los artículos que publicamos este año (Scholz-Díaz+21, MNRAS).



**Mapas de tasa de formación estelar, densidad superficial y metalicidad de galaxias modelo que muestran la anticorrelación observada (Scholz-Díaz+21, MNRAS).**

#### *Las galaxias como sistemas autogravitatorios de máxima entropía*

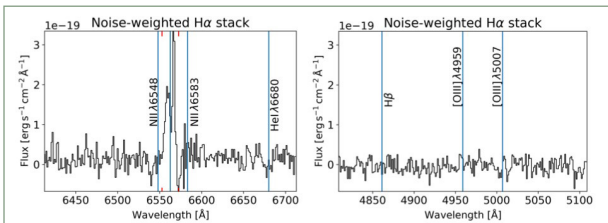
A partir de Sánchez Almeida+20 (A&A), abrimos una línea de investigación para explorar si las galaxias son estructuras autogravitatorias de máxima entropía Tsallis. Esta entropía dicta el equilibrio termodinámico en sistemas físicos con fuerzas de largo alcance como la gravedad. Esta posibilidad tiene una serie de audaces consecuencias teóricas y observacionales. Desde la teoría, se puede explicar desde primeros principios el origen de la distribución de la luz en las galaxias (perfiles de Sersic) y la presencia ubicua de núcleos o mesetas en las regiones más internas de las galaxias. También puede arrojar luz sobre la naturaleza de las partículas de materia oscura, que deben poder alcanzar el equilibrio termodinámico dentro de un tiempo de Hubble. Hemos avanzado significativamente en esta dirección durante 2021. En Sánchez Almeida & Trujillo 21 (MNRAS), mostramos que los núcleos politrópicos, característicos de la entropía de Tsallis, están presentes en simulaciones numéricas de DM con suficientes colisiones. En Sánchez Almeida+21 (ApJ), mostramos que las distribuciones de luz politrópicas están presentes en la mayoría de las galaxias observadas y, a menudo, son indistinguibles de las funciones de Sersic (Ver figuras).



**Observación de densidad de superficie de masa y ajuste politrópico de mejor ajuste en comparación con un ajuste de perfil Sérsic. Consulte el recuadro para obtener más detalles. De Sánchez Almeida+21, ApJ.**

*Búsqueda de emisión débil de Ha en el halo de las galaxias locales*

La detección inequívoca de la formación estelar cosmológica que alimenta el gas en las galaxias es uno de los principales desafíos de observación en los estudios de galaxias. Después de varios años e intentos, 2021 llegó con un avance significativo en esta búsqueda. Usando sus datos públicos de MUSE Wide (Urrutia+19, A&A), buscamos emisión débil en Ha alrededor de galaxias locales y encontramos condensaciones débiles que emiten Ha en los halos de algunas de ellas. Para nuestra sorpresa, Ha a menudo muestra un doble pico (ver la figura). Descartamos que las señales sean creadas por artefactos instrumentales, residuos de líneas telúricas o intrusos de alto corrimiento al rojo. Curiosamente, la mejor explicación que se nos ocurrió para los picos dobles es que se crean en discos de acreción alrededor de IMBH rebeldes. El resultado de nuestra búsqueda se presenta en un trabajo presentado a la ApJ en diciembre pasado (Sánchez Almeida+22).



**Espectros obtenidos sumando la emisión de las condensaciones de Ha detectados en el halo de algunas galaxias locales. Es importante enfatizar, la debilidad de la señal y el hecho de que Ha muestra un pico doble como se esperaba del IMBH escondido (Sanchez Almeida+22, ApJ).**

*Preparación de la propuesta de SV para WEAVE*

La puesta en marcha de WEAVE se ha retrasado en varias ocasiones y cada vez que se dan nuevos plazos hemos tenido que recopilar nuevas muestras y hacer simulaciones de la observación. Se espera poder llevarlo a cabo en 2022.

## HUELLAS DE LA FORMACIÓN DE LAS GALAXIAS: POBLACIONES ESTELARES, DINÁMICA Y MORFOLOGÍA (P/300624)

Ignacio Martín Navarro.

Eirini Angeloudi, Marc Balcells Comas, Lilian F. Domínguez Palmaro, Jesús Falcón Barroso, Anna Ferré Mateu, Ignacio A. Ferreras Páez, Iveth Gaspar Gorostiera, Giulia Golini, Marc Huertas-Portocarrero Company, Adriana D. Lorenzo-Cáceres Rodríguez, Pablo Rodríguez Beltrán, Nuria Salvador Rusiñol, Laura Scholz Díaz, Zahra Sharbaf, Ignacio Trujillo Cabrera, Alexander Vazdekis Vazdekis y Daniel Walo Martín.

Colaboradores del IAC: Andrés Asensio Ramos, Giuseppina Battaglia, C.hristopher Brook, Claudio Dalla Vecchia, Arianna Di Cintio, Johan H. Knapen Koelstra, Jairo Méndez Abreu, Matteo Monelli, Cristina D. Ramos Almeida y Jorge F. Sánchez Almeida.

M. Montes (Space Telescope Science Inst. EEUU); J. Anghopo (Univ. College Londres, Reino Unido); E.R. Carrasco (Gemini Obs./AURA, La Serena, Chile); R. Leaman (Univ. de Viena, Austria); F. Buitrago Alonso S. Raji (Univ. de Valladolid); A. Chies Santos (UFGRS. Porto Alegre, Brasil); F. La Barbera (Obs. de Capodimonte, Italia); M. Akhlaghi (CEFCA).

### Introducción

Entender la formación y evolución de las galaxias es, sin duda alguna, uno de los grandes retos de la Astronomía actual. La acumulación observacional de datos de gran calidad en los últimos años permite explorar con gran detalle las propiedades de las galaxias cercanas y con creciente precisión la naturaleza de estos objetos a  $z \sim 1$ . Sin embargo, a día de hoy no existe un consenso de cómo se produce la evolución desde la población de objetos lejanos hasta las galaxias actuales. La razón principal para este disenso es la intrínseca complejidad del fenómeno de la formación de las galaxias. De hecho, dentro del paradigma actual, la formación y evolución de las galaxias se entiende como resultado de una combinación compleja de agrupamientos jerárquicos, disipación de gas, fusiones y evolución secular. Mientras que la gravedad guía el ensamblaje de las estructuras cósmicas, el gas se enfría en el centro de los halos de materia oscura y forma un disco, que adquiere momento angular a través de los torques de marea producidos

por las estructuras cercanas. El gas finalmente se enfría y forma estrellas. Una vez se han formado estas galaxias primigenias, se espera que las fusiones entre ellas den lugar a la población de objetos tanto espirales como elípticos que observamos en la actualidad. En función de qué tipo de componente sea dominante (gas o disipativa frente a estrellas o no disipativa) durante la fusión de las galaxias, el resultado de los mecanismos de fusión puede ser muy distinta.

Una historia de formación compleja, como la que se espera describa la evolución de las galaxias, necesita de un acercamiento multidisciplinar para ser entendida. Este análisis debe englobar las poblaciones estelares, la dinámica de los diferentes constituyentes de las galaxias y un estudio morfológico cuantitativo de su estructura. Para ello nuestro grupo consta de personal con experiencia en simulaciones cosmológicas, estudios dinámicos, análisis de las poblaciones estelares y propiedades de las galaxias con desplazamiento al rojo hasta  $z \sim 3$ . Nuestra meta es alcanzar en los próximos años una visión consistente de la evolución de las galaxias en la última mitad de la edad del Universo.

Dentro de este esquema, las tres líneas maestras llevadas a cabo en nuestro grupo son:

### Modelos de síntesis de poblaciones estelares

- Desarrollo de modelos de poblaciones estelares
- Métodos de análisis para el estudio de poblaciones estelares
- Universalidad de la IMF

### Evolución cósmica de galaxias

- Poblaciones estelares en cúmulos de galaxias
- Evolución de galaxias masivas
- Ciencia a bajo brillo superficial
- Simulaciones numéricas y aprendizaje automático

### Procesos evolutivos en galaxias cercanas

- Cartografiados locales
- Cinemática estelar
- Agujeros negros como moduladores de la formación estelar

### Hitos

Inicio del cartografiado de imagen ultra profunda de galaxias cercanas con el Large Binocular Telescope.

Determinación precisa de la distribución de velocidades a lo largo de la línea de visión usando espectros integrados.

Descubrimiento de una distribución anisótropa de las galaxias satélites con formación estelar debido al efecto de los agujeros negros.

Se ha derivado una pequeña contribución de poblaciones estelares muy jóvenes concentradas en la región más central de galaxias supermasivas cercanas.

### Desarrollo y resultados

Como es costumbre, la actividad científica de TRACES es particularmente polifacética. Respecto a las líneas generales descritas anteriormente, los principales avances llevados a cabo durante el año podrían esquematizarse de la siguiente manera:

#### *Modelos de síntesis de poblaciones estelares*

- Desarrollo de modelos de poblaciones estelares

Se ha continuado la colaboración científica que combina el código EMILES con la teoría IGIMF, incluyendo una visita a la ESA y una contribución oral en la EAS. Se eligieron los modelos de atmósferas estelares que se utilizarán en el Proyecto, así como los conjuntos de isocronas y las listas de abundancias químicas en la mezcla solar. Se probó la versión vieja y la actualizada del código synple para comparar las diferencias en los espectros obtenidos. Se probaron diferentes listas de líneas moleculares y atómicas con ambas versiones del código y variando abundancias químicas. Se encontró que la nueva versión brinda un mejor ajuste en los espectros estelares con la excepción de las líneas de CN, sin embargo, éste es un efecto debido a que se estaban utilizando modelos estelares de candidatos solares, de modo que se corrigió al utilizar observaciones solares directamente. Se ha publicado una extensión de la biblioteca de espectros estelares MILES con ~200 nuevas estrellas. También se midieron los parámetros atmosféricos de toda la biblioteca de MILES, ahora compuesta por ~1200 estrellas. Se ha publicado una versión semi-empírica de la biblioteca espectral MILES, incorporando respuestas espectrales diferenciales al variar las abundancias relativas de elementos alfa. Dichas correcciones diferenciales se han obtenido a partir de espectros estelares teóricos. Se ha publicado un extenso trabajo en el que se comparan los parámetros estelares de la nueva biblioteca espectral XSL (observada con el X-Shooter en el VLT) con espectros sintéticos.

- Métodos de análisis para el estudio de poblaciones estelares

Se ha escrito y publicado un artículo sobre variaciones de brillo superficial para ajustar poblaciones secundarias en galaxias. Se han presentado dichos resultados en forma de poster en los congresos de la EAS y la SEA. Se han aplicado recientes predicciones de fluctuaciones de brillo superficial para mostrar la existencia de pequeñas proporciones de poblaciones estelares de muy baja metalicidad. Se ha propuesto un nuevo sistema de índices espectrales optimizados y totalmente caracterizados en las bandas infrarrojas J, H, K. Estos índices maximizan la sensibilidad a la edad, metalicidad y función inicial de masas en un rango espectral muy poco explorado.

- Universalidad de la IMF

Se han publicado los resultados sobre las variaciones locales de la función inicial de masa dentro del cúmulo de Fornax (F3D survey). Estos resultados constituyen los primeros mapas bidimensionales de la función inicial de masa y demuestran que esta varía no solo dependiendo de la metalicidad local sino de cantidades adicionales, probablemente relacionadas con la tasa de formación estelar. Se ha obtenido con datos del telescopio GTC un gradiente de la función inicial de masa en el centro de M31, obteniéndose un exceso de estrellas enanas M en la parte más central.

#### *Evolución cósmica de galaxias*

- Poblaciones estelares en cúmulos de galaxias

Se han investigado las propiedades de las poblaciones estelares (edad, metalicidad, y [Mg/Fe]) en galaxias cercanas, proyectadas sobre la relación masa estelar vs. masa del halo (SHMR por sus siglas en inglés) y sobre la relación entre la dispersión de velocidades y la masa del halo (VDHMR).

- Evolución de galaxias masivas

Se ha empezado a trabajar en un proyecto de campo integral para la galaxia reliquia NGC1277, junto con I. Trujillo Cabrera y S. Comerón. Además, se han establecido nuevas colaboraciones para trabajar en el cartografiado VIPERs buscando más galaxias reliquia. Se ha caracterizado a su vez un grupo fósil descubierto en una campaña de búsqueda de lentes gravitacionales en el CFHTLS. Se ha estudiado el efecto de entorno en una muestra de SDSS caracterizada por el espacio de fases proyectado (en colaboración con colegas de Sao Paulo, Brasil) y determinado la relación



concentración, masa virial de lentes gravitatorias a escalas de galaxias (en colaboración con Saha/Zürich & Leier/Bologna-Heidelberg). Se han usado los datos del muestreo SHARDS del GTC para estudiar la historia de formación estelar en bulbos y discos de galaxias masivas, concluyendo que los bulbos de galaxias masivas muestran dos épocas distintas de formación, una primera ola en  $z \sim 4$  y una segunda ola en  $z \sim 1-2$ . Se ha investigado el problema del “desajuste del CO” y se han enviado los resultados a la revista MNRAS. La reducción de los datos de EMIR de la galaxia reliquia NGC1277 se ha finalizado. Se han estudiado los índices sensibles al CO en esta galaxia y se han comparado con los medidos en una muestra de galaxias masivas de tipo temprano. Se ha desarrollado un análisis detallado de poblaciones estelares en la banda espectral U, que ha revelado la existencia de proporciones muy pequeñas de poblaciones estelares jóvenes concentradas en las partes más centrales de una muestra de galaxias masivas cercanas.

#### - Ciencia a bajo brillo superficial

Se está llevando a cabo un artículo sobre las poblaciones estelares de una muestra grande de galaxias ultra difusas con la colaboración internacional JAGGs. Se completa el trabajo sobre la determinación de la ley de extinción por polvo en nuestra galaxia, combinando datos de Swift/UVOT, Gaia y 2MASS. Se ha seguido estudiando con imágenes ultraprofundas las propiedades de galaxias “sin materia oscura”, encontrando que el objeto DF2 presenta una estructura en su parte externa compatible con un disco poco inclinado de bajo brillo superficial. Esto apoya la idea de que la galaxia pudiera estar rotando (algo no considerado en la actualidad) y que, por tanto, su contenido en materia oscura es mayor que el que se considera. También se ha encontrado que el número de cúmulos globulares de estas galaxias no es tan extremo como se había inferido en estudios anteriores. Finalmente, se ha comenzado un nuevo cartografiado de imagen ultra profunda de galaxias cercanas con el Large Binocular Telescope. Este cartografiado llamado LIGHTS adelanta en casi 10 años el tipo de imagen que se espera proporcione LSST cuando se complete.

#### - Simulaciones numéricas y aprendizaje automático

Se completaron varios trabajos relacionados con las tesis de J. Anghopoy y B. Yu (UCL), el primero centrado en el estudio del Green Valley a través de estimaciones del break de 4000Å, comparando datos observacionales con si-

mulaciones hidrodinámicas, y el segundo enfocado en la modelización y estudio de flujos asociados a episodios intensos de formación estelar, empleando modelos hidrodinámicos y análisis de espectros de SDSS. Se han desarrollado así mismo herramientas para analizar las propiedades del Elipsoide de Velocidades de la componente estelar en simulaciones de galaxias tipo Vía Láctea. Se han estudiado las propiedades globales y locales del radio del Elipsoide (cociente entre la componente vertical y radial de la dispersión de velocidades) en la zona del disco y se han publicado los resultados. Por otro lado, se ha estudiado el impacto que tienen las barras en las propiedades del Elipsoide en las zonas centrales. Los resultados de este segundo trabajo han dado lugar a otra publicación que se encuentra en proceso de revisión.

#### - Deep learning y evolución de galaxias

Se ha continuado con el análisis de datos del survey Manga mediante técnicas auto-supervisadas. El trabajo, que forma parte de la tesis de Regina Sarmiento, se ha publicado en ApJ. Se muestra que las relaciones de escala de galaxias aparecen de forma natural cuando se proyectan los datos en un espacio de menor dimensión. También en el ámbito de la clasificación no supervisada, se propone un nuevo método para el análisis de morfologías de galaxias sin supervisión. Se aplica al SDSS (Cheng, MHC et al.)

Se ha concluido el trabajo iniciado hace dos años sobre el estudio de cúmulos de formación estelar en galaxias lejanas con deep learning. En el artículo Ginzburg, MHC et al., se demuestra que coexisten cúmulos de ciclo de vida corto con otros de ciclo más extenso. El trabajo se pretende extender ahora a los primeros datos de JWST.

Se han analizado las morfologías de galaxias simuladas en la simulación de última generación TNG50 mediante deep learning. Es la culminación del Proyecto Erasmus de Sid Varma. Se comprueba que las relaciones de escala a  $z > 1$  reproducen las observaciones. Se discuten caminos evolutivos para la extinción de la formación estelar.

Se ha producido el catálogo morfológico más extenso hasta la fecha (Vega-Ferrero et al.). 27 millones de galaxias con información morfológica en el DES.

Una parte importante de la actividad se ha concentrado en el ámbito de la misión espacial Euclid. M. Huertas-Company lidera varios grupos de trabajo. En el marco del grupo de



morfología, se ha desarrollado un método con modelos generativos para simular galaxias de Euclid de manera realista (Euclid Collaboration, Bretonnière, MHC et al.). Se ha concluido el “morphology challenge” de Euclid que consiste en la comparación de varios códigos de estimación de parámetros morfológicos en Euclid. Dos “key papers” de Euclid presentarán los resultados en 2022. Forma parte de la tesis de H. Bretonnière.

Se ha concluido el trabajo de exploración de métodos no supervisados para la comparación de simulaciones y observaciones (Zanisi, MHC et al). Se confirma que el método desarrollado detecta diferencias sutiles en la estructura interna de galaxias simuladas y observadas.

### *Procesos evolutivos en galaxias cercanas*

#### - Cartografiados locales

Se siguen dando pasos firmes en la preparación de las observaciones del Proyecto WEA-VE-Apertif, que esperamos vea la luz en verano de 2022 y que se extenderá por un periodo de al menos cinco años. Se ha seguido la preparación de muestreos StePS, APERTIF y CLUSTERS de tiempo garantizado con el instrumento WEAVE del telescopio WHT. Los equipos de los tres proyectos han obtenido tiempo de verificación científica con WEAVE. Se ha continuado la preparación de las tareas de comisionado del espectrógrafo WEAVE en el telescopio WHT.

#### - Cinemática estelar

Se han centrado los esfuerzos en desarrollar un método que permita extraer la distribución de velocidades a lo largo de la línea de visión (LOSVD por sus siglas en inglés) de datos espectroscopios, usando técnicas de inferencia Bayesiana. Esto permite una determinación muy precisa de las incertidumbres asociadas a la extracción de esta propiedad. El trabajo, realizado junto a la Dra. Martig, fue publicado en un artículo y va acompañado de la distribución pública del código en Github. Este año se ha continuado también con el estudio teórico de los sistemas gravitatorios con máxima entropía (de Tsallis). Se ha encontrado que esos estados de equilibrio son perfectamente compatibles con la distribución tipo core de la materia oscura observada en galaxias enanas.

#### - Agujeros negros como moduladores de la formación estelar

Se ha descubierto como las galaxias satélites con formación estelar no están isotrópicamente distribuidas debido al efecto del agujero negro de la galaxia central. Se han estudia-

do a su vez las historias de formación estelar de galaxias que actualmente presentan signos de actividad nuclear, encontrándose que en su mayoría presentan eventos de rejuvenecimiento.

## LAS GALAXIAS ESPIRALES: EVOLUCIÓN Y CONSECUENCIAS (P/300724)

Johan H. Knapen.

Mohammad Akhlaghi, John E. Beckman Abramson, Sebastián Comeron Limburg, Simón Díaz García, Javier Román García, David Rosado Belza, Pablo M. Sánchez Alarcón y Regina Sarmiento.

**Colaboradores del IAC: Helmut Dannerbauer, Jesús Falcón Barroso, Marc Huertas-Portocarrero Campany, Cristina D. Ramos Almeida e Ignacio Trujillo Cabrera.**

H. Salo (Univ. de Oulu, Finlandia); P. James, C. Collins, I Stelle, S. Longmore, S. Wich, B. Kelly, A. Watkins (Univ. Liverpool John Moores, Reino Unido); R. Peletier, S. Trager, M. Wilkinson, M. Biehl (Groningen, Países Bajos); R. Beswick (Univ. de Manchester, Reino Unido); I. McHardy (Univ. Southampton, Reino Unido); B. Dullo, A. Gil de Paz (UCM); S. Courteau (Queens, Canadá); S. Kaviraj (Hortfordshire, Reino Unido); S. Brougr, C. Martínez Lombilla (UNSW); Y. Ascasibar (UAM); S.F. Sánchez (UNAM, México); H. Ibarra Medel (Illinois Urbana Campaign, EEUU); A. Pillepich (MPIA, Heidelberg, Alemania); R. Nevin (Univ. de Harvard, EEUU); K.M. Hess (IAA).

### Introducción

Nuestro grupo es bien conocido y respetado internacionalmente por nuestro trabajo innovador en varios aspectos de la estructura y la evolución de las galaxias espirales cercanas. Usamos principalmente observaciones en varias longitudes de onda, explotando las sinergias que nos permiten responder a las preguntas más pertinentes sobre las propiedades principales de las galaxias, y cómo las galaxias han evolucionado hasta su forma actual. Usamos imágenes y espectroscopia, en el ultravioleta, óptico, infrarrojo, milimétrico y radio, usando al máximo los observatorios a nuestra disposición en España, en la ESO y en otros sitios, combinando los datos con herramientas de análisis modernas. El éxito de esta forma de trabajar se puede medir en las oportunidades de trabajo que se presentan a los que fueron miembros del grupo, en el número y de la calidad de las colaboraciones con científicos importantes, en las citas a nuestro trabajo, y en las invitaciones para organizar o hablar en los congresos más importantes en el campo.

En los últimos años nuestro grupo ha puesto mucho énfasis en abrir nuevas líneas de investigación conjuntas con informáticos, considerando el cambio de paradigma que está por venir debido a las enormes cantidades de datos que pronto producirán telescopios como LSST, Euclid y SKA. Colaboramos con informáticos en la preparación de herramientas de análisis, incluyendo para la detección de estructura a partir del ruido, la corrección para la luz dispersa y los cirros de nuestra Vía Láctea, y el uso de técnicas basadas en machine learning. Así, una vez los telescopios LSST (2022) y Euclid (2024) empiecen a producir sus enormes conjuntos de datos, nuestro grupo estará preparado para analizarlos y extraer la ciencia.

### Hitos

Se ha producido un modelo dinámico de la galaxia NGC1277, la galaxia reliquia próxima más limpia que se conoce.

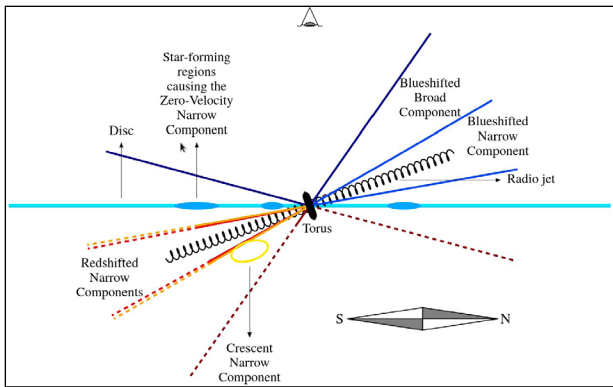
S. Díaz-García: Publicación de artículo en A&A sobre la formación estelar y la abundancia de gas molecular en 12 barras galácticas. Estudio de la relación entre truncaciones de discos finos y gruesos y los umbrales de formación estelar en la galaxia UGC7321 (artículo enviado a A&A).

Se consiguió una Fellowship Margarita Salas para una estancia de 2 años en la Univ. de Groningen + 1 año de vuelta en la Univ. de La Laguna. PI: J. Román. Supervisores: J. Knapen & R. Peletier.

### Desarrollo y resultados

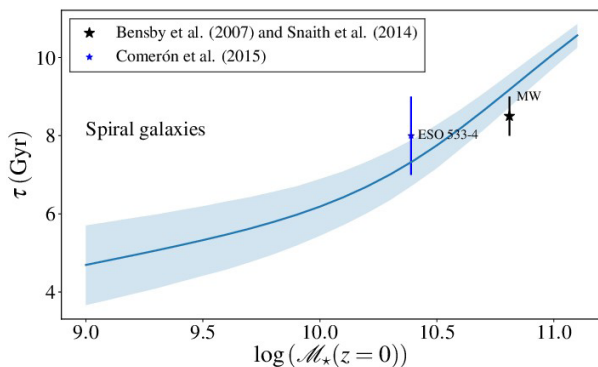
Se ha estudiado en detalle el medio circumnuclear de la galaxia NGC 7130 usando el modo de óptica adaptativa del instrumento MUSE en el VLT. Este modo de observación de MUSE es novedoso ya que, por primera vez, se permite obtener espectroscopia de campo integral con una resolución angular de 0.1 arcosegundos en el óptico. NGC7130 es una galaxia Seyfert 2 cercana (a 65 Mpc) y se han descrito con detalle las muchas componentes (hasta siete) del chorro de gas ionizado y el acoplamiento de algunas de las componentes con el jet trazado por emisión sincrotrón. Se ha demostrado que la combinación de datos de espectroscopia de campo integral con gran resolución angular y un cuidadoso método para caracterizar las componentes del gas ionizado permiten descubrir que, al menos para NGC7130, el medio circumnuclear es mucho más complejo que lo que se deriva en estudios anteriores sobre AGNs (Comerón et al. 2021, A&A, 645, A130). En la imagen adjunta, se presenta un modelo

simplificado de la geometría de las distintas componentes del chorro de gas.



**Modelo simplificado del gas ionizado circumnuclear en NGC7130.**

Los discos gruesos son una componente de los discos de las galaxias. Su altura de escala es mayor que la de los discos finos y sus estrellas son antiguas y relativamente pobres en metales. Dilucidar el origen de los discos gruesos es fundamental para entender cómo se ensamblaron y evolucionaron las galaxias. Se ha desarrollado un modelo teórico para predecir la edad de los discos gruesos de las galaxias en función de su masa. Para ello se ha supuesto que los discos gruesos se formaron antes que los discos finos y que las fusiones mayores de galaxias han sido infrecuentes desde un corrimiento al rojo  $z \sim 2$  (Comerón, 2021, A&A, 645, L13). La comparación de la predicción teórica con datos observacionales permitirá confirmar o descartar algunos de los modelos de formación de discos gruesos que se han propuesto. En la imagen se muestra la edad del disco grueso en función de la masa estelar de la galaxia donde los puntos corresponden a datos observacionales.



**Edad del disco grueso en función de la masa estelar de la galaxia.**

Se ha producido un modelo dinámico de la galaxia reliquia NGC1277. Esta galaxia es de vital importancia, ya que se trata de la galaxia reliquia local más limpia. Comprender este tipo de galaxias es fundamental para llegar a entender cómo se formaron las primeras ga-

laxias y para mejorar nuestro conocimiento sobre la naturaleza de la materia oscura. Este trabajo continuará en 2022.

Se ha estudiado la emisión en líneas coronales de las AGNs incluidas en el cartografiado MURALES. Para ello, se han usado los datos de MUSE obtenidos por la colaboración MURALES. Dichas líneas, cuyas energías asociadas son demasiado altas como para ser causadas por brotes de formación estelar, tienen que ser activadas por la fotoionización de la AGN. Por tanto, se espera que su estudio lleve a la caracterización de unos indicadores relativamente limpios que describan las propiedades de las AGN. Este trabajo continuará en 2022.

S. Díaz García: Se ha publicado un artículo sobre la relación entre el gas molecular y la tasa de formación estelar en barras para una muestra de 12 galaxias de disco con observaciones de IRAM-30m (Díaz-García et al. 2021, A&A, 654, A135).

S. Díaz García: Se ha enviado un artículo a A&A sobre la relación entre truncaciones en el disco galáctico de UGC7321 y la presencia de umbrales de formación estelar; para ello se han utilizado imágenes ultravioletas (GALEX), ópticas (DESI), e infrarrojas (Spitzer).

Se ha publicado un artículo (Sarmiento et al. 2021; The Astrophysical Journal, Volume 921, Issue 2, id.177, 14 pp.) sobre la exploración de datos de galaxias provenientes del survey de espectroscopía de campo integral MaNGA. Se muestra que una técnica de Machine Learning no supervisado es útil para extraer información física de mapas de galaxias a la vez que se ignora aquella información asociada a bias instrumentales. Se logran identificar categorías de galaxias que comparten propiedades físicas de forma automatizada.

Se ha avanzado en la emulación de datos observacionales de galaxias a partir simulaciones cosmológicas (TNG-project) y de N partículas, para su posterior análisis y comparación con datos observados con el método descrito en Sarmiento et al. (2021).

Se ha explorado el uso de herramientas de análisis de imágenes para mejorar la calidad de los perfiles de brillo superficial. En concreto se ha estudiado el algoritmo FABADA (Fully Adaptive Bayesian Algorithm for Data Analysis). Se ha encontrado que en concreto con este algoritmo se puede obtener mayor profundidad en las imágenes con un coste muy bajo de computación y pérdida de nitidez. Además, se ha publicado el código públicamente en Github y se ha creado un paquete de instalación en el Python Package Index

(PyPI). A principios del 2022 se mandará el artículo sobre el algoritmo.

Se ha publicado un artículo sobre las galaxias de bajo brillo superficial en el entorno de NGC1052. Esta región es de gran interés debido a la cuestionada presencia de galaxias sin materia oscura. Desarrollamos una avanzada técnica de detección de objetos de extremo bajo brillo superficial que proporcionó un catálogo muy profundo de este tipo de objetos. Entre todos los objetos detectados, RCP 32 se destaca con propiedades extremas, siendo una de las galaxias con menor brillo superficial jamás detectada mediante fotometría integrada.

- D. Rosado Belza: Se ha completado el análisis de una muestra de siete galaxias enanas observadas con GHaFaS (Galaxy Halpha Fabry-Perot System) con el objeto de estudiar la relación de Tully-Fisher en el extremo de baja masa. Los resultados de dicho análisis figurarán como un capítulo de la memoria de tesis de D. Rosado Belza.

## MACHINE LEARNING Y DEEP LEARNING EN ASTROFÍSICA (P/302000)

Marc Huertas-Portocarrero Company.

Eirini Angeloudi, Andrés Asensio Ramos, Jesús Falcón Barroso, Tobías Felipe García, Ignacio A. Ferreras Páez, Elena García Broock, Regina Sarmiento, Jesús Vega Ferrero, Andrés Vicente Arévalo y Carlos Westendorp Plaza.

Colaboradora del IAC: Johan H. Knapen Koelstra y María J. Martínez González.

L. Zanisi (Univ. de Southampton, Reino Unido); A. Dekel, O. Ginzburg (Univ. de Jerusalén, Israel); F. Lanusse (Univ. de Berkeley, California, EEUU); J.R. Primack, D.C. Koo (Univ. de California, EEUU); A. Pillepich (MPI, Heidelberg, Alemania); M. Bernardi, B. Margalef-Bentabol (Univ. de Pennsylvania, EEUU); H. Domínguez-Sánchez (ISS Barcelona); H. Bretonnière (IAC-Orsay); C. Díaz Baso, J. de la Cruz Rodríguez (Univ. de Estocolmo, Suecia); M. Cheung (Lockeed Martin Solar & Astrophysics Lab., EEUU); I. Milic, A. Muñoz Jaramillo (National Solar Obs., EEUU); C. González Fernández (Univ. de Cambridge, Reino Unido).

### Introducción

Proyecto interno de investigación transversal que pretende aglutinar el know-how en Machine Learning y Deep Learning en el IAC. En estos momentos, las aplicaciones de Machine Learning se realizan en algunas líneas de investigación del IAC pero no existe un proyecto que haga de framework general. La idea es que este proyecto encapsule el conocimiento de Machine Learning en el centro y sea el punto de consulta o discusión para cualquier problema relacionado con el Machine Learning. En este sentido, es una línea de investigación un poco peculiar por su transversalidad y carácter consultivo, pero creemos que puede generar la semilla para crear un ambiente de colaboración entre diferentes líneas de investigación del IAC en torno al tema del Machine Learning.

### Desarrollo y resultados

Durante este año, se ha continuado con la actividad disciplinar del grupo en torno al uso de ML/DL para el análisis de datos en Astrofísica. El grupo se reúne semanalmente para discutir técnicas y métodos en torno a diferentes proyectos científicos.

A continuación, una descripción detallada de la actividad que se ha llevado a cabo.

#### *Física extra-galáctica*

Se ha continuado con el análisis de datos del survey Manga mediante técnicas auto-supervisadas. El trabajo, que forma parte de la tesis de R. Sarmiento, se ha publicado en ApJ. Se muestra que las relaciones de escala de galaxias aparecen de forma natural cuando se proyectan los datos en un espacio de menor dimensión. También en el ámbito de la clasificación no supervisada, se propone un nuevo método para el análisis de morfologías de galaxias sin supervisión. Se aplica al SDSS (Cheng, MHC et al.)

Se ha concluido el trabajo iniciado hace dos años sobre el estudio de cúmulos de formación estelar en galaxias lejanas con Deep Learning. En el artículo Ginzburg, MHC et al., se demuestra que coexisten cúmulos de ciclo de vida corto con otros de ciclo más extenso. Ahora, se pretende extender el trabajo a los primeros datos de JWST.

Se han analizado las morfologías de galaxias simuladas en la simulación de última generación TNG50 mediante Deep Learning. Es la culminación del Proyecto Erasmus de Sid Varma. Se comprueba que las relaciones de escala a  $z > 1$  reproducen las observaciones. Se discuten caminos evolutivos para la extinción de la formación estelar.

Se ha producido el catálogo morfológico más extenso hasta la fecha (Vega-Ferrero et al.). 27 millones de galaxias con información morfológica en el DES.

Una parte importante de la actividad se ha concentrado en el ámbito de la misión espacial Euclid. M. Huertas-Portocarrero Company lidera varios grupos de trabajo. En el marco del grupo de morfología, se ha desarrollado un método con modelos generativos para simular galaxias de Euclid de manera realista (Euclid Collaboration, Bretonnière, MHC et al.). Se ha concluido el “morphology challenge” de Euclid que consiste en la comparación de varios códigos de estimación de parámetros morfológicos en Euclid. Dos “key papers” de Euclid presentarán los resultados en 2022. Forma parte de la tesis de H. Bretonnière.

Se ha concluido el trabajo de exploración de métodos no supervisados para la comparación de simulaciones y observaciones (Zanisi, MHC et al). Se confirma que el método desarrollado detecta diferencias sutiles en la estructura interna de galaxias simuladas y observadas.



Este año se han centrado esfuerzos en desarrollar un método que permita extraer la distribución de velocidades a lo largo de la línea de visión (LOSVD por sus siglas en inglés) de datos espectroscopios, usando técnicas de inferencia Bayesiana. Esto permite una determinación muy precisa de las incertidumbres asociadas a la extracción de esta propiedad. El trabajo, realizado junto a la Dra. Martig, fue publicado en un artículo y va acompañado de la distribución pública del código en Github.

***Euclid: aplicación de modelo self-supervised con datos de SDSS para su aplicación al Proyecto de Euclid***

En colaboración con Liew-Cain, Kawata y otros colegas de UCL (Reino Unido) y UCM, I. Ferreras Páez publicó un trabajo que emplea CNNs para predecir las propiedades de las poblaciones estelares de galaxias empleando fotometría de banda media, tal como se espera con JPAS. Es un estudio piloto que analiza el efecto de la muestra de training y validation en la extracción de datos generales tales como la edad y metalicidad de las poblaciones. I. Ferreras Páez continúa con el estudio de espectros de galaxias empleando métodos multivariable “clásicos” basados en el concepto de varianza/información/entropía (en colaboración con colegas de UCL, etc.), incluyendo una nueva estudiante de doctorado (FPI, Sharbaf), recientemente incorporada al Proyecto.

***Física solar***

Se ha desarrollado un método de entrenamiento no supervisado para sistemas de corrección de aberraciones ópticas basado en aprendizaje profundo. Usamos la teoría de formación de imagen para proponer una función de pérdida que solo hace uso de imágenes observadas con aberraciones, no necesitando acceso a las imágenes no aberradas.

***Otros (C. Westendorp Plaza)***

**Pathology:** En colaboración con el Departamento de patología del Hospital Universitario de Canarias HUC, estudio de la implementación de una estrategia automática de clasificación para el cáncer colorectal. Lidera C. Allende, con A. Asensio Ramos y C. Luque (supercomputación en el SIE).

**AGN:** Crear un interpolador para modelos de flujo de AGNs. Para su integración en el nuevo código bayesiano de A. Asensio Ramos. La IP es C. Ramos.

**Atlas9/MARCS:** acabar el paper y aplicar el interpolador para otros modelos de atmósferas (MARCS). IP es C. Allende.

## VARIABILIDAD EN NÚCLEOS ACTIVOS DE GALAXIAS: ESTUDIOS MULTIFRECUENCIA (P/301806)

José A. Acosta Pulido.

María J. Arévalo Morales, Josefa Becerra González, Carlos Lázaro Hernando y Jorge Otero Santos.

Colaboradores del IAC: Rosa Clavero Jiménez y Jorge A. Pérez Prieto.

M.I. Carnerero Martín, C.M. Raiteri, A. Capezzi (Obs. Astronómico de Torino-INAF, Italia), F. D'Ammando (Univ. Bolonia, Italia), N. Castro Segura (Astronomy Group, Univ. de Southampton, Reino Unido).

### Introducción

Los núcleos activos de galaxias (AGN por sus siglas en inglés) se caracterizan por una potente emisión proveniente de una región muy compacta (solo pocos pcs) en el centro de la galaxia. Los “blazars” son una categoría de AGNs, caracterizados por mostrar una alta luminosidad en un amplio rango de frecuencia, desde radio a altas energías (rayos X y gamma), y también variabilidad extrema y alta polarización en el visible, infrarrojo cercano y radiosondas. La distribución espectral de energía muestra dos máximos: uno a baja frecuencia, de radio al óptico, y a veces rayos X; y el de alta frecuencia de rayos X a gamma. El escenario más aceptado para explicar estas propiedades sugiere que la emisión proviene de un chorro de partículas aceleradas a velocidades relativistas, muy alineados con la línea de visión y originándose en las proximidades de un agujero negro supermasivo. En estas condiciones, la emisión del chorro es fuertemente amplificada y fácilmente supera la del resto de la Galaxia.

Hoy en día, un número considerable de “blazars” está siendo monitorizado diariamente por los observatorios espaciales de altas energías, Fermi y AGILE. Los “blazars” también destacan en radiación gamma de muy alta energía, donde llevan a cabo las observaciones los telescopios Cherenkov desde tierra. Por tanto, programas de seguimiento simultáneo son necesarios para aprender más acerca del comportamiento impredecible en este tipo de AGNs, igualmente que para entender en más detalle los procesos físicos que tienen lugar.

En este Proyecto se cubren dos aspectos: por una parte, se pretende proporcionar observaciones de seguimiento en los rangos visibles

e infrarrojos usando los telescopios disponibles en los Observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos. Estas observaciones se llevan a cabo dentro del marco de una colaboración más extensa, la GASP-WEBT, que incluye alrededor de otros 30 observatorios. Esta es la única forma de capturar todas las fases (subida, pico y caída) de los aumentos de flujo, o fulguraciones, que son críticas para los modelos teóricos para las altas energías. Por otra parte, se analizarán largas series temporales (varios años) tomadas en diferentes rangos de energía, buscando correlaciones entre bandas y también cualquier tipo de variaciones periódicas que puedan indicar precesión del chorro, presencia de un sistema binario de agujeros negros o cualquier otro mecanismo. Igualmente se analizarán distintos tipos de fulguraciones que debido a lo impredecible que aparecen se hará en términos estadísticos.

### Hitos

Se caracterizó la emisión en el rango visible de tres blazares extremos, siendo la primera vez que se mide en dos de ellos su desplazamiento al rojo (Becerra-González et al, 2021).

Se concluyó un estudio estadístico de la variabilidad espectral de una muestra de blazares. Se propone una descomposición del espectro en un máximo de cuatro componentes, bien identificadas con procesos físicos (Otero-Santos et al 2022).

### Desarrollo y resultados

#### *Monitorizado visible de blazares. Búsqueda de Periodicidad en curvas de luz*

Se ha continuado el análisis de curvas de luz de una muestra de blazares con el objetivo de buscar comportamientos periódicos. La muestra consta de alrededor de 30 objetos que han sido monitorizados durante 10 años desde el observatorio Steward, usando espectropolarimetría en el rango visible. Este trabajo es la continuación del estudio piloto publicado en 2020 (Otero-Santos et al., 2020). Para ello se han recolectado datos de diversos programas de monitorizado y observatorios de acceso público. También se han obtenido las curvas de luz en rayos gamma a partir de datos del satélite Fermi-LAT de los objetos de la muestra. Se han encontrado evidencias de comportamiento periódico en aproximadamente la mitad de la muestra, confirmado por diferentes técnicas de análisis temporal. Los resultados finales serán publicados a lo largo de 2022.

Durante los meses de octubre a diciembre J. Otero realizó una estancia en la Univ. de Clem-

son (Carolina del Sur, EEUU) colaborando con P. Peñil dentro del grupo liderado por M. Ajello. En este tiempo ha trabajado en el estudio de periodicidad y variabilidad en varios blazares catalogados como candidatos bona-fide a presentar modulación periódica en el estudio desarrollado por Peñil et al. (2020) en su emisión de rayos gamma, con datos del satélite Fermi-LAT. Este estudio se ha extendido a la emisión multifrecuencia de estas fuentes. Se están preparando dos artículos que serán enviados para su publicación a lo largo de 2022.

Se ha continuado con las observaciones correspondientes al monitorizado visible de una muestra de blazares (alrededor de 30), que se está llevando a cabo desde 2011, utilizando los telescopios del Observatorio del Teide (IAC-80, Stella, Las Cumbres y PIRATE). Parte de los datos obtenidos para algunos objetos se han incluido en publicaciones realizadas a lo largo del año (Mrk 421 en MAGIC collaboration; Acciari et al, 2021) y otras en preparación (BL Lac y Mrk 501 liderados por S. Jorstad y L. Heckmann, respectivamente).

#### *Variabilidad espectral*

Se ha finalizado el estudio estadístico de la variabilidad espectral de los datos públicos obtenidos en el programa llevado a cabo en el Observatorio Steward-Arizona como apoyo a las observaciones en rayos gamma del satélite Fermi. Para cada objeto se cuenta con un promedio de 300 espectros, cubriendo alrededor de 10 años. Para separar los principales mecanismos físicos responsables de la variabilidad observada se ha utilizado una técnica de reducción de dimensionalidad en combinación con información a-priori sobre los mecanismos físicos. De esta forma se puede reproducir el conjunto de observaciones a partir de un número reducido de componentes espectrales. Se ha encontrado que son suficientes entre 2 y 4 componentes para reproducir por encima del 98% de la varianza espectral observada. Se ha enviado un artículo para su publicación (Otero-Santos, et al. 2022), y actualmente se encuentra en proceso de revisión.

#### *Seguimiento del blazar 1ES 0647+250*

Se ha finalizado el estudio multifrecuencia del blazar 1ES 0647+250, detectado con los telescopios MAGIC a finales de 2019, y observado por los telescopios de Las Cumbres, PIRATE y LT como parte de los estudios de variabilidad desarrollados en este objeto. Se está trabajando en un artículo con los datos correspondientes al periodo diciembre 2019-enero 2020. Será enviado para su publicación en 2022.

#### *Variabilidad a escalas temporales cortas*

Se ha contribuido a un estudio de variabilidad rápida (escalas de minutos/horas) del blazar S4 0954+65 (Raiteri et al, 2021). Se usaron datos obtenidos por el satélite TESS con una cadencia de 2 min, combinados con datos obtenidos desde telescopios terrestres. Se identifican varios tiempos de escala característicos que van desde pocas horas a días. También se encuentra que en escalas temporales cortas las variaciones son cromáticas mientras que a gran escala son prácticamente acromáticas, lo cual indica diferentes procesos físicos.

#### *Blazares extremos*

Los blazares extremos son aquellos que presenta su máximo de emisión de energía a frecuencias correspondientes al UV-extremo, cercano a rayos-X. Su emisión en el rango visible suele estar dominada por la emisión no relativista del núcleo activo y además de la galaxia anfitriona.

Se publicaron los resultados del análisis de la espectroscopia de tres blazares obtenida en el rango visible (Becerra-González et al, 2021). Se pudieron identificar rasgos espectrales a partir de las cuales medir el desplazamiento al rojo, siendo la primera vez que se mide en dos de ellos. Además, se ha podido determinar las condiciones de excitación del gas emisor de líneas, así como separar y caracterizar la población estelar de la galaxia huésped.

En la misma línea, se concluyó la reducción de datos espectroscópicos tomados con ACAM en el telescopio WHT. Se está llevando a cabo el análisis de los espectros a fin de identificar rasgos espectrales que permitan una determinación del desplazamiento al rojo y por tanto su distancia. Se prepara un borrador que será enviado para su publicación durante 2022.

Como continuación del trabajo anterior, se obtuvo tiempo de observación con OSIRIS en el telescopio GTC para llevar a cabo un estudio espectroscopio de una muestra de alrededor de 10 blazares extremos. En la actualidad se está llevando a cabo la reducción de datos y su análisis. Se espera enviar los resultados para la correspondiente publicación a lo largo de 2022.

#### *Núcleos Activos que cambian de tipo (Changing Look AGN)*

Se ha colaborado con S. Laha (Univ. of Maryland, EEUU) en un estudio espectroscópico de la galaxia Seyfert 1ES 1927+654. Su núcleo activo está clasificado como de tipo II, sin embargo, a partir de finales de 2017 y durante

varios meses mostró características de tipo I. En 2021 se observó usando OSIRIS en el telescopio GTC y se comprobó que su espectro ha vuelto a recuperar similares características previas al cambio de tipo. El trabajo se ha enviado a la revista para su publicación y actualmente está en fase de revisión.

*Fenómenos transitorios extragalácticos  
(Ondas gravitacionales y supernovas  
extragalácticas)*

Se ha participado en un proyecto de colaboración entre los telescopios Subaru y GTC donde se han a cabo observaciones con GTC de GW candidatos a emisores de ondas gravitacionales, y también seguimiento de supernovas extragalácticas.

# COSMOLOGÍA Y ASTROPARTÍCULAS

## ANISOTROPÍA DEL FONDO CÓSMICO DE MICROONDAS (P/308605)

Rafael Rebolo López.

Paz Alonso Arias, Mateo Fernández Torriro, Ricardo T. Génova Santos, Federica Guidi, Carlos M. Gutiérrez de la Cruz, Carlos Hernández Monteagudo, Susana Iglesias Groth, Carlos H. López Carballo, Javier D. Miguel Hernández, Michael Peel y José A. Rubiño Martín.

**Colaboradores del IAC:** Marta C. Aguiar González, José J. Díez García, Patricia C. Fernández Izquierdo, María F. Gómez Reñásco, Roger J. Hoyland, María R. Pérez de Taoro y Afrodisio Vega Moreno.

A. Lasenby, M. Ashwown (Univ. de Cambridge, Reino Unido); L. Piccirillo, B. Watson, C. Dickinson, J. Chluba (Univ. de Manchester, Reino Unido); E. Martínez, P. Vielva, D. Herranz, B. Barreiro, P. Casas (IFCA, Santander); E. Artal (DIMON); F. Atrio (USAL); D. Tramonte (Univ. de Kwazulo-Natal, Sudáfrica); R. A. Sunyaev (MPA, Garching, Alemania); E. Battistelli (Univ. la Sapienza, Italia); G. Luzzi (ASI, Italia); P. Molaron (OAT-INAF, Italia); D. Milakovic (Univ. de Trieste, Italia); M. Mugica, A. Ritacco (OAC, Italia); C.J.A.P. Martins (CAUP, Portugal); M. Barsanelli, A. Mennella (Univ. de Milán, Italia); O. Tajima (Univ. de Kioto, Japón); K. Lee, E. Won (Univ. de Corea, Corea del Sur); C. Otami, S. Mima (RIKEN, Japón); J. Suzuki (KEK, Japón); J. Macías (LPSC, Grenoble, Francia).

### Introducción

El objetivo general de este Proyecto es determinar y estudiar las variaciones espaciales y espectrales en la temperatura del Fondo Cósmico de Microondas y en su Polarización en un amplio rango de escalas angulares que van desde pocos minutos de arco hasta varios grados. Las fluctuaciones primordiales en la densidad de materia, que dieron origen a las estructuras en la distribución de materia del Universo actual, debieron dejar una huella impresa en el Fondo de Microondas en forma de irregularidades en la distribución espacial

de su temperatura. Experimentos pioneros como COBE (galardonados dos de sus investigadores principales con el Premio Nobel de Física en 2006) o Tenerife demostraron que el nivel de anisotropía en escalas angulares de varios grados está en torno a una parte en cien mil. La obtención de mapas del Fondo de Microondas en varias frecuencias y con sensibilidad suficiente para detectar estructuras a estos niveles es fundamental para obtener información sobre el espectro de potencias de las fluctuaciones primordiales en densidad, la existencia de un periodo inflacionario en el Universo muy temprano y la naturaleza de la materia y energía oscura. Más recientemente el satélite WMAP ha obtenido mapas del Fondo Cósmico de Microondas que han permitido establecer cotas sobre múltiples parámetros cosmológicos con precisiones mejores que el 1%.

El Proyecto concentra sus esfuerzos en realizar medidas a más alta resolución espacial y sensibilidad que las obtenidas por este satélite. En el pasado se utilizaron con este fin experimentos como Tenerife, el IAC-Bartol o el interferómetro JBO-IAC, todos ellos desde el Observatorio del Teide. Más recientemente, el experimento interferométrico Very Small Array a 33 GHz fue operativo entre 1999 y 2008. Durante este tiempo también realizó observaciones desde el Observatorio del Teide el experimento COSMOSOMAS, cuyo objetivo era, además de la medida de las anisotropías del CMB, la caracterización de los contaminantes galácticos.

En los últimos 10 años la actividad de este proyecto se ha centrado en la explotación científica de los datos del satélite Planck, y en la construcción, la operación y la explotación científica de los datos del experimento QUIJOTE. En la actualidad, una vez el proyecto Planck ha finalizado, la actividad se centra en la explotación científica de QUIJOTE, en el desarrollo y construcción de nueva instrumentación para el proyecto QUIJOTE, en el desarrollo de nuevos experimentos que están siendo o que serán próximamente instalados en el Observatorio del Teide (GroundBIRD, LSPE-STRIP y TMS), así como en el desarrollo tecnológico y en la preparación para la explotación científica



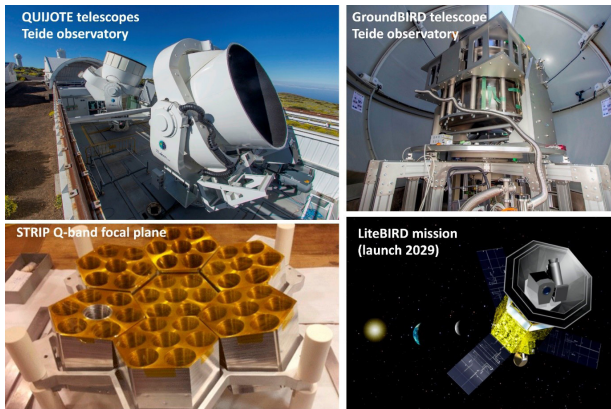


Figura 1.

del satélite LiteBIRD (JAXA/ESA/NASA, lanzamiento en 2029). El proyecto también explora instrumentación de CMB nueva generación en el contexto de una hoja de ruta coordinada a nivel europeo.

Web: <http://research.iac.es/project/cmb>.

### Hitos

#### Julio

Instalación de nuevos detectores (fabricados en SRON) en GroundBIRD, y realización de las primeras observaciones.

#### Agosto

Publicación de un artículo presentando la descripción instrumental y científica del proyecto LSPE (LSPE collaboration 2021).

#### Diciembre

Aceptación de un artículo en el que se presenta el diseño y la caracterización de la óptica del TMS (Alonso-Arias et al. 2021).

Primeras versiones completas de los primeros cuatro artículos con resultados científicos derivados del wide survey de QUIJOTE-MFI. Poco antes, publicación de un artículo en el que describimos el algoritmo de elaboración de mapas de QUIJOTE (Guidi et al. 2021).

Finalización de un artículo con cotas sobre masas de axiones ultraligeros derivadas de datos de QUIJOTE y del PPTA (Carrillo et al.).

Publicación de un artículo con las primeras cotas de la constante de estructura fina obtenidas con ESPRESSO (Murphy et al. 2021).

### Desarrollo y resultados

#### QUIJOTE

La mayor parte de las actividades del grupo durante 2021 estuvieron centradas en la explotación científica de los datos procedentes del instrumento MFI de QUIJOTE. Tras realizar un

importante esfuerzo durante 2020 destinado a introducir mejoras en el procesado de los datos con el fin de reducir la sistemática (como se explicó en el informe de ese año), en noviembre de 2020 finalizamos y consolidamos los mapas del wide-survey (survey del Hemisferio Norte) del experimento MFI en el rango 10-20 GHz. En las Figuras 2 y 3 pueden verse los mapas a 11 GHz de intensidad total (4) y de intensidad polarizada (3).

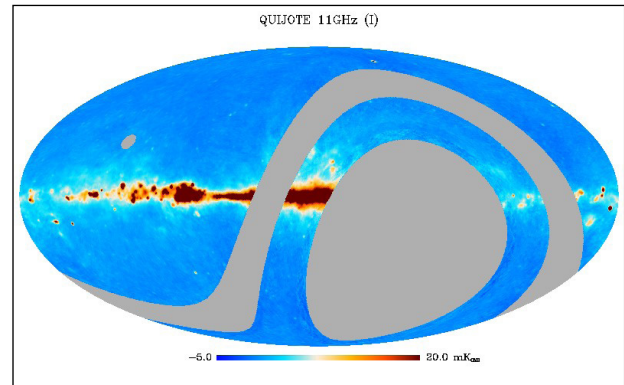


Figura 2. Mapa a 11 GHz de intensidad total.

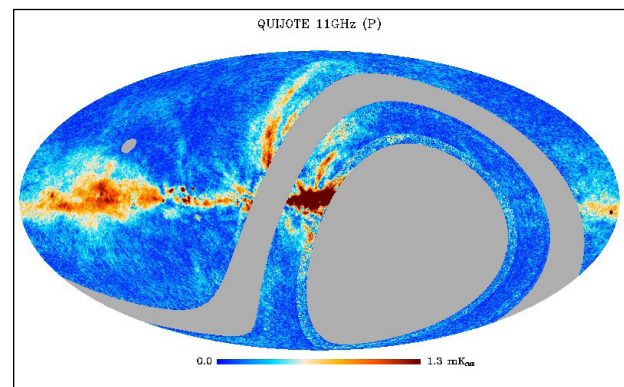


Figura 3. Mapa a 11 GHz de intensidad polarizada.

Durante 2021 se ha continuado trabajando puntualmente en algunos aspectos de carácter técnico: mejora de la caracterización de las funciones ventana, elaboración de un código para el cálculo de las correcciones de color (de QUIJOTE y de otros experimentos), determinación de los niveles de cero de los mapas, análisis de consistencia de la calibración (ángulo de polarización, calibración de amplitud). El resto del tiempo se ha dedicado a avanzar en la escritura de una serie de 13 artículos donde el grupo presentó los resultados principales derivados de estos datos. Los artículos donde se realizaron avances más significativos, y que serán enviados a publicar a principio de 2022 son:

- Artículo principal, donde se presentan los mapas finales y se describen sus principales características

- Estudio de la emisión anómala de microondas en una muestra de 40 regiones Galácticas
- Extracción de fuentes puntuales en los datos del wide survey, extracción de flujos y estudio de propiedades estadísticas
- Aplicación de técnicas de separación de componentes en polarización para extraer los diferentes contaminantes galácticos (en la Figura 4 pueden verse los mapas derivados del índice espectral de la emisión sincrotrón)
- Estudio de los remanentes de supernovas IC443, W49 y W51 (en la Figura 5 pueden verse los mapas de IC443, en intensidad y en polarización)
- Estudio de la emisión del Haze galáctico y análisis de los posibles procesos físicos responsables de esta emisión. Cuatro de estos seis artículos están liderados por miembros del grupo, mientras que los dos restantes están liderados por colaboradores del IFCA, pero con una participación relevante de miembros de del grupo.

Otros cinco artículos, todos liderados por miembros del grupo del IAC, en los que se realizaron avances durante 2021, pero que serán finalizados y enviados a mediados de 2022, son:

- Descripción de la pipeline de procesado de datos del MFI
- Estudio del North Polar Spur galáctico

- Estudio de la variabilidad espacial de la emisión anómala de microondas en el plano Galáctico;
- Estudio espectral y espacial de filamentos galácticos
- Estudio de remanentes de supernova en el wide survey. En noviembre de 2021 publicamos un artículo en el que presentamos el algoritmo de elaboración de mapas para QUIJOTE (Guidi et al. 2021).

**KISS**

KISS es un espectrómetro a 100-200 GHz, desarrollado por el Instituto Neel y el LSPC en Grenoble, que realizó observaciones en el primer telescopio QUIJOTE desde 2019 hasta septiembre de 2021, fecha en la que fue desmontado. Aunque el peso de las operaciones y la explotación científica corre a cargo del grupo de Grenoble, durante 2021 se ha continuado contribuyendo en aspectos relacionados con la realización de observaciones y con la reducción y procesado de los datos, obtenidos principalmente en calibradores (Tau A, Venus, Júpiter y La Luna), en el cúmulo de Coma y en una región galáctica brillante. Se participó en un artículo donde se presentó una descripción y caracterización experimental del instrumento, junto con un análisis preliminar de los datos procedentes de sky-dips (que trazan la emisión atmosférica) y de observaciones de Venus. También se trabajó en un artículo donde se presentará un análisis de observaciones de La Luna, y que será liderado por el IAC (Fernández-Torreiro et al.).

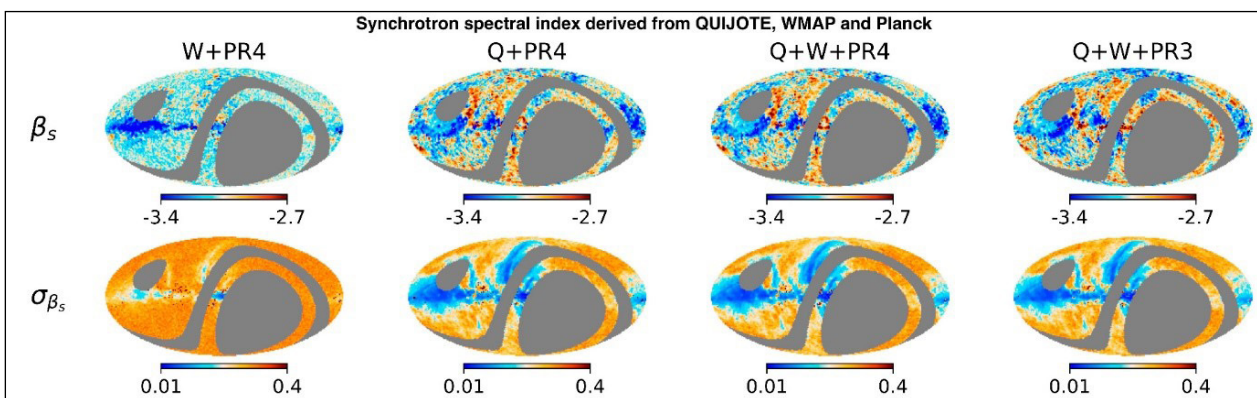


Figura 4. Mapas derivados del índice espectral de la emisión sincrotrón.

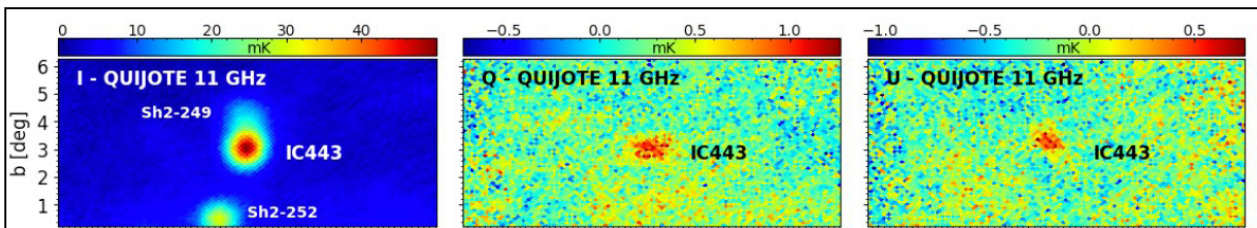


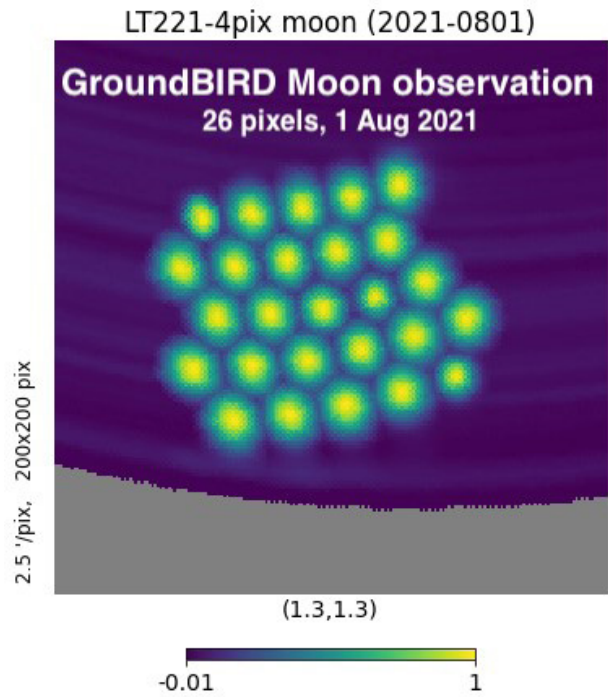
Figura 5. Mapas de IC443, en intensidad y en polarización.

**GroundBIRD**

GroundBIRD es un telescopio dedicado a la observación de la polarización del Fondo Cósmico de Microondas a 150 y 220 GHz, instalado en el Observatorio del Teide desde 2019. Tras una ralentización en 2020 como consecuencia de la pandemia COVID-19, a principio de 2021 se retomó la actividad, con la instalación de nuevos detectores a principios de año, con los que realizamos observaciones en abril y en julio. Se trabajó en el análisis de estos datos. En la Figura 6 puede verse un mapa de La Luna, en coordenadas del plano focal, donde puede verse el satélite detectado por los 26 píxeles instalados en el plano focal. Posteriormente se desmontó el instrumento, para instalar un nuevo conjunto de detectores desarrollados en SRON, con mayor sensibilidad. Estos detectores fueron finalmente instalados en diciembre de 2021. En paralelo, se avanzó en la implementación de las modificaciones necesarias para cumplir con las normas de seguridad, y destinadas a poder implementar las observaciones en modo remoto. También, en el marco de este Proyecto, se instaló una cámara IR para el monitoreo de la distribución espacial de nubes, desarrollada por la Univ. de Corea, y se avanzó en la preparación para la instalación de un radiómetro para la medida del vapor de agua precipitable. Se contribuyó a un artículo científico en el que presentamos un estudio predictivo de las capacidades de este experimento (Lee et al. 2021). A estas tareas han contribuido los postdocs del IAC asociados a este Proyecto (M. Peel y S. Honda) y el gestor (V. González).

**LSPE-STRIP**

Este telescopio, operativo a 43 y 90 GHz, está liderado por la Univ. de Milán (Italia), cuenta con una importante participación del IAC, y será instalado en el Observatorio del Teide a finales de 2022. Durante 2021 se ha continuado trabajando estrechamente con la Univ. de Milán y otros institutos de este Consorcio para la consecución del objetivo. El postdoc del IAC asociado a LSPE-STRIP (C. López Caraballo) ha seguido contribuyendo a la caracterización del instrumento, al desarrollo de software de adquisición y análisis de datos, utilizando de momento datos de laboratorio, y a un estudio detallado de los efectos sistemáticos instrumentales. Se ha trabajado en la preparación para la explotación científica de este experimento, y en particular al desarrollo de una serie de 17 artículos que serán enviados a JINST y en los que se presentará una descripción detallada del experimento. El grupo del IAC está liderando uno de estos artículos, dedicado al estudio



**Figura 6. Mapa de La Luna, en coordenadas del plano focal, donde puede verse el satélite detectado por los 26 píxeles instalados en el plano focal.**

y definición de la estrategia de calibración en el cielo, y se está contribuyendo activamente a otros cuatro, en los que se discutirán la contaminación de la atmósfera, el modelado de los radiómetros, los efectos sistemáticos y la caracterización de los patrones de recepción. El primero de estos artículos ya ha sido enviado (Realini et al. 2021). Por otro lado, durante 2021 se publicó un artículo general de presentación del Proyecto LSPE y con predicciones sobre sensibilidades y alcance científico de sus dos instrumentos, STRIP y SWIPE (LSPE Collaboration, 2021). En paralelo, durante 2021 en el marco de este Proyecto se siguió trabajando en el desarrollo de un sistema de calibración del experimento desde un dron. Este sistema será probado en el experimento QUIJOTE durante la primera mitad de 2022.

**LiteBIRD**

LiteBIRD es una misión espacial liderada por la agencia espacial japonesa (JAXA), actualmente en fase A y con lanzamiento previsto en 2029, dedicada a observar la polarización del Fondo Cósmico de Microondas en todo el cielo, en el rango 40-400 GHz, con el objetivo de detectar los modos B de la inflación hasta una sensibilidad  $r=0.001$ . Desde 2019 el grupo de CMB del IAC participa en esta misión, a través de un consorcio europeo que tiene la responsabilidad principal de construir dos de los tres telescopios de esta misión (los telescopios de media y alta frecuencia). Durante 2021 se ha continuado contribuyendo a:



- El estudio del impacto en los datos de LiteBIRD de la emisión sincrotrón, utilizando los mapas de QUIJOTE
- La calibración en vuelo del instrumento, en particular de la dirección de polarización, y a la caracterización de los haces.

Durante 2021 se ha incrementado la contribución del grupo del IAC a distintos grupos de trabajo que se han constituido para realizar estudios relacionados con estos dos aspectos, y que cristalizarán en artículos que se escribirán y enviarán a publicar durante 2022. El estudiante R. González ha continuado trabajando en la realización de simulaciones de la estrategia de escaneo del satélite para estimar hasta qué nivel se pueden caracterizar los haces de los distintos detectores. Se contribuyó a varios artículos de LiteBIRD, en particular a un artículo que fue enviado hacia finales de año a PTEP, y en el que se ha presentado la misión, su descripción instrumental detallada y sus principales objetivos científicos. En 2021 se participó activamente en la elaboración de una propuesta para observar Tau A con SCUBA2 en el JCMT, con el objetivo de medir con precisión su ángulo de polarización y establecer así un modelo con el que calibrar la dirección de polarización de los detectores del satélite LiteBIRD. Los datos fueron obtenidos en agosto de 2021, y actualmente se está trabajando en su análisis. Por otro lado, en mayo 2021 se presentó una propuesta para obtener fondos de CDTI para contribuir al desarrollo del sistema de lectura y control de la temperatura en las diferentes etapas criogénicas de LiteBIRD, con el objetivo final de controlar las fluctuaciones de ganancia hasta un nivel que garantice la consecución de los objetivos científicos del Proyecto. Este Proyecto fue aprobado, y comenzó en octubre.

### ESPRESSO

ESPRESSO es un espectrógrafo de nueva generación, de alta estabilidad y resolución espectral, instalado en el telescopio VLT (Prime-

ra Luz en 2018), y dedicado principalmente a la caracterización de exoplanetas mediante el método de velocidades radiales, y a la determinación de las constantes fundamentales de la naturaleza a alto redshift mediante la medida de líneas espectrales en sistemas de absorción situados en la dirección de cuásares brillantes. Desde 2019 el grupo de cosmología del IAC participa en la parte del programa de tiempo garantizado GTO (27 noches de observación) dedicado al segundo de estos objetivos. En abril y julio de 2021 se participó en dos campañas de observación en modo remoto. Se participó también en el desarrollo de un artículo, enviado y aceptado (Murphy et al. 2022) en el que se presentó una de las medidas más precisas nunca obtenidas a alto redshift de la constante de estructura fina (error global inferior a una parte en un millón), en un sistema de absorción a redshift 1.15 en la dirección del cuásar HE0515-4414. En la Figura 7 se muestra el espectro obtenido con ESPRESSO en la dirección de este cuásar, que fue utilizado para derivar esta medida.

### TMS

En 2021 se completó el diseño de la óptica del TMS, basada en dos espejos que proporcionan una resolución final de  $2^\circ$  en la banda de 10-20GHz, con baja elipticidad, baja polarización cruzada (-30dB) y un bajo nivel de lóbulos laterales (-25dB). Los resultados se han enviado a publicar (Alonso-Arias et al., JINST, aceptado, arXiv:2111.15364).

### Otros

En 2021 se trabajó, conjuntamente con los miembros del grupo de teoría de astropartículas (Ver Proyecto P/301803) en un artículo donde combinamos 2.000 medidas de QUIJOTE del ángulo en Tau A (En la Figura 8 uno de los mapas de parámetros de Stokes I, Q, U utilizados) con medidas del PPTA en púlsares, para determinar cotas (en el espacio parámetro de acoplamiento masa) sobre una componente de axiones.

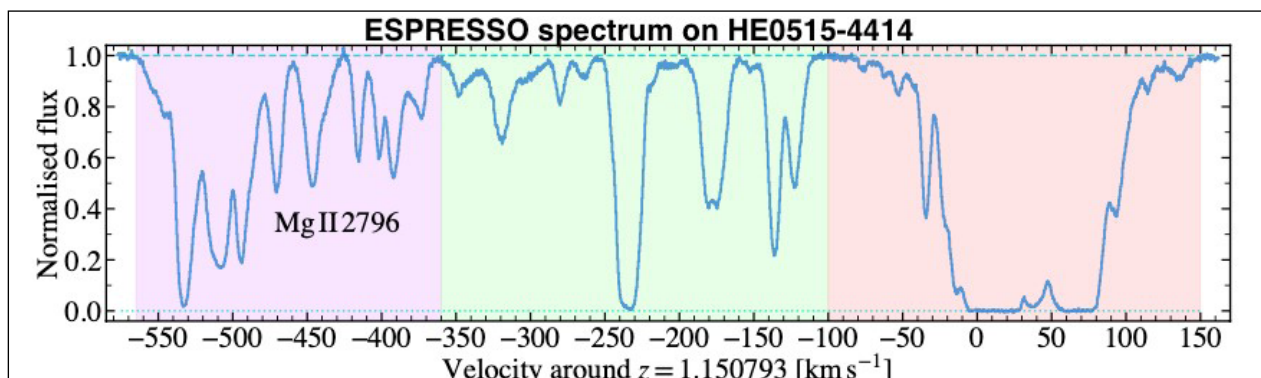


Figura 7. Espectro obtenido con ESPRESSO.

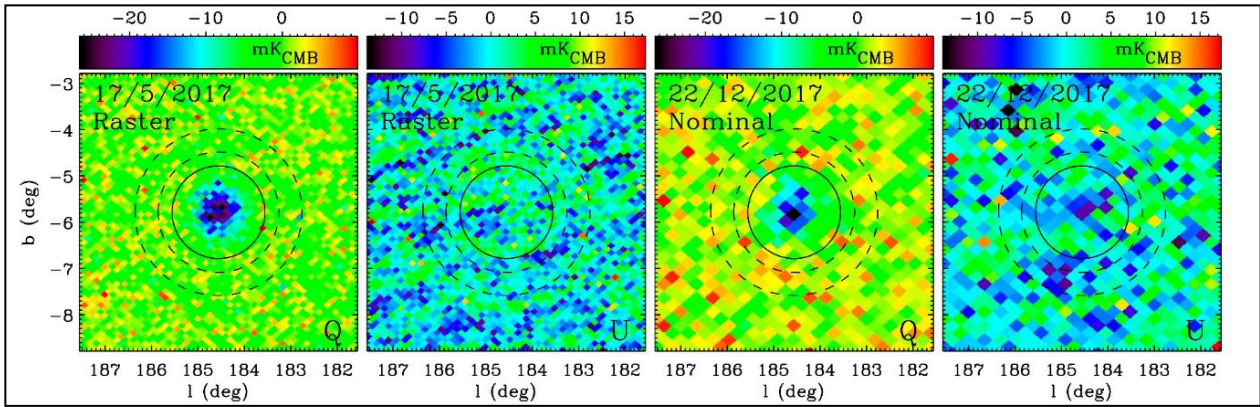


Figura 8. Uno de los mapas de parámetros Stokes I, Q, U.



## ASTROFÍSICA DE PARTÍCULAS (P/300328)

Ramón J. García López.

Josefa Becerra González, Rosa Clavero Jiménez, Eduardo H. Colombo, Javier Herrera Llorente, Alicia López Oramas, Mireia Nievas Rosillo, Jorge Otero Santos, Alejandro Reina Conde y Mónica L. Vázquez Acosta.

Colaborador del IAC: Artemio Herrero Davó.

Todos los investigadores incluidos en el Consorcio CTA-España, así como los miembros del CIEMAT que participan en AMS y los que están involucrados en la Colaboración MAGIC, CTA y ASTRI mini-array.

### Introducción

El Grupo de Astrofísica de Partículas del IAC participa activamente en tres grandes colaboraciones internacionales de Astrofísica de muy altas energías: AMS (Alpha Magnetic Spectrometer), los telescopios de radiación Cherenkov MAGIC I y II, el Cherenkov Telescope Array (CTA) y ASTRI mini-array.

AMS es un detector de partículas diseñado para operar en el espacio, a bordo de la Estación Espacial Internacional. Se instaló con éxito en mayo de 2011, y se espera que opere durante toda la vida útil de la misma. Su misión es realizar un estudio de alta precisión y estadística del espectro y la composición de los rayos cósmicos primarios en un amplio rango de energía, así como buscar antimateria primordial y materia oscura de forma indirecta.

La colaboración MAGIC está formada por 20 institutos y departamentos universitarios de Alemania, Armenia, Bulgaria, España, EEUU, Finlandia, Italia, Polonia y Suiza. La colaboración cuenta con dos telescopios de 17 m de diámetro localizados en el Observatorio del Roque de los Muchachos, diseñados para medir la radiación Cherenkov asociada a cascadas atmosféricas producidas por rayos gamma de muy alta energía y localizados en el Observatorio del Roque de los Muchachos.

Además de esto, y también en el marco de la observación de rayos gamma de muy alta energía, el IAC participa en la colaboración internacional CTA, cuyo objetivo es construir dos grandes complejos de observación en los hemisferios Norte y Sur. El Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma, ha sido seleccionado para albergar el observatorio Norte. El primer telescopio de gran diámetro fue inaugurado en octubre de 2018 y actual-

mente se está en fase de construcción de otros tres.

### Hitos

Participación científica importante en MAGIC, CTA, AMS y ASTRI Mini-array.

Gestión de la contribución española al observatorio CTA-Norte

### Desarrollo y resultados

Se han llevado a cabo diversos trabajos a cargo de los investigadores J. Becerra González y J. Otero Santos, entre los que destacan:

- Análisis de datos e interpretación de la primera detección del VHE blazar OT 081 (responsable de Fermi y MAGIC)
- Colaboración Subaru-GTC. Se ha hecho seguimiento de candidatos de GWs, supernovas y un posible changing look AGN
- Análisis espectros visible de gamma-ray blazars. Este trabajo involucra observaciones con los telescopios GTC, WHT e INT
- Simulaciones para el ATRI mini-array
- Simulaciones de distintas configuraciones para CTA-N
- Participación en el seguimiento multi-frecuencia del FRB 180916.
- Participación en el estudio multi-frecuencia del changing look AGN 1ES 1927+654. Responsable del DDT con GTC.
- Propuestas de seguimiento en visible (GTC, NOT) de blazares de rayos gamma y GWs. Participación en otras propuestas de observación para los telescopios Keck, Gemini, Hubble, SALT, Chandra, XMM, Swift

A. López Oramas ha tenido una baja médica de un total de 230 días de duración, desde el 20 de enero hasta el 6 de septiembre de 2021. Aun así, se han llevado a cabo las siguientes actividades:

- Subcoordinación del grupo de eventos transitorios y multifrecuencia del consorcio CTA, co-liderando al grupo (250 miembros) que se dedica a simular la respuesta de CTA a la detección de eventos como ondas gravitacionales, estallidos de rayos gamma o neutrinos, entre otros.
- Liderazgo del equipo (50 investigadores) que estudia la capacidad de detectar objetos transitorios galácticos con CTA.
- Participación en el estudio multi-anual de la binaria HESS J0632-057, liderando las campañas de las binaria 1A 0535+262 y del magnetar SGR 1935+2154

-Participación en el descubrimiento de la primera nova de muy altas energías, RS Oph, coordinando las observaciones y la publicación.

M. Nievas Rosillo ha continuado el desarrollo del software de scheduling del LST1, y su liderazgo en varios artículos de la colaboración CTA.

En el seno de la colaboración AMS a través de A. Reina Conde, se ha llevado a cabo el desarrollo de un modelo cuyo objetivo es el análisis de la dependencia temporal del espectro de rayos cósmicos. Mediante este proceso se pueden analizar los cambios producidos en la helioesfera en el tiempo, los cuales son los causantes de las variaciones en el espectro de rayos cósmicos, fenómeno conocido habitualmente como modulación solar.

La gestión de los fondos españoles para la construcción del observatorio CTA-Norte ha sido responsabilidad de J. Herrera Llorente y R.J. García López. Las actividades se han centrado en el seguimiento de diversos contratos de componentes electrónicos y mecánicos, así como la tramitación de los permisos de construcción de los nuevos telescopios.

## ASTROFÍSICA RELATIVISTA Y TEÓRICA (P/308806)

Evencio Mediavilla Gradolph.

Ana Esteban Gutiérrez, Alejandro Oscoz Abad y Ricardo Scarpa.

E. Falco (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, EEUU); E. Simonneau (IAP, Francia); L. Popovic (Obs. Astronómico Belgrado, Yugoslavia); R. Gil-Merino (Univ. de Málaga); C.S. Kochanek (Univ. de Ohio, EEUU); V. Motta (Univ. Valparaiso, Chile); P. Gómez (ESAC); T. Mediavilla; O. Ariza (UCA); C. González-Morcillo (UCLM); J. Jiménez (UGR); C. Fian (Univ. de Tel Aviv-Univ. de Haifa, Israel).

### Introducción

El estudio de las lentes gravitatorias proporciona poderosas herramientas en Astrofísica y Cosmología. Las principales aplicaciones de las lentes gravitatorias en las que se centra este Proyecto son las siguientes:

- Estudiar la presencia de subestructura de materia oscura en las galaxias lente a partir de las anomalías en la magnificación de las imágenes múltiples de quásares (millilensing).
- Estudiar la estructura no resuelta de los discos de acreción en los quásares (tamaño, perfil de temperaturas, perfil de luminosidad) a partir de las alteraciones inducidas por el efecto microlente en el continuo y en las líneas de emisión.
- Estudiar la estructura y la cinemática de la región emisora de líneas anchas en quásares a partir de la respuesta de los perfiles de las líneas de emisión anchas al efecto microlente y de la variabilidad de esta respuesta.
- Estudiar la “dinámica del Universo” a partir de las velocidades peculiares de las galaxias lente inferidas del ritmo de variabilidad inducido por el efecto microlente.
- Desarrollar nuevos métodos numéricos y estadísticos para estudiar el efecto microlente.

### Hitos

Se ha implementado un “fast multipole method” para calcular la deflexión gravitatoria producida por las estrellas de la galaxia lente en los rayos de luz de la fuente en un sistema de imágenes múltiples de quásares, consiguiéndose una mejora de dos órdenes de magnitud en el tiempo de cálculo.

Se ha deducido la expresión del redshift gravitatorio en el caso de órbitas circulares en la aproximación PPN que puede utilizarse para probar la Teoría General de la Relatividad y otras teorías métricas en diferentes épocas del Universo, usando el redshift gravitatorio en quásares.

### Desarrollo y resultados

En la línea de investigación sobre la estructura no resuelta de los quásares a partir del estudio del efecto microlente se han publicado tres artículos, sobre la determinación de la masa del agujero negro supermasivo central del quásar WGD2038-4008 usando del teorema del virial y observaciones con X-shooter@VLT (A&A, 2021, 656, A108), sobre la medida del tamaño del disco de acreción en Q0957+561 analizando las curvas de luz en el óptico de este quásar (2021, A&A, 654, 70) y sobre la cinemática y estructura de la región de líneas anchas en un conjunto de sistemas lente (2021, A&A, 653,109). A partir de una serie de observaciones espectroscópicas de Q0957+561 en diferentes épocas se han estimado la masa del agujero negro supermasivo central (utilizando el redshift gravitatorio del blend UV del hierro, FeIII[2039-2113]) y la extensión y cinemática de la región de gas ionizado que rodea al disco de acreción (estudiando la variabilidad de las líneas de emisión anchas).

Se ha desarrollado un nuevo algoritmo basado en el “Fast Multipole Method” para acelerar los cálculos de la deflexión gravitatoria ejercida por las estrellas u otros objetos compactos (agujeros negros, por ej.) sobre los rayos de luz de una fuente lejana (un quásar, típicamente) que atraviesan la galaxia que actúa de lente. Implementando este nuevo algoritmo en el código desarrollado previamente para optimizar el trazado inverso de rayos (“Inverse Polygon Method”) se ha conseguido que el número de micro-deflectores no tenga prácticamente impacto en el tiempo de computación, permitiendo el acceso a investigaciones (como el estudio del medio intergaláctico en cúmulos de galaxias a través del efecto lente) hasta ahora intratables.

Se han publicado (ApJ, 2021, 914, 112) los resultados del nuevo test cosmológico del Principio de Equivalencia de Einstein basado en la medida del redshift gravitatorio en quásares que demuestran que este principio se cumple en el intervalo de redshift cosmológico entre  $z=0$  y  $z=3$  con una incertidumbre por debajo del 13% y que este test puede ser refinado hasta obtener incertidumbres por debajo del 1%. Se ha obtenido la expresión para el redshift

gravitatorio en la aproximación PPN que, utilizando medidas del redshift de los quásares, puede ser usada para probar la Teoría General de la Relatividad (y otras teorías métricas alternativas) en diferentes épocas del Universo. De acuerdo con los cálculos, podría llevarse a cabo si se alcanza una precisión mejor que un 1%.

Se ha avanzado en el estudio de viabilidad de la detección del microlensing astrométrico de quásares a partir de medidas en una única época. Se ha estudiado la dependencia con el tamaño de la fuente, con la abundancia de microlentes y con la magnificación del sistema lente, encontrándose una dependencia lineal con la macro-magnificación inducida por la componente uniforme de materia oscura. Se han seleccionado los casos más favorables entre los sistemas de imágenes múltiples de quásares conocidos y se están analizando las posibilidades experimentales con la instrumentación disponible y planeada.

En la línea de investigación sobre agujeros negros primordiales, se van a publicar próximamente los resultados sobre el estudio del microlensing inducido en el óptico por agujeros negros con masas en el rango detectado por los experimentos de ondas gravitatorias (LIGO/Virgo), que predicen una abundancia muy pequeña. Se continúan las investigaciones en esta área usando datos en rayos X para determinar la masa mínima por debajo de la cual el efecto microlente no puede detectar la presencia de una población de agujeros negros primordiales que pudieran explicar la materia oscura.

## COSMOLOGÍA CON TRAZADORES DE LA ESTRUCTURA A GRAN ESCALA DEL UNIVERSO (P/301203)

Francisco S. Kiatura Joyanes.

**Andrés Balaguera Antolínez, Rafael D. Barrena Delgado, Juan E. Betancort Rijo, Aurelio Carnero Rosell, Claudio Dalla Vecchia, Ana Esteban Gutiérrez, Ricardo T. Génova Santos, Carlos Hernández Monteagudo, Mónica Hernández Sánchez, Susana Iglesias Groth, Andras Kovacs, Martín López Corredoira, Rafael Rebolo López y José A. Rubiño Martín.**

**Colaboradores del IAC: Carlos Allende Prieto, Isaac Alonso Asensio, Andrés Asensio Ramos, Carlos M. Gutiérrez de la Cruz, Marc Huertas-Portocarrero Company, Evencio Mediavilla Gradolph, Casiana Muñoz Tunón y Alexandre Vazdekis Vazdekis.**

T. Abel (Kavli Stanford, EEUU); R.E. Angulo (DIPC, San Sebastián); F.D. Albareti (UAM); M. Ata (Kavli, Tokyo, Japón); F. Atrio-Barandela (Univ. de Salamanca); M. Bilicki (Univ. de Leiden, Países Bajos); E. Branchini (Univ. de Roma, Italia); R. B. Metcalf (Univ. de Bolonia, Italia); N.D. Castro-Rodríguez, R. Scarpa (GRANTECAN S.A., La Palma); C.-H. Chuang, M.A. Sánchez Conde (Univ. de Stanford, EEUU); A.J. Cuesta Vázquez (UB); A. Pérez Garrido, R. Toledo. Villo (UPCT); T. Faerber (Univ. Uppsala, Suecia); A. Klypin (Univ. de Nuevo México, EEUU); G. Luzzi (Univ. La Sapienza, Roma, Italia); F. Melia (Univ. de Arizona, EEUU); A.D. Montero Dorta (IAA); M. Pellejero Ibáñez (DIPC, San Sebastián); A. Spallicci (Univ. de Orleans, Francia); F. Sylos-Labini (Fermi Center, Roma, Italia); M. Vakili (Obs. de Leiden, Países Bajos); R. Wechsler (UCL Stanford); G. Yepes (UAM); C. Zhao (EPFL, Lausanne, Suiza); S. Allam (Univ. de Edinburgo); Y. Yu (Shanghai Obs.), A. Sánchez (Max Planck Ins. for Extraterrestrial Physics); A. Ross (Univ. de Oklahom, EEUU); M. Vargas Magana (UNAM), J. García-Bellido (IFT Madrid), I. Szapudi (IfA Hawai, EEUU), L. Marmet (York Univ., Toronto, Canadá), J.I. Calvo Torel (estudiantes Master, dep. Astrofísica, Univ. de La Laguna); M.A. Sanchez-Lozano (IFIC-CSIC, Univ. de Valencia).

### Introducción

El Fondo Cósmico de Microondas (FCM) contiene la información estadística de las semillas que van a dar lugar a la formación de estructuras en nuestro Universo. La contrapartida natural en el Universo local del FCM es la dis-

tribución de las galaxias que surgen como resultado del crecimiento gravitatorio de aquellas pequeñas fluctuaciones de densidad primigenias. La caracterización de la distribución de inhomogeneidades a gran escala en el Universo actual proporciona pues una herramienta poderosa, y complementaria al FCM, para determinar el origen y contenido material de nuestro universo, su ritmo de expansión a lo largo de la historia y el proceso detallado de ensamblaje de las grandes estructuras. Su estudio permitirá, en los próximos años, responder a tres de las grandes cuestiones abiertas en la Cosmología actual:

- ¿Qué es la materia oscura, y cuál es su contribución precisa al contenido energético del Universo?
- ¿Qué es la energía oscura y cuáles son sus efectos dinámicos a lo largo de la historia del Universo?
- ¿Cuál es la conexión entre las grandes estructuras y la formación de galaxias?
- ¿Existe evidencia de variación de las constantes fundamentales de la Física a lo largo de la historia del Universo?
- ¿Existe evidencia de desviaciones de Gaussianidad primordiales que nos den información de la época de expansión inflacionaria del Universo?

Para poder contribuir a dar respuesta a estas preguntas, en este Proyecto se usarán distintos trazadores de la estructura a gran escala del Universo:

- La distribución y agrupamiento a gran escala de las galaxias, y su evolución con el tiempo. El espectro de potencias  $P(k)$  y la función de correlación a dos puntos  $\xi(r)$  de la materia contienen ciertos rasgos geométricos asociados a escalas características en el Universo, como el horizonte en la época de la igualdad, o el horizonte acústico en la superficie de último "scattering". En particular, este último determina la escala BAO, asociada a oscilaciones acústicas de los bariones.
- La estadística de las fluctuaciones angulares del desplazamiento al rojo (ARF, de sus iniciales en inglés), constituye otro observable cosmológico con sensibilidad al ritmo de crecimiento de estructuras entre otros.
- La estadística de ordenes mayores: la de tres puntos caracteriza la desviación de Gaussianidad y por tanto la formación de estructuras gravitacional, el sesgo (bias) galáctico y posibles desviaciones primordiales de Gaussianidad.



- La distribución de los grandes vacíos en el Universo. Tanto la estadística de grandes vacíos, como la expansión de los mismos, proporciona una herramienta complementaria para determinar la densidad de materia ( $\Omega_m$ ) y la ecuación de estado de la energía oscura. Estos vacíos cósmicos contienen información de los órdenes mayores de las galaxias y pueden ayudar a obtener mejores medidas de la escala BAO.
- La red cósmica (cosmic web): ésta puede estudiarse para caracterizar la formación de estructuras y para relacionar la estructura a gran escala con procesos de formación de galaxias.
- La distribución y abundancia de cúmulos de galaxias en el Universo, así como su evolución con el tiempo.

## Hitos

Participación del grupo en la colaboración DESI, J-PAS y ROMAN (participación activa en la generación de catálogos de sintéticos de galaxias).

Financiación del Gobierno Plan estatal para la continuación del Proyecto Big Data of the Cosmic Web.

Financiación del Gobierno de Canarias en estudios de la gravedad modificada y colaboración con el grupo de Cosmología de la Univ. de Oslo, Noruega.

Nota de prensa: "Confirman la existencia de un supervacío cósmico que desafía nuestra comprensión de la energía oscura" investigación realizada por la colaboración Dark Energy Survey (DES) y liderada por el investigador A. Kovács.

Medida de la distribución espacial de los bariones "ausentes" del universo de  $z \sim 0$  a  $z \sim 5$  por medio de las ARF, y cotas a desviaciones de gravedad con respecto a Relatividad General (Nota de Prensa: "Nueva luz sobre la materia bariónica perdida y la gravedad en escalas cósmicas").

Reconstrucción de proto-cúmulos con COSMIC BIRTH (nota de prensa: <https://www.iac.es/en/outreach/news/big-data-model-evolution-cosmic-web>).

## Desarrollo y resultados

### *Catálogos simulados de trazadores de la estructura a gran escala*

Para colaboraciones internacionales de censos de galaxias.

- Simulaciones numéricas precisas:

De la distribución de halos de materia oscura y de las galaxias. En este campo formamos parte de la colaboración enlace a UNITSIMS que ha realizado simulaciones de halos de materia oscura con técnicas de N-cuerpos y supresión de la varianza cósmica. Se mandó una publicación poblando los halos de materia oscura con galaxias H-alpha (Knebe et al. incluyendo a Kitaura). Además, se participa en colaboraciones internacionales usando las simulaciones SLICS y ABACUS.

De la distribución bariónica y de los bosques de Lyman alpha. En este punto se colabora con el equipo de K. Nagamine de la Univ. de Osaka (Japón) para proporcionar simulaciones hidrodinámicas con procesos de cooling, star formation y feedback de alta calidad.

- Métodos de aprendizaje automático de simulaciones numéricas:

Para generación de catálogos de galaxias. Se ha continuado con el desarrollo de BAM (A. Balaguera Antolínez, F. Kitaura, F. Sinigaglia) para producir catálogos de halos de materia oscura, de galaxias (LRGs, eLGs Véase: enlace a nota de prensa BAM). Algunos de los desarrollos no han sido publicados aún, pero los resultados se están usando en varias colaboraciones tales como DESI, JPAS y Roman.

Para generación de bosques de Lyman alpha sintéticos. Se ha continuado con el desarrollo de BAM (A. Balaguera Antolínez, F. Kitaura, F. Sinigaglia) para el aprendizaje de simulaciones hidrodinámicas de distribuciones de bariones en el Universo y de bosques de Lyman alpha. El resultado ha sido una publicación en ApJ (Sinigaglia, Kitaura, Balaguera-Antolínez et al.) y en otra en proceso.

### *Análisis de la estructura a gran escala a partir de sus trazadores*

- Reconstrucciones de las fluctuaciones primordiales a partir de la distribución de galaxias:

La aplicación de esta técnica ha demostrado ser prometedora para la determinación de desviaciones de gaussianidad primordiales en el bi-espectro y por tanto estudiar la época de la inflación cósmica (Véase: enlace a nota de prensa inflación).

El desarrollo del código COSMIC BIRTH ha conducido a tres publicaciones (Kitaura, Ata, Rodríguez-Torres, Hernández-Sánchez, Balaguera Antolínez & Yepes; Hernández-Sánchez, Kitaura, Ata & Dalla Vecchia; Ata, Kitaura et al). En concreto se ha aplicado a la distribución de

galaxias del COSMOS Field para reconstruir el campo de densidad de los proto-cúmulos más grandes observados a alto  $z$ . Además se ha publicado un método estadístico de muestreo para altas dimensiones (Véase enlace a nota de prensa Big Data).

- Reconstrucción de vacíos cósmicos a partir de la distribución de galaxias:

Para la medida del BAO (F. Kitaura en colaboración con el grupo de Cheng Zhao y Chia-Hsun Chuang). Hemos seguido investigando el modelado de la función de correlación de dos puntos para la distribución de vacíos cósmicos y los efectos de sistemáticos. Esto ha conducido a dos publicaciones, una técnica (Forero-Sánchez et al. incluyendo a F. Kitaura) y otra con las implicaciones sobre los parámetros cosmológicos (Zhao et al incluyendo a Kitaura y la colaboración SDSS-IV).

Para la medida del ISW: A. Kovács dirigió un análisis en la colaboración Dark Energy Survey (DES) para mapear un gran vacío cósmico (notas de prensa Fermilab e IAC). A. Kovács también utilizó vacíos cósmicos detectados en el universo más distante con los datos de eBOSS para mediciones de correlación con el CMB.

Para medidas de la prueba Alcock-Paczynski: A. Kovács participó en un análisis de vacíos cósmicos simulados en la colaboración Euclid.

- Estudio y medida de fluctuaciones angulares del desplazamiento al rojo (ARF):

En Hernández-Monteagudo et al. 2021a se presentan las ARF como observable cosmológico, mientras que en Hernández-Monteagudo et al. 2021b se extraen de los catálogos de BOSS LOWZ y CMASS, extrayendo cotas competitivas sobre gravedad a  $z \sim 0.5$ , y en Chaves-Montero, Hernández-Monteagudo et al. 2021 se usan las ARF en correlación cruzada con mapas de Planck de CMB para medir el efecto kSZ y medir la distribución del gas intra e inter-cumular hasta  $z \sim 5$  (Véase enlace a nota de prensa sobre las ARF).

En Legrand, Hernández-Monteagudo et al. 2021 se presentan pronósticos para la combinación de las ARF con estimadores estándar de agrupamiento angular de galaxias para las misiones futuras Euclid y DESI.

- Correlaciones de agrupamiento de galaxias con mapas de CMB:

Predicciones para la medida de la energía oscura y no-gaussianidad primordial basadas en correlaciones cruzadas entre mapas de CMB y catálogos de fuentes de futuros surveys (Ber-

mejo-Climent et al. 2021, incluyendo a Rubiño-Martin).

Predicciones para la medida de la energía oscura y otros parámetros cosmológicos en correlaciones cruzadas entre mapas de CMB y catálogos de la misión Euclid (con la participación de C. Hernández-Monteagudo).

- Estudio del impacto de bariones en estadísticas de trazadores luminosos:

Modelización simple y precisa del impacto de bariones en espectro de potencias y bi-espectro de halos y ruptura de la degeneración con parámetros cosmológicos (publicado en Aricò et al. 2021, incluyendo a Hernández-Monteagudo).

### *Cúmulos de galaxias detectados por su señal Sunyaev-Zeldovich en Planck*

En Ferragamo et al. (2021) se incluyen los resultados finales del programa ITP dedicado a la caracterización del catálogo PSZ1 de Planck, y en Aguado-Barahona et al. (A&A aceptado), se presentan los resultados finales del programa 128MULTIPLE-16/15B (LP15) dedicado al PSZ2. En total, se presentan estimaciones de dispersión de velocidades y masas dinámicas para casi 400 cúmulos de galaxias. Usando una sub-muestra de 207 cúmulos, en Ferragamo et al. (2021) se ha restringido la relación de escala MSZ-Mdyn, encontrando un bias en masa de  $(1 - B) = 0.83 \pm 0.07(\text{stat}) \pm 0.02(\text{sys})$  para el PSZ1. Con un análisis similar, en Aguado-Barahona et al. se analizan 297 objetos del PSZ2 y se obtiene  $(1 - B) = 0.80 \pm 0.04(\text{stat}) \pm 0.05(\text{sys})$ . Estos resultados no resuelven la aparente tensión entre las medidas de anisotropías de CMB y la abundancia de cúmulos de galaxias en el plano  $\Omega_M - \sigma_8$ . También se ha contribuido a los proyectos WEAVE y CHEX-MATE (Cluster HERitage project with XMM-Newton Mass Assembly and Thermodynamics at the Endpoint of structure formation).

### *Modelos alternativos (M. López-Corredoira)*

Con J.E. Betancort Rijo y R. Scarpa: Investigaciones sobre MOND como alternativa a la hipótesis cosmológica de la materia oscura. Un artículo publicado sobre curvas de rotación. Investigaciones sobre cúmulos de galaxias con MOND.

Con A. Spallicci, trabajo sobre tests cosmológicos y aplicación a teorías no-estándar de propagación electromagnética. Publicación de un artículo.

Con C.M. Gutiérrez de la Cru, investigaciones sobre la relación entre tamaño de galaxias es-

pirales, emisión en infrarrojo y absorción en el visible, en galaxias cercanas, y con diseño de un test cosmológico para aplicar el test a más alto redshift. Publicación de un artículo.

Con F. Melia y M.A. Sanchis Lozano, actualización de la aplicación del test cosmológico de Alcock-Paczinski con nuevos datos; y estudio de anomalías de asimetría par-impar en la descomposición multipolar de la CMBR.

Con el estudiante de Máster J.I. Calvo Torel, se han estudiado soluciones al diagrama de Hubble de supernovas-la que no necesitan energía oscura.

## EXPERIMENTO QUIJOTE CMB (P/401199/03)

José A. Rubiño Martín.

**Paz Alonso Arias, Mateo Fernández Torriro, Rricardo T. Génova Santos, Federica Guidi, Carlos M. Gutiérrez de la Cruz, Carlos Hernández Monteagudo, Carlos H. López Caraballo, Javier D. Miguel Hernández, Michael Peel y Rafael Rebolo López.**

**Colaboradores del IAC: Marta Aguiar González, Patricia C. Fernández Izquierdo, María F. Gómez Reñasco, Roder J. Hoyland, María R. Pérez de Taoro y Afrodísio Vega Moreno.**

A. Lasenby, M. Ashdown (Univ. de Cambridge, Reino Unido); L. Piccirillo, B. Watson, J. Chluba (Univ. de Manchester, Reino Unido), E. Martínez-González, P. Vielva, D. Herranz, R.B. Barreiro, P. Casas (IFCA), E. Artal (DICOM).

### Introducción

El experimento QUIJOTE (Q U I JOint TEnerife) tiene como objetivo caracterizar la polarización del Fondo Cósmico de Microondas (FCM) y otros procesos de emisión Galáctica y extra-galáctica en el rango de frecuencias de 10-42 GHz, y a grandes escalas angulares (1 grado de resolución). Las medidas de QUIJOTE complementan a baja frecuencia las que ha obtenido el satélite Planck (ESA), y permiten caracterizar con precisión la polarización de la emisión sincrotrón y la emisión anómala de microondas de nuestra Galaxia.

El experimento consta de dos telescopios (QT-1 y QT-2) y tres instrumentos (MFI, TGI y FGI) que cubren 6 bandas de frecuencia. El MFI (Multi-Frequency Instrument) observa en 4 bandas (11, 13, 17 y 19GHz), y ha estado en operación en el QT-1 desde noviembre de 2012 hasta finales de 2018. Los instrumentos TGI (Thirty GHz Instrument) y FGI (Forty GHz Instrument) tienen cada uno 31 receptores, a 30GHz y 42GHz respectivamente. El TGI tuvo su primera luz con 27 polarímetros en diciembre de 2016, y los primeros detectores del FGI tuvieron primera luz en 2018. En la actualidad, ambos instrumentos TGI y FGI se han integrado en un único criostato en el foco del QT-2, en una configuración mixta de 14 receptores de 30GHz, y 15 de 42GHz. TGI y FGI han sido diseñados para alcanzar la sensibilidad necesaria para detectar una componente de ondas gravitacionales primordial si ésta tuviera una razón tensorial a escalar de  $r=0.05$ . Dicha componente deja su impronta en el espectro de potencias de la polarización del FCM en forma de los denominados "modos-B". La detección

de dichos modos-B abriría un camino extraordinario para esclarecer la física de la inflación.

Para alcanzar los objetivos científicos, los mapas para estudios cosmológicos de QUIJOTE cubrirán un área de unos 3,000 grados cuadrados, y alcanzarán un nivel de sensibilidad de 3-4 microK por haz en 11-19GHz, y 1 microK por haz tanto a 30GHz como a 42 GHz. Además, el experimento proporciona mapas de medio cielo (20,000 deg<sup>2</sup>) que se han usado para modelar la emisión de los contaminantes en radio (sincrotrón, libre-libre y emisión anómala), en el contexto del proyecto RADIOFOREGROUNDS: <http://www.radioforegrounds.eu>.

En paralelo, se desarrollan dos nuevos instrumentos, financiados en su mayor parte por fondos del plan de infraestructuras, equipamiento científico-técnico y INSIDE-OOCC: un nuevo Multi-Frecuencia (MFI2), que sustituirá al actual MFI incluyendo mejores prestaciones; y el TMS (Tenerife Microwave Spectrometer), un espectrógrafo de microondas también en el rango 10-20 GHz complementario a QUIJOTE. Mientras se construye el MFI2, desde el QT-1 se ha operado el instrumento visitante KISS, de la Univ. de Grenoble.

El proyecto QUIJOTE, liderado por el IAC, tiene como socios al Instituto de Física de Cantabria (IFCA), al Departamento de Ingeniería de Comunicaciones (DICOM), y las Universidades de Manchester y Cambridge en Reino Unido. Web: <http://research.iac.es/project/cmb/quijote>.

### Hitos

- KISS: Finalización de las observaciones con KISS y desmontaje del instrumento. Publicación de los primeros resultados.
- TFGI: Mejora y verificación de las prestaciones de vacío del criostato. Instalación del TFGI con 7 detectores en el QT2. Inicio del comisionado.
- MFI2: Inicio de la integración mecánica. Verificación del prototipo de adquisición y pre-procesado de datos basado en FPGAs.
- TMS: Revisión de diseño detallado (CDR) de la montura. Pruebas de verificación en Bolonia de la carga a 4K. Finalización de la obra de cimentación.

### Desarrollo y resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante 2021 en cada uno de los aspectos técnicos del proyecto QUIJOTE. Un informe más detallado se encuentra en el apartado correspondiente del Área de Instrumen-



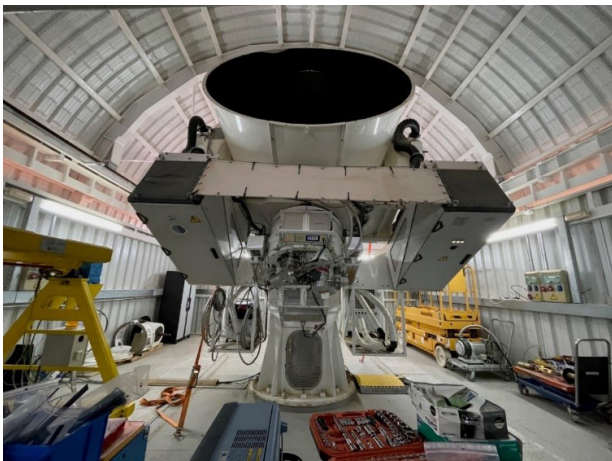
tación (P/401199). Los resultados relacionados con aspectos científicos se presentan en el informe del Proyecto P/308605.

**Primer Telescopio QT1 y su instrumentación**

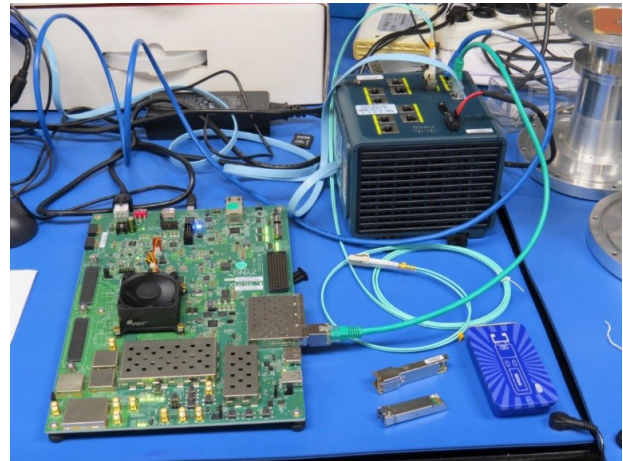
MF12. Durante 2021, con la fabricación y pruebas en el IAC de los adaptadores coaxiales, finalizó la fase de fabricación y adquisición de componentes, y se inicia la integración mecánica del MF12 en el laboratorio de AIV del IAC. En colaboración con la UPCT (Univ. Politécnica de Cartagena) se ha desarrollado un prototipo para un solo canal de un nuevo sistema de adquisición y pre-procesado de datos, basado en tecnología FPGA ultra-rápidos integrados en la tarjeta comercial Zynq® UltraScale+™ RFSoc ZCU111. El objetivo de este sistema es optimizar la capacidad de filtrar y corregir las señales de RF en ambos instrumentos, MF12 y TMS, mediante una digitalización y descomposición espectral de la banda de 10-20GHz.

KISS. El instrumento visitante KISS es el fruto de una colaboración científica con Grenoble (Institut Néel, LPSC & IPAG), el IAC la Univ. la Sapienza (Roma). Se trata de un espectrómetro Martin-Puplett de baja resolución ( $\Delta\nu = 1-3$  GHz), acoplado a una cámara basada en detectores KIDs (80-200 GHz) con un sistema de dilución de He para alcanzar temperaturas de 100 mK. La motivación científica es realizar espectroscopia de baja resolución para caracterizar el espectro de cúmulos de galaxias a través del efecto SZ (Sunyaev-Zeldovich), extrayendo sus distintas componentes (presión, temperatura y velocidad). Durante 2021 se finalizaron las observaciones con el instrumento, y se llevó a cabo el decomisionado en la última semana de agosto de 2021.

Junta rotatoria del QT1. Una vez desinstalado el instrumento KISS, se desmontó la junta rotatoria del telescopio para reparar la fibra óptica y mejorar su funcionamiento. Con ello, el



**Instrumento TFGI instalado en el QT2 (noviembre de 2021).**



**Pruebas de verificación de software con la tarjeta Zynq (FPGA) para MF12 y TMS.**

QT1 queda preparado para recibir el MF12 durante 2022.

**Segundo Telescopio QT2 y su instrumentación**

FGI. Durante 2021 se implementaron una serie de mejoras en todo el sistema, destacando el cambio de los conectores de RF de los pixeles, y el diseño y fabricación de una nueva tapa frontal del criostato. Estas modificaciones han mejorado la estanqueidad del sistema, que ahora alcanza valores de presión en vacío significativamente menores, y se ha reducido el tiempo de enfriado del instrumento. Se integró el criostato con 7 pixeles (cuatro de 30GHz y tres de 40GHz), y se llevó a cabo la instalación en el Observatorio en el mes de noviembre. Se han realizado tareas de comisionado y calibración del sistema.

Junta rotatoria del QT2. Debido a repetidos problemas en el anclaje de los elementos fijos de la junta, se diseñó un nuevo sistema de fijación que será fabricado en el IAC y se implementará en el próximo período. Durante diciembre, el telescopio ha operado con una solución temporal para el anclaje de la junta.

**Espectrógrafo TMS**

Criostato y componentes. Durante 2021 se ha finalizado un primer diseño de la OMT, y se está trabajando en el diseño del híbrido. Se ha continuado trabajando en el diseño interno de la estructura fría con el análisis térmico del diseño preliminar propuesto.

Montura. La adjudicación final del contrato a IDOM tuvo lugar en febrero de 2021. Finalizado el diseño, se está terminando la fabricación de este subsistema en las instalaciones del adjudicatario. En el IAC se completó el diseño de la óptica, basada en dos espejos que proporcionan una resolución final de segunda



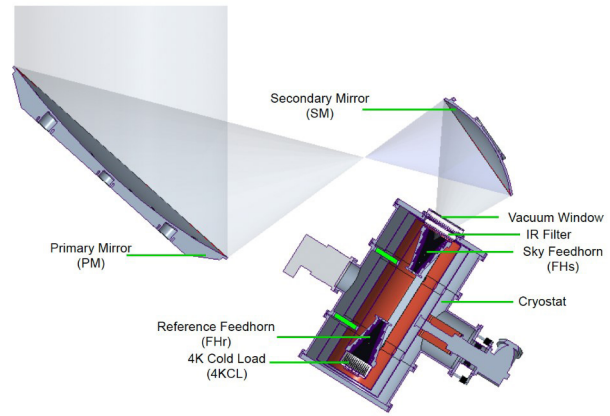
en la banda de 10-20GHz, con una baja elipticidad, baja polarización cruzada (-30dB) y bajo nivel de lóbulos laterales (-25dB). Estos resultados se han enviado para que sean publicados (Alonso-Arias et al., JINST aceptado, arXiv:2111.15364).

Carga criogénica a 4K. Este elemento se ha desarrollado en colaboración con el INAF de Bologna (Italia), donde existe un grupo de trabajo que ya ha fabricado sistemas similares para otros proyectos. El dispositivo se fabricó y caracterizó durante 2021, demostrando que cumple las especificaciones. Se enviará al IAC a principios del 2022.

Cimentación. En el último cuatrimestre del 2021 se ejecutó la obra de cimentación del TMS en el Observatorio del Teide.

**Resultados científicos**

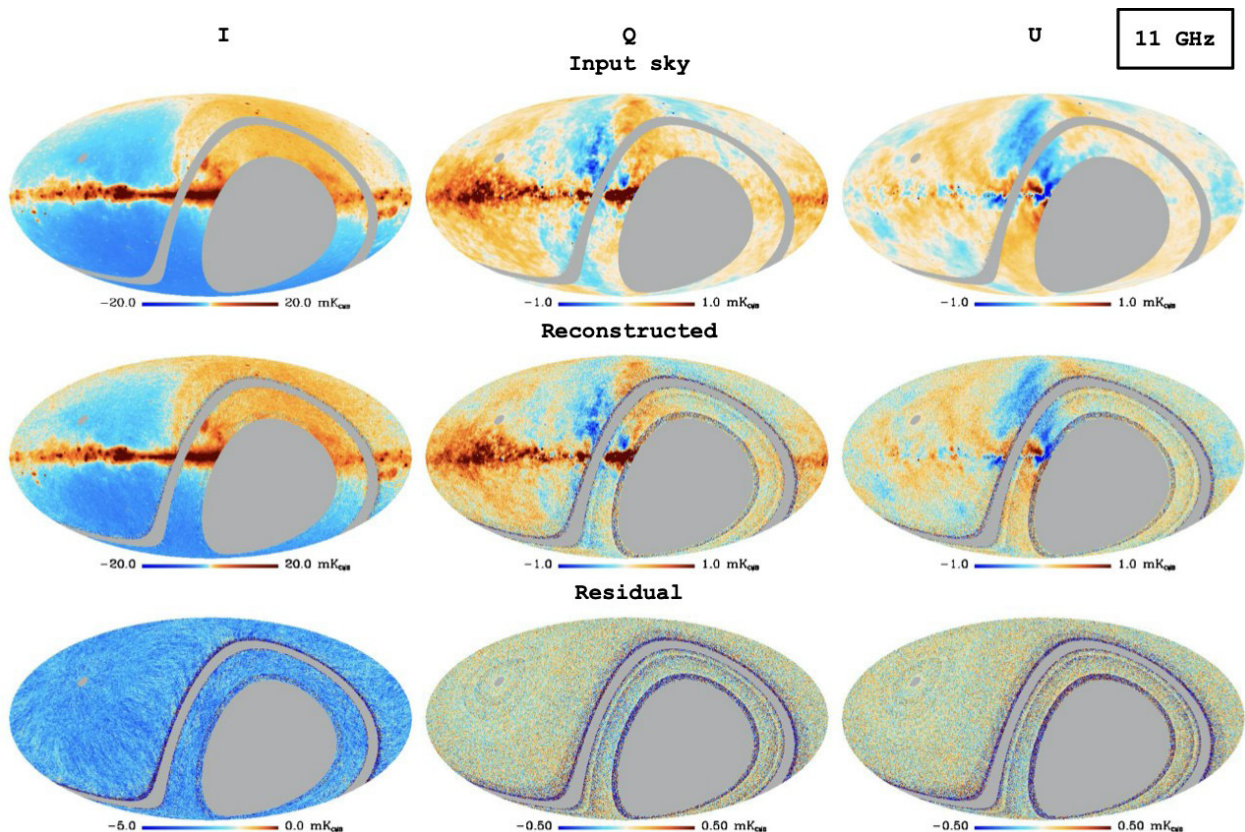
QUIJOTE MFI widey survey. Durante 2021 se ha trabajado en la elaboración de los 13 artículos científicos asociados a los mapas del “wide survey” con el MFI, que cubren el hemisferio norte a 11, 13, 17 y 19GHz, con una sensibilidad en polarización lineal de aproximadamente 40-50 microK/deg. Uno de esos artículos (Estudio de la variabilidad de los parámetros del AME en Lambda Orionis, por CepedaArroita et al. 2021) ya ha sido enviado y aceptado. El resto se espera enviar en la primera mitad de 2021.



**Visualización 3D del sistema óptico diseñado para TMS (Alonso-Arias et al. 2021, aceptado).**

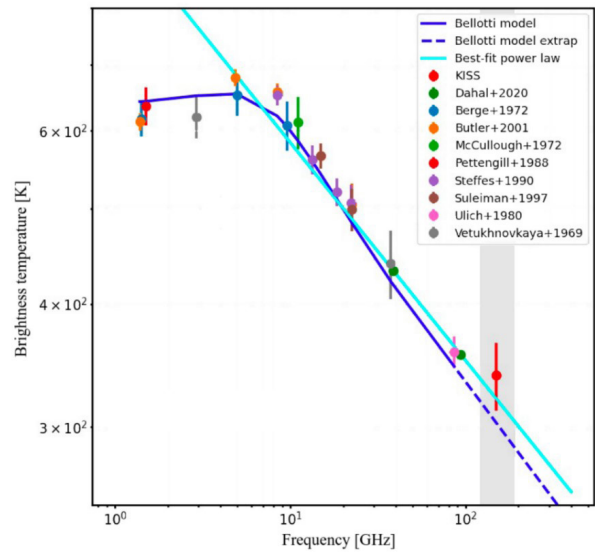
Por otro lado, se ha publicado el trabajo “The PICASSO map-making code: application to a simulation of the QUIJOTE northern sky survey” (Guidi et al. 2021), que describe el código de construcción de mapas que se ha empleado para QUIJOTE MFI.

QUIJOTE-VLA. Se ha publicado el estudio la fotometría y variabilidad de las radiofuentes en los campos cosmológicos de QUIJOTE, usando medidas de VLA entre 28 y 40 GHz (Perrott et al. 2021). El catálogo final de fuentes está públicamente disponible en la web de RADIOFOREGROUNDS (<http://www.radioforegrounds.eu/>, en el apartado “Data Products”).



**Simulación del funcionamiento del código PICASSO para construir mapas de QUIJOTE MFI. Se usan la cobertura de cielo y los niveles de ruido finales del wide survey del MFI (Guidi et al. 2021).**

KISS. En Fasano et al. (2021) se ha descrito la técnica de demodulación que se ha empleado para el análisis de los datos de KISS. En este trabajo de muestra que con dicha técnica se consigue una adecuada reconstrucción de la señal de cielo. Además, incluye el análisis de fotometría de las observaciones de Venus con KISS, en la banda de 150 GHz.



**Temperatura de brillo de Venus en función de la frecuencia en el rango de microondas-submilimétrico. Se incluye la medida obtenida con los datos de KISS (Fasano et al. 2021).**

## TEORÍA DE PARTÍCULAS (P/303328)

Jorge Martín Camalich.

Andrés Bañares Hernández, Andrés Castillo Ramíres y Jorge Terol Calvo.

P. Beck (Univ. de Graz, Austria); D. Bals (Kings College, Londres – Univ. de Barcelona); A. Crivellin (PSI-CERN); M. Escudero (TUM); L. Geng (Univ. Beihang, República Popular China); B. Grinstein (UCSD); L. Tolos (ICE); R. Ziegler (CERN); J. Zupan (Univ. de Cincinnati, EEUU).



### Introducción

El grupo trabaja en física teórica de astropartículas y su objetivo es mejorar la comprensión de las leyes fundamentales de la naturaleza mediante la explotación de las sinergias entre las observaciones astrofísicas y los experimentos de laboratorio. Las diferentes líneas en las que se está trabajando son:

#### *Búsquedas indirectas de materia oscura*

Nuevas partículas exóticas ligeras acopladas muy débilmente al modelo estándar (como el axión o el fotón oscuro) son candidatos adecuados de materia oscura que podrían manifestarse a través de algunas señales distintivas en observaciones astrofísicas y búsquedas de laboratorio. En la actualidad se están investigando y desarrollando nuevas estrategias para elucidar las propiedades de este tipo de materia oscura, incluyendo (pero no restringido a) el enfriamiento estelar de estrellas de neutrones y gigantes rojas, series de tiempo de polarización de la emisión de púlsar y su impacto en estructura a pequeña escala. También se están desarrollando nuevos modelos teóricos de materia oscura que podrían abordar simultáneamente la bariogénesis o que podrían proporcionar un sustento teórico a los fotones oscuros.

#### *Nueva física, física del sabor y Cosmología*

Experimentos recientes que involucran desintegraciones de mesones B desarrollados en el Large Hadron Collider en el CERN han encontrado resultados que sugieren la presencia de nuevas fuerzas acopladas específicamente a muones. También se han encontrado indicios

independientes para tal Nueva Física en las mediciones del momento magnético anómalo del muón. Si se confirmaran, esto implicaría un descubrimiento que transformaría nuestra comprensión de las leyes fundamentales de la Física en las escalas más pequeñas que se han sondeado. Esto tendría consecuencias en el Universo Temprano que queremos explorar, como la producción de defectos topológicos, como cuerdas cósmicas o monopolos magnéticos, la introducción de nuevos mecanismos para explicar la bariogénesis o la presencia de nuevas partículas que podrían constituir materia oscura.

#### *Física fundamental en rayos gamma de alta energía*

Se están explorando diferentes estrategias que podrían explotar las energías ultra-altas de los rayos gamma que se espera que se observen en el Cherenkov Telescope Array (CTA) o en el Large High Altitude Air Shower Observatory (LHAASO) para sondear aspectos de física fundamental.

El grupo consta actualmente de 1 investigador contratado (J. Martín Camalich), 1 contratado postdoctoral (A.F. Castillo Ramírez) y 1 estudiante de Doctorado FPI (J. Terol Calvo).

### Hitos

Culminación análisis de polarimetría de PPTA y QUIOTE (primer artículo de astropartículas teórica explotando datos del IAC).

Contratación del postdoc A. Castillo Ramírez.

11 coloquios/seminarios/reviews/etc., incluyendo primeros viajes post COVID-19.

### Desarrollo y resultados

En el último año se ha empezado a desarrollar investigaciones relacionado con búsquedas y/o límites de origen astrofísico sobre modelos de materia oscura ultraligera.

Los resultados obtenidos se desarrollan a continuación.

Usamos mediciones de la polarización de ondas de radio emitidas por púlsares galácticos para tratar de detectar efecto de birrefringencia causados por materia oscura axiónica ultraligera ( $m_a \approx 10-21$  eV). Usando técnicas de astronomía basadas en periodogramas y los datos de 21 púlsares medidos por el Parkes Pulsar Timing Array y el experimento QUIJOTE (que está liderado por el IAC), establecemos los límites teóricamente más robustos y fuertes a la interacción de esta materia oscura con la luz en el rango de masas ( $10-23$  eV  $\lesssim m_a$

$\leq 10$ -19 eV). Analizamos también las fuentes óptimas (púlsar) con las que la sensibilidad de esta estrategia de detección se podría mejorar significativamente en el futuro. El trabajo ha sido producido por el grupo en colaboración con miembros del IAC de QUIJOTE y colaboradores externos. Ha sido subido al arXiv y está en proceso de publicación en JCAP.

Las ecuaciones de estado que rigen la estructura de la proto-estrella de neutrones formada durante el colapso gravitatorio en explosiones de supernova predicen la existencia de bariones extraños (hiperones)  $\Lambda$  en equilibrio con el plasma. Su desintegración en partículas del “sector oscuro” produciría un mecanismo de enfriamiento que cambiaría significativamente la dinámica de la explosión y, en particular, la duración del pulso de neutrinos observado durante SN 1987A. En una “letter” publicada en Phys. Rev. D investigamos por primera vez este mecanismo y establecemos un nuevo límite astrofísico sobre un tipo de sector de materia oscura que interactúa genéricamente y quizás de manera no trivial con todos los sabores del Modelo Estándar (“flavored dark sectors”). El límite en las interacciones de estos modelos es muy fuerte y ha sido incluido recientemente por el Particle Data Group en su sección de límites astrofísicos y cosmológicos sobre axiones y otros bosones.

Se han investigado los modelos de bariones oscuros que han recibido mucha atención recientemente por su capacidad de explicar bariogénesis, proveer un candidato de materia oscura cosmológica y resolver la anomalía experimental relacionada con la vida media del neutrón. En este trabajo, subido al arXiv y en proceso de revisión en Phys. Rev. D, se investigó la fenomenología asociada con las desintegraciones de hiperones, se estudió específicamente el límite astrofísico que se derivaría de SN 1987A y se estableció una hoja de ruta experimental para su detección o refutación experimental en experimentos terrestres como el LHCb en el CERN o BESIII en Beijing.

En marzo de 2013 la colaboración LHCb del CERN presentó una nueva medida del ratio de universalidad de desintegraciones de mesones B llamado RK y, más tarde en octubre, de nuevas medidas en otros canales. Como expertos mundiales en la interpretación teórica de las llamadas “anomalías de sabor” se llevó a cabo un análisis estadístico en un artículo publicado en Phys. Rev. D de todos los datos y observables relacionados y encontramos una preferencia de los datos (globalmente) a la hipótesis de nueva física respecto al modelo estándar cercana al estándar de dorado

de descubrimiento en Física de Partículas de  $5\sigma$ . Esto proporciona evidencia a la existencia de un efecto sistemático en las medidas del LHCb de estos ratios que necesitará ser confirmada por un experimento independiente. A raíz de este análisis, la revista insigne de la prestigiosa Chinese Academy of Sciences (Science Bulletin) invitó a escribir un artículo de noticias científicas destacadas en colaboración con el líder del análisis experimental en LHCb, el P. Patel.

Uno de los grandes retos de la Física Fundamental es encontrar límites teóricos y experimentales sobre los que podamos testar gravedad en el régimen cuántico. En dos trabajos (letter y artículo largo) se investigó la amplitud de “scattering” elástica de dos gravitones a altas energías y en la teoría efectiva de gravedad cuántica. Una vez subsanada la aparición de divergencias infrarrojas (lo que ha bloqueado este tipo de análisis durante mucho tiempo) usando una técnica clásica de S. Weinberg, se proyecta la amplitud en ondas parciales lo que permite el uso técnicas de unitarización tan populares en tratamientos no perturbativos de física hadrónica. El resultado más destacado es que encontrado es que la amplitud de scattering en gravedad es análoga a la de piones en QCD y por tanto predecimos la existencia de una resonancia en gravedad a energías por debajo de la masa de Planck equivalente a la  $\sigma$  de QCD que llamamos el graviball.

En estos últimos dos años se ha empezado a consolidar el grupo de investigación de Teoría de Astropartículas, con la contratación de dos estudiantes de doctorado, J. Terol Calvo (JTC) y A. Bañares Hernández (ABH), y del investigador post-doctoral A. Castillo Ramírez (IAC).

En 2021 se presentó el trabajo del grupo en un total de 11 charlas en varios seminarios y congresos. Destacan un coloquio en la facultad de física de la Univ. de Tel-Aviv (Israel), dos charlas de review de física de sabor en el “XLVIII International Meeting on Fundamental Physics” de Benasque y un seminario presencial en el programa “New Physics from the Sky” del Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics en Florencia (Italia). Además, se han impartido cuatro seminarios online, en el Grupo de Astropartículas del Max Planck Institute de Munich (Alemania), en la red HIDDEN, en la unidad de Teoría de Jefferson Lab. y en la Univ. de Granada. Por último, se dio una charla divulgativa a los estudiantes de grado de la Univ. de La Laguna y dos charlas en workshops internacionales. Adicionalmente el estudiante JTC ha presentado un póster en la conferencia EPS-HEP 2021 y en el workshop HIDDEN y dos

charlas en las sesiones paralelas de PANIC2021 y TAUP2021.

En 2021 también he sido coordinador teórico del área de sabor en EPS-HEP 2021, PANIC2021 y SM@LHC2021, que son grandes conferencias del área de Física de Partículas. También he sido evaluador del programa Consolidated Grants de la Science and Technologu Facilities Council (Reino Unido).



# INSTRUMENTACIÓN Y ESPACIO

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TELESCOPIOS

### EST (TELESCOPIO SOLAR EUROPEO) (P/201602)

Manuel Collados Vera.

Colaboradores del IAC: Roberto López López, María I. Montilla García, Marcos Reyes García-Talavera y Luis F. Rodríguez Ramos.

#### Introducción

El Telescopio Solar Europeo (EST, por sus siglas en inglés) será el mayor telescopio solar jamás construido en Europa. Con un espejo primario de 4 m y la más moderna tecnología, proporcionará a los astrónomos una herramienta única para entender el Sol y cómo éste determina las condiciones meteorológicas del espacio.



Imagen artística del Telescopio Solar Europeo (EST).

El Proyecto, integrado en ESFRI desde 2016, está liderado por el IAC en colaboración con la Asociación Europea de Telescopios Solares (European Association for Solar Telescopes, EAST) que, fundada en 2006, aúna a la comunidad solar de 24 instituciones distribuidas por 17 países europeos, y tiene como objetivo principal el diseño, construcción y operación de un telescopio solar europeo (EST) en los Observatorios de Canarias.

EST supone una inversión de unos 200 M€. Su fase de diseño detallado y construcción se espera que comience en 2023 y que dure 6 años. Se estima una vida útil de, al menos, 30 años con un coste de operación anual de 12 M€.

Desde su diseño conceptual, actuación financiada bajo el 7º Programa Marco durante el periodo 2008-2011, el Proyecto EST no ha dejado de crecer y consolidarse, aunando a

su alrededor a la comunidad científico-tecnológica europea vinculada al estudio del sol. Así, y también con financiación europea, se han aprobado los proyectos SOLARNET (FP7), GREY (H2020), PRE-EST, SOLARNET H2020 y ESCAPE cuyo objeto es el de profundizar en el modelo de operación del telescopio y el desarrollo de aspectos clave para la instrumentación avanzada que este necesita.

En abril de 2017 tuvo comienzo el proyecto europeo PRE-EST (H2020) para apoyar la Fase Preparatoria del EST. PRE-EST tiene un importante componente de trabajo técnico a desarrollar con la Oficina de Proyecto del EST, pero además proporciona un marco para realizar distintas labores de coordinación con los socios del consorcio destinadas a avanzar en aspectos estratégicos tales como la gobernanza, la futura figura legal y estructura de financiación del EST. La convergencia nacional (científica y estrategia) de los miembros del consorcio es un aspecto clave que se aborda en esta fase preparatoria. En este sentido, y para favorecer dicha convergencia, se han creado distintos grupos de trabajo y comités para avanzar en la definición del Proyecto.

En el marco del Proyecto H2020 PRE-EST "Fase preparatoria para EST", se están llevando a cabo tareas técnicas y estratégicas propias de esta fase en una infraestructura estratégica como es EST, con el fin de facilitar a su consorcio internacional, y a las agencias financiadoras, un plan detallado para la construcción y puesta en marcha de EST.

En esta fase preparatoria, y tras la asignación de fondos del Gobierno Autónomo de Canarias, se ha creado la Oficina de Proyecto de EST. El objetivo central de la Oficina de Proyecto es el diseño preliminar de sistemas y subsistemas del telescopio, hasta un nivel suficiente que permita el inicio de la etapa de diseño detallado y poder así en una siguiente fase comenzar la construcción de EST, garantizando el cumplimiento de los requisitos científicos del telescopio. La Oficina de proyecto realiza su trabajo en equipo con los científicos de EST representados por el "Science Advisory Group" y el "Technical Advisory Group", con el objetivo claro de optimizar el diseño y garan-

tizar el cumplimiento de los requisitos científicos.

Las tareas técnicas más importantes a desarrollar por la Oficina de Proyecto son:

- Consolidación del diseño del Sistema resultante de la etapa previa de estudio de diseño.
- Definición de las especificaciones para licitación de contratos de diseño preliminar.
- Diseño preliminar y simulaciones del sistema.
- Ejecución de contratos industriales. Diseño preliminar de subsistemas.
- Evaluación y consolidación del sitio para la construcción.
- Especificaciones de diseño detallado.
- Plan de construcción.

En paralelo a PRE-EST se desarrollan los proyectos MICAL (Mejoras estratégicas en Infraestructuras Científico-tecnológicas y de Apoyo Logístico a los Observatorios de Canarias), uno de cuyos objetivos principal es la validación del concepto de la Óptica Multiconjugada para EST; y SOLARNET (SOLARNET (Integrating High Resolution Solar Physics) cuyo objetivo es la integración de las principales infraestructuras europeas de investigación terrestres en el campo de la física solar de alta resolución.

MICAL consta de diversas actuaciones, combinando las de carácter instrumental con otras de tipo logístico. El Área de Instrumentación del IAC está a cargo de las primeras, dentro del subproyecto MICAL/EST, que comprende dos subactuaciones.

La primera subactuación (MICAL/AO) consiste en la construcción de un demostrador del sistema de óptica adaptativa de EST, mientras que la segunda (MICAL/GRIS) se enfoca en el diseño e integración de un conjunto de mejoras en el espectrógrafo GRIS del Telescopio GREGOR para permitir observaciones espectropolarimétricas simultáneamente en varios rangos espectrales.

En fases anteriores de SOLARNET-FP7 (Prototype for IFU Image slicer) y GREY (Design for multi-slit IFU) se ha abordado el prototipo y diseños de un Sistema de campo integral para GRIS. En esta fase, SOLARNET-H2020 abordará el prototipado de "slicers" más finos. La idea es mejorar las técnicas de espectroscopia 2D con slicers pensando en su uso en futuros instrumentos.

## Hitos

### Febrero

- Formalización contrato diseño preliminar M1.
- Formalización contrato diseño preliminar Estructura, Pilar y cúpula.

### Marzo

Marzo 2021 Formalización contrato diseño preliminar M2.

### Junio

Revisión Fase 1 Diseño preliminar M1.

### Julio

Revisión Fase 1 Diseño preliminar Estructura, cúpula y pilar.

### Septiembre

- Revisión Fase 1 Diseño preliminar M2.
- Anuncio licitación Diseño preliminar del sistema de diafragma de campo con supresión de calor por reflexión para el Telescopio Solar Europeo (Heat Rejecter).

## Desarrollo y resultados

El trabajo desarrollado en el 2021 se ha centrado principalmente en poder cumplir los objetivos del proyecto para esta fase preparatoria:

- Consolidación de la Oficina de Proyecto.
- Consolidación del diseño conceptual de todos los subsistemas de EST.
- Definición de especificaciones de los subsistemas para el diseño preliminar del telescopio.
- Diseño preliminar del telescopio.
- Definición de especificaciones para el diseño detallado y fabricación de todos los subsistemas, actualizando las estimaciones de costos y el cronograma de construcción.

El trabajo realizado durante el 2021 ha sido muy intenso y productivo. Los objetivos de la fase preparatoria sentarán bases sólidas para conseguir la consolidación de la construcción de EST en la Palma.

La Oficina de Proyectos EST es una realidad consolidada y ha sido una tarea continua a lo largo de los años 2020 y 2021.

Los trabajos técnicos de esta fase requirieron la disponibilidad de ingenieros cualificados de distintas especialidades. El personal contratado ha realizado la revisión del diseño



**Oficina del Proyecto, noviembre 2021.**

conceptual, la preparación de ofertas para el diseño preliminar de los sistemas principales del telescopio y el seguimiento del avance de las tareas de diseño por parte de las empresas adjudicatarias, así como el desarrollo de simulaciones y pruebas de laboratorio para demostrar las capacidades del sistema MCAO.

La Oficina de Proyectos de EST siguió revisando y actualizando el diseño de EST, teniendo en cuenta los avances de la tecnología en estos últimos años y adoptando las mejores soluciones técnicas que permitan garantizar la excelencia del telescopio y proporcionar a la comunidad solar europea las mejores observaciones cumpliendo los requisitos científicos de EST.

A pesar de la emergencia sanitaria de la COVID-19, la productividad del equipo EST Project Office (PO) siguió siendo muy alta mientras trabajaban al 100% desde casa. Desde el 1 de octubre de 2021, el equipo volvió físicamente a la oficina el 80 % de su tiempo de trabajo. Sin embargo, la Covid-19 ralentizó los procesos de licitación y todos los trabajos de laboratorio que requerían presencia física del personal en el laboratorio, como el banco demostrador del concepto de la óptica Multiconjugada de EST (MCAO). La Covid-19 también ha reducido las posibilidades de organizar eventos o reuniones públicas para presentar EST a los representantes de las industrias, pero se han utilizado las vías disponibles para seguir dando visibilidad al proyecto y a las licitaciones del diseño preliminar.

La revisión del diseño conceptual de EST, que introdujo en septiembre de 2019 un espejo secundario adaptativo (ASM) como una opción conveniente de componente de alta tecnología para agregar a EST, hizo que el proyecto fuera más atractivo y competitivo para la cien-

cia. Esta revisión minimizó el número de espejos, pasando de 14 a 6.

La revisión y modificación del concepto ha permitido definir las especificaciones técnicas y toda la documentación necesaria para lanzar las ofertas para el diseño preliminar de cuatro sistemas principales de telescopio: estructura de telescopio con pilar y cúpula, espejo primario, espejo secundario, y Heat Rejecter.

En 2021 se publicó la licitación del:

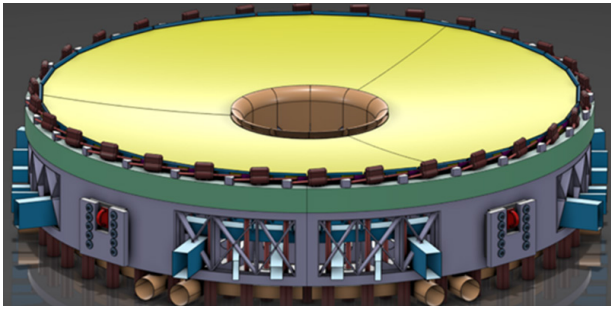
- Diseño preliminar del sistema de diafragma de campo con supresión de calor por reflexión para el EST (Heat Rejecter)

Se formalizaron 3 de los contratos principales del diseño preliminar de EST que han desarrollado las fases 1 y parte de las fases 2 a lo largo del año:

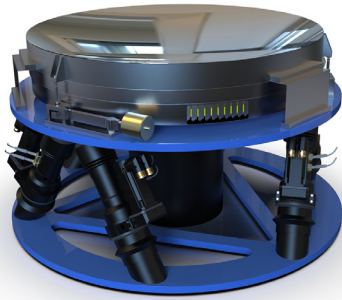
- Diseño Preliminar del Espejo Primario para el EST.
  - Diseño Preliminar del Espejo Secundario Adaptativo para el EST.
  - Diseño Preliminar de la Estructura del Telescopio, Pilar y recinto para el EST.
- Cada uno de estos contratos de diseños preliminares se divide en 3 Fases:
- Fase 1.- Consolidación de especificaciones y trade-off.
  - Fase 2.- Diseño incluyendo interfaces y prototipos.
  - Fase 3.- Realización de prototipos, pruebas, actualización de diseños y documentación. Propuesta de construcción.

El desarrollo de las fases 1 en este año ha permitido definir el diseño base de cada sistema a desarrollar en las siguientes fases.





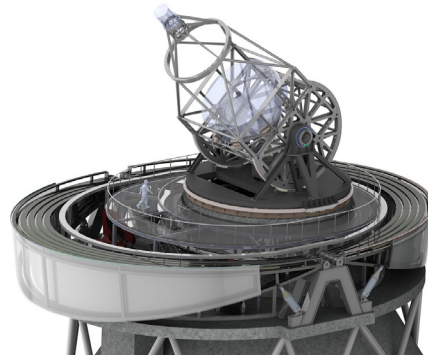
Diseño base M1



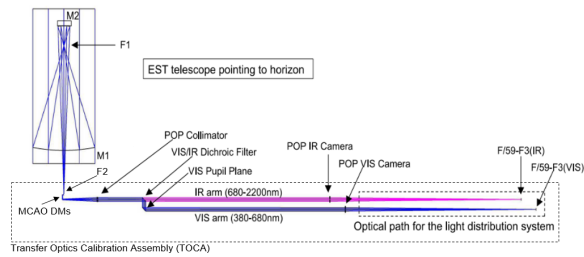
Diseño base M2.

El SAG (Scientific Technical Group) ha contribuido activamente a la revisión de las especificaciones del sistema resultado de la interpretación de los requisitos científicos, habiéndose realizado varias reuniones del SAG con la PO. Especialmente en este período han trabajado intensamente en la consolidación de la propuesta de distribución de luz.

Esto ha permitido avanzar en la definición de los diferentes instrumentos que serán diseña-

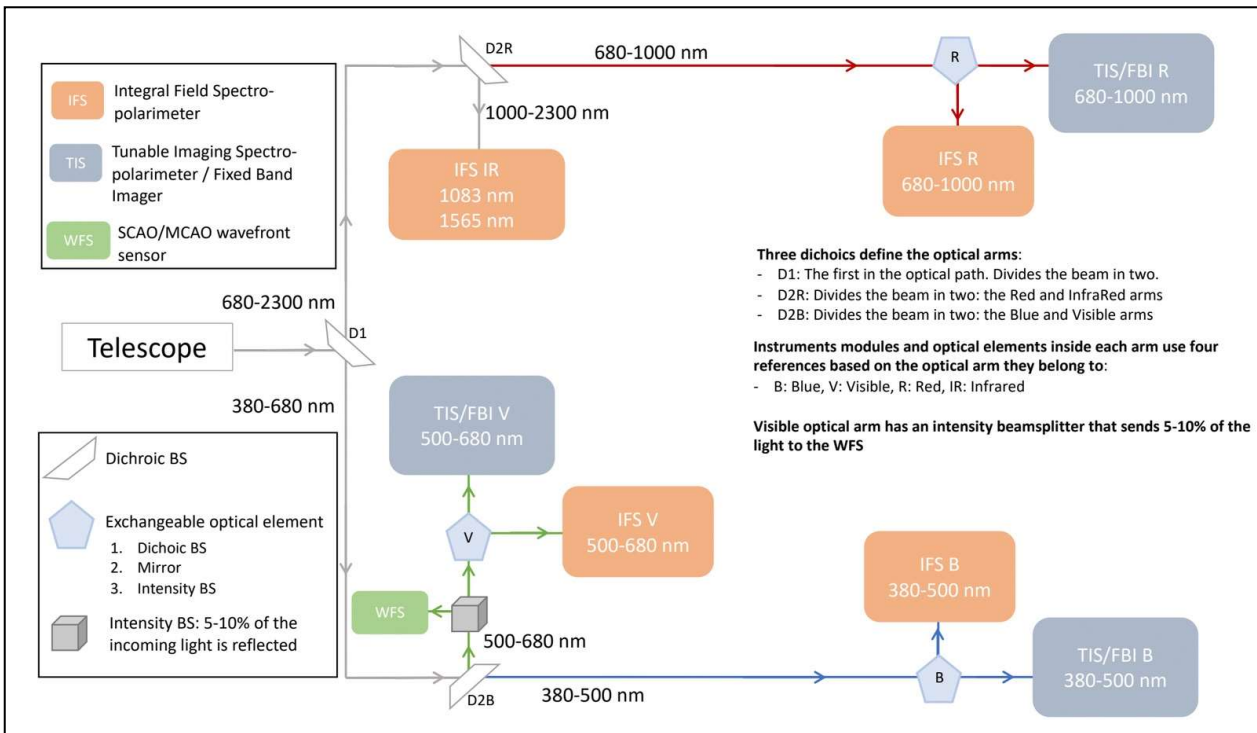


Diseño Base estructura del telescopio.



Diseño óptico EST.

das en el marco de consorcios de las instituciones participantes en EST, como contribuciones en especie de las mismas al proyecto. En la identificación de los diferentes instrumentos se ha tenido en cuenta la optimización no solo de las observaciones científicas sino también con la idea de permite la optimización de la operación y mantenimiento futuro de los mismos.



Distribución de la luz en la sala Coude a los diferentes instrumentos de EST.

## TTNN CONTROL: NUEVO SISTEMA DE CONTROL PARA LOS TELESCOPIOS NOCTURNOS (P/701906/03/01)

Alejandro Oscoz Abad.

### Introducción

Los telescopios TCS e IAC-80, conocidos como TTNN y situados en el Observatorio del Teide, son telescopios operados manualmente por parte de los astrónomos (de forma presencial o remota) a través de unas aplicaciones informáticas específicas desarrolladas en su mayor parte en los años 90. Estas aplicaciones permiten controlar todos sus movimientos (motores y codificadores), así como los mecanismos auxiliares integrados, tales como: cúpula, ventanas, compuertas, pétalos, estación meteorológica, alarmas, GPS, medidor de seeing, etc. Este sistema de control reside en un PC de control que aloja diversas tarjetas para comunicarse con los diferentes elementos, y un PC auxiliar, conectado a través de una línea RS232, que actúa como interfaz de usuario. Aunque ha habido algunas actuaciones para modernizar el sistema, gran parte del mismo sigue basándose en componentes que, hoy en día, están completamente obsoletos.

El objetivo de este Proyecto es pues realizar la mejora del sistema de control de estos telescopios, de forma que el nuevo entorno de software y hardware que se diseñe sea moderno, robusto y versátil, y permita controlar los telescopios de manera eficiente de forma remota y facilite, posteriormente, su operación automática.

### Hitos

Llegada de los principales componentes hardware del proyecto (módulos electrónicos de control, motores, servidores...).

Aprobada la arquitectura del software de control.

Fabricación del armario de pruebas para los componentes electrónicos y el desarrollo del software.

### Desarrollo y resultados

Al igual que el sistema actualmente en funcionamiento, se ha procurado en el diseño que el control de los telescopios IAC-80 y TCS sea el mismo. Desde el punto de vista electrónico, ambos telescopios son muy similares, aunque tienen pequeñas diferencias debidas al hard-

ware existente. Desde el software, estas diferencias se gestionarán durante la configuración en el momento del arranque del sistema, de forma que una misma aplicación informática, al iniciarse, cargará la configuración apropiada para cada telescopio, manteniendo una apariencia idéntica para el usuario.

El proyecto, iniciado a mediados de 2019, se encuentra en pleno desarrollo. A principios de 2021 se revisó y aprobó el diseño de la arquitectura, al que se le hicieron algunos cambios, principalmente en la aplicación cliente, que pasó a tener en un diseño más tradicional desarrollado en Python, dejándose de lado el desarrollo de una aplicación web, principalmente debido a la falta de experiencia del departamento en este campo, a la complejidad de su mantenimiento posterior y a la ausencia de requerimientos de usuario que lo justificaran. Por otro lado, el núcleo de la arquitectura del software, basado en ROS y en el uso a bajo nivel de PLCs para el control del hardware, fue aprobado por los revisores, así como el resto de aspectos del diseño.

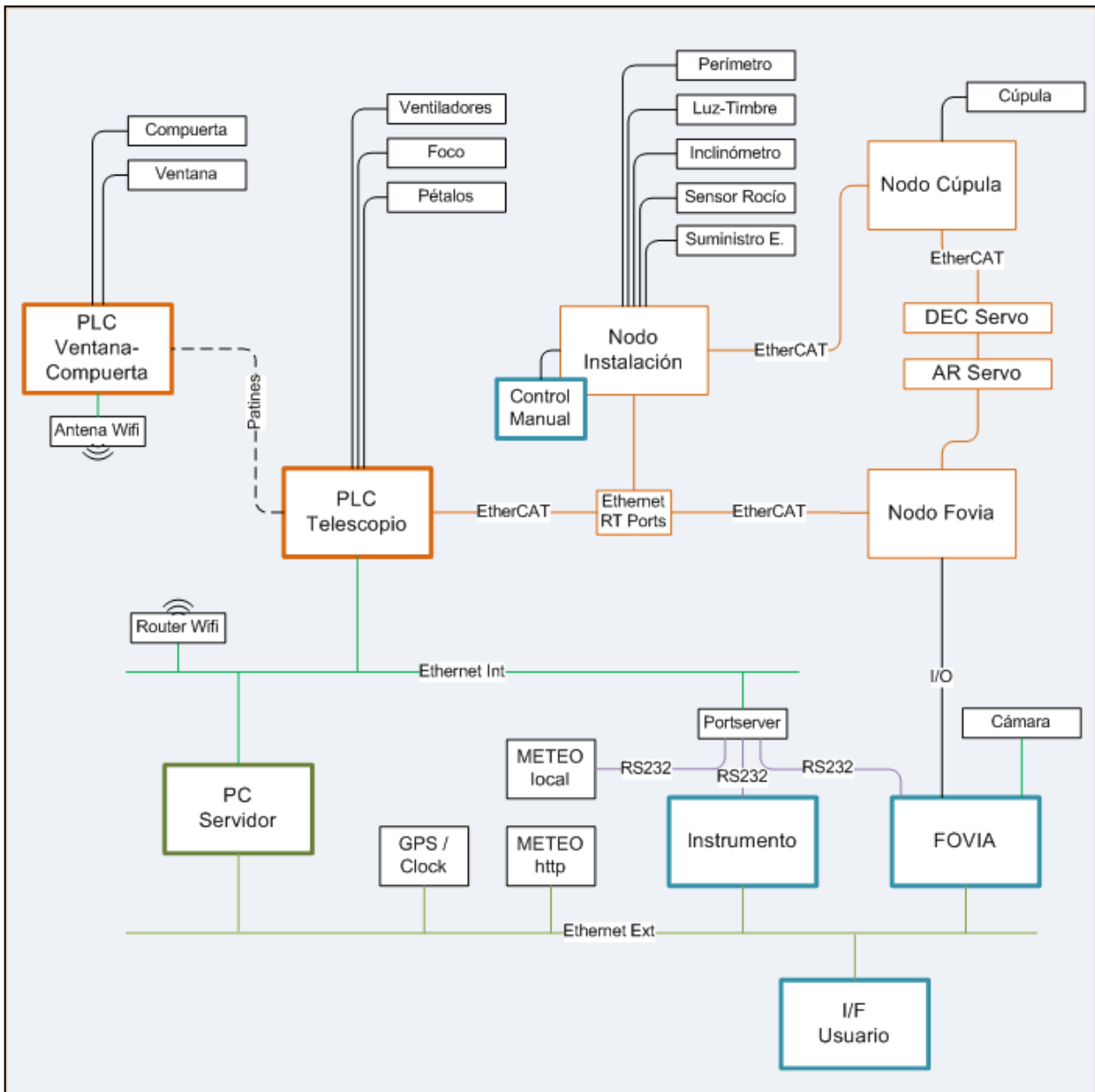
A principios de 2021 llegaron la mayor parte de los componentes electrónicos y los PCs servidores. Para familiarizarse con los componentes electrónicos y generar un esquema realista del despliegue de los componentes software, se decidió fabricar un armario de pruebas. En este armario, se han montado una selección de los diferentes elementos electrónicos que habrá que controlar en el telescopio en la instalación final y está permitiendo probar los módulos a medida que se van desarrollando.

Este año se ha promovido la contratación de un nuevo ingeniero de software para el proyecto que centre su trabajo principalmente en la aplicación cliente, dado que hemos visto que el esfuerzo estimado inicialmente para el desarrollo del software estaba subestimado. Diversas dificultades en el proceso de la con-



Armario de pruebas (derecha) y servidores (izquierda) en el Laboratorio de Electrónica.





**Esquema del hardware del nuevo sistema de control de los TTNN (no están reflejados los cambios recientes del control de la cúpula del Telescopio TCS).**

tratación han hecho que el nuevo ingeniero no pueda incorporarse a finales de año y lo haga a principios de 2022.

También hemos sufrido un cierto retraso en algunas tareas electrónicas debido principalmente a la falta de dedicación de los recursos electrónicos asignados, que han visto reducida su participación por las necesidades de otros proyectos.

A mitad de año, el equipo de Mantenimiento Instrumental realizó unas reparaciones de emergencia en la cúpula del TCS, principalmente mecánicas, pero que conllevaron el cambio del sistema de control de la misma, que incluye el control del movimiento de la cúpula, de la ventana y la compuerta. De este

modo el control de la cúpula del TCS difiere ahora del control del IAC80, y habrá que incorporar estos cambios en el diseño del nuevo sistema de control.

## CSOA (CENTRO DE SISTEMAS ÓPTICOS AVANZADOS) (E/401500/02)

José L. Rasilla Piñeiro.

Ana B. Fragoso López, Félix Gracia Temich, Carlos M. Gutiérrez De la Cruz, Maider Insausti Múgica y José A. López Aguerri.

### Introducción

Este Proyecto tiene como objetivo implantar un centro de producción de óptica avanzada partiendo del conocimiento en el diseño e integración de elementos ópticos destinados a la instrumentación astronómica. Este centro permitirá desarrollar componentes ópticos de vanguardia inicialmente enfocados para su uso en la instrumentación astrofísica y en el espacio pero con el propósito que pueda servir para otros campos de la investigación, el desarrollo. No se contempla su uso para grandes líneas productivas que puedan generar competencia con las industrias de fabricación óptica actualmente existentes en Europa o en el mundo.

La infraestructura de este centro permitiría la generación, corte, pulido y recubrimiento de óptica con un tamaño de hasta 500mm, dentro de un laboratorio llamado CSOA 0.5. Además, se contaría con una pulidora y un sistema de recubrimientos ópticos para producir óptica hasta de 1.6 m de diámetro, que formará parte del laboratorio CSOA 1.5.

### Desarrollo y resultados

#### CSOA 0.5

El objetivo de este centro es el desarrollo y fabricación de elementos ópticos con diámetro hasta 500 mm. Esto permitirá hacer frente a las necesidades de óptica de la instrumentación de telescopios en tierra y de carga útiles de satélites. Este laboratorio estará emplazado en la sede central del IAC en La Laguna.



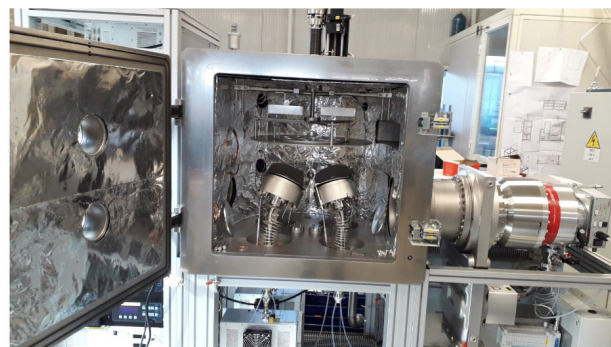
La infraestructura con la que se quiere dotar este centro es la siguiente:

- Generadora para fabricar óptica con diámetro hasta 0.5 m.
- Pulidora para fabricar óptica con diámetro hasta 0.5 m.
- Sierra cortadora para vidrio.
- Sistema de depósito de recubrimiento óptico hasta 0.5 m.
- Ion Beam Figuring. Sistema de ultrapulido de óptica con diámetro hasta 0.5 m.

Durante el año 2021 se ha recibido el sistema de recubrimientos ópticos que consiste en una cámara que permite realizar películas delgadas con técnicas basadas en un cañón de electrones y una cámara independiente que permite realizar películas delgadas con técnicas basadas en "sputtering" magnético.

Así mismo durante este año se publicaron las licitaciones para la generadora, pulidora y cortadora. Estas licitaciones han sido adjudicadas.

A parte de estas máquinas, han sido adquiridos un conjunto elementos auxiliares como son un tren de limpieza basado en ultrasonidos, dos interferómetros, un perfilómetro y un escáner 3 D que junto al material existente en el Laboratorio de Óptica permite generar una infraestructura de apoyo muy importante que permitirá realizar todo el proceso de manufactura y obtener un elemento óptico desde un material bruto salido de fábrica. Es decir, tener la posibilidad de generar cortar, redondear, pulir, recubrir y probar el elemento a producir. Este centro tendrá, también como objetivo, el desarrollo de técnicas novedosas de producción desarrollando procedimientos y prototipos que podrán ser implantados en el centro de óptica de gran tamaño. Finalmente, este centro permitirá formar a los ingenieros y técnicos que formarán parte de los centros de óptica del IAC.



Sistema de cañón de electrones y el sistema de sputtering.



**Sala limpia IACTec**

### CSOA 1.5

El objetivo de este centro es el desarrollo y fabricación de elementos ópticos de un diámetro hasta 1.500 m. Esto permitirá hacer frente a las necesidades de elementos ópticos para la instrumentación de grandes telescopios y de futuros telescopios en tierra.

Este centro estará, inicialmente, equipado por una pulidora y un sistema de recubrimientos ópticos. Todo el proceso de generación de la superficie y corte del material sería encargado al suministrador del sustrato.

Durante el año 2021 se ha realizado la licitación y contratación de la pulidora que se está fabricando en la empresa Optotech situada en Alemania. La entrega de esta máquina está prevista para finales del año 2022.

El sistema de recubrimientos ópticos se propone un sistema tipo "sputtering" con un tamaño para albergar elementos de al menos 1.5 metros de diámetro. Actualmente están generados todos los pliegos de licitación para la adquisición de dicha máquina que se espera contratar a mediados de 2022.

Tanto la pulidora como el sistema de recubrimientos ópticos estarán localizado en una de las salas limpias del edificio de IACTEC.

## H2020: OPTICON H2020- FABRICACIÓN ADITIVA (P/601701/01)

Juan Calvo Tovar.

H. Schnetler, C. Atkins, K. Morris, C. Miller (UKRI-STFC); R. Snell (UoF- Univ. de Sheffield, Reino Unido); E. Hugot (LAM); S. Farkas, M. György (Konkoly Obs., Hungría); B. van de Vorst, J. Dufils, L. Brouwers (TNO).

### Introducción

Los instrumentos astronómicos son cada vez más grandes y complejos. Requieren cientos de piezas ensambladas con precisión, de ahí la necesidad de utilizar las técnicas industriales más modernas de fabricación y ensamblaje, o buscar la fabricación directa de los sistemas para reducir la tarea de ensamblaje. La fabricación aditiva permite fabricar estructuras metálicas complejas. Además, las técnicas de fabricación mejorada por láser o haz de electrones pueden adaptarse para proporcionar componentes ópticos con varias funcionalidades integradas. Adicionalmente, las técnicas computacionales de diseño generativo (optimización topológica) y el empleo de retículas aligeradas (lattice) hacen posibles diseños revolucionarios anteriormente no obtenibles mediante técnicas de fabricación convencionales. El objetivo es combinar ambas técnicas y evaluar la fabricación de prototipos de dispositivos para aplicaciones en la Instrumentación Astronómica.

### Hitos

El hito principal del Proyecto es la realización de probetas de la estructura de los espejos refrigerados fabricadas en impresión 3D.

Planificación de ensayos estableciendo un borrador del procedimiento para los ensayos de las probetas.

Generación de documentación para la entrega final y cierre del Proyecto.

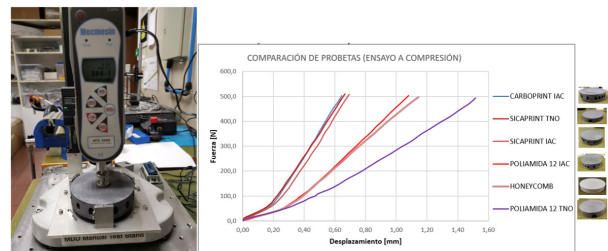
### Desarrollo y resultados

La actividad del IAC en el proyecto se engloba dentro del paquete de trabajo de Espejos Refrigerados. En periodos anteriores, las labores se centraron en: identificación de tecnologías, materiales, topologías y post-procesados más adecuados, optimización de parámetros de diseño de probetas, desarrollo del método del continuo equivalente (reducción de tiempos de cálculo y decisión de elementos que requieren un aligerado), así como recepción de

probetas de espejos aligerados y bosquejo del plan de pruebas.

En el presente periodo la actividad se ha centrado en la realización de ensayos de las probetas (carboprint, sicaprint y poliamida) para la caracterización de su comportamiento (mecánico, térmico, etc.), así como el modelado de dichos ensayos empleando métodos convencionales y el del continuo equivalente, a fin de comparar la fidelidad y validez de los resultados obtenidos. También se ha recibido una tanda de probetas metálicas (AISI10Mg) que presentan ciertos defectos sobre los que se está trabajando con idea de dejarlas operativas de cara a la realización del mismo tipo de ensayos y modelado.

Adicionalmente se ha tenido que reportar y documentar todo el trabajo de cara al cierre del proyecto H2020, contribuyendo en la elaboración de un "Cookbook" para el establecimiento de una praxis correcta en el diseño y fabricación de piezas que operarán en instrumentos astronómicos.



**Banco de pruebas para el ensayo de compresión (izquierda) y gráfica representativa de algunos de los resultados del mismo (derecha).**

## **CAMELOT2: MEJORAS EN EL SOFTWARE DE CONTROL DE LA CÁMARA (P/700111/04)**

Olga M. Zamora Sánchez.

### **Introducción**

El instrumento CAMELOT2 (CAmara MEjorada Ligera de Observatorio del Teide) sustituye desde 2019 al antiguo CAMELOT. Es una cámara de campo amplio de la serie 1100 Spectral Instruments con un detector CCD de E2V Technologies de 4096 x 4112 píxeles. Instalado en el Telescopio IAC-80, trabaja en el rango visible y es el instrumento de uso común de esta instalación. Este instrumento incorpora una rueda de filtros de 12 posiciones. El tamaño del píxel es de 15 micras, resultando en una escala en el cielo de 0,322 segundos de arco por píxel. Su campo teórico se ve reducido, por cuestiones de viñeteo con la rueda de filtros, a un campo útil de 11,8 x 11,8 minutos de arco.

El software de control e interfaz de usuario para la operación de CAMELOT2, la aplicación ccdcap, necesita de algunas mejoras, consistentes en la solución de problemas detectados, así como la incorporación de más prestaciones. Son estas mejoras al software lo que constituye en la actualidad el proyecto CAMELOT2.

El equipo del Proyecto está formado por un ingeniero de software, una gestora, un supervisor/revisor de software y un equipo de astrónomos (cuatro personas), incluyendo la investigadora principal, que asesoran astronómicamente y definen los requisitos científicos.

### **Hitos**

Contratación de un ingeniero de software.

Se ha finalizado el estudio de la aplicación actual de operación de la cámara.

Se ha instalado una versión que soluciona el problema de las cabeceras de las imágenes.

### **Desarrollo y resultados**

Aunque este proyecto de mejoras al software de control de CAMELOT2 arrancó a final de 2020, la partida del IAC del ingeniero de software en marzo de 2021 produjo un parón en el Proyecto hasta que se incorporó en agosto de 2021 un nuevo ingeniero de software.

Se ha familiarizado con el instrumento y su operación, tanto remotamente desde el IAC como en las instalaciones del Telescopio IAC-

80 y ha estudiado en profundidad el código fuente. Este conocimiento le ha permitido implementar una nueva versión que soluciona el problema de que algunas "keywords" de las cabeceras de las imágenes FITS no eran acordes a este estándar. También ha implementado una posible solución al error ocasional, pero fatal, de que imágenes adquiridas desde macro se pierden en un momento dado. Esta versión se encuentra actualmente en pruebas.



# INSTRUMENTACIÓN VISIBLE

## HORuS (HIGH OPTICAL RESOLUTION SPECTROGRAPH) (P/301139/02)

Ramón J. García López.

Colaboradores del IAC: Jonay González Hernández, Yeisson F. Martínez Osorio y Rafael Rebolo López.

### Introducción

HORuS es un espectrógrafo Echelle de alta resolución con dispersión cruzada para observar en el rango 380-800 nm con una resolución espectral de aproximadamente 25.000. Está instalado en el Telescopio GTC, en el foco Nasmyth-B. Aunque algunos de ellos han sido cambiados o modificados, usa componentes del espectrógrafo UES.



Espectrógrafo HORuS.

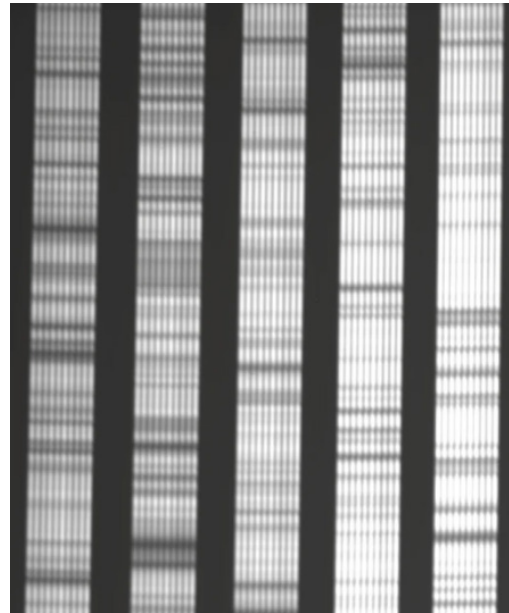
### Hitos

Reemplazo del compresor.

Limpieza del detector y pruebas en el IAC.

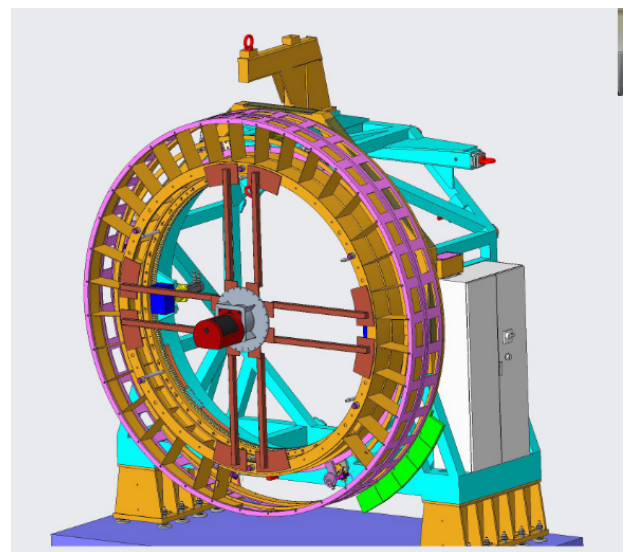
### Desarrollo y resultados

A finales de 2020 la cámara CCD falló, presentando problemas con el sistema de enfriamiento, un aumento notable de la corriente de oscuridad y una degradación de la cosmética. A lo largo de 2021 se reemplazó el compresor, y la cámara se trasladó al IAC para la limpieza del detector y pruebas. Tras mucho esfuerzo, a finales de año se llegó a la conclusión de que no se puede reparar, al menos con los recursos disponibles en el Instituto. Se ha indentificado financiación para la adquisición de una nueva cámara en 2022.



Espectro de luz solar obtenido con el Telescopio GTC y HORuS.

A lo largo del año también se modificó una montura existente para operar el instrumento FASTCAM en el foco Nasmyth de GTC, de modo que pueda albergar el brazo de adquisición de HORuS. El sistema se probó en la réplica del rotador Nasmyth de GTC en el IAC.



Montura para la utilización de HORuS en el foco Nasmyth B del Telescopio GTC.

Se diseñó y construyó un soporte para instalar el brazo de adquisición de HORuS en el banco óptico de GTC-AO, que está actualmente en

pruebas en el IAC, y se espera esté listo para ir a telescopio en la segunda mitad de 2022. También se inició la construcción de una réplica mejorada del brazo de adquisición.

En el semestre 2020b la demanda del instrumento al comité de asignación de tiempos de los observatorios de Canarias fue de casi un 20%, muy similar al nivel de demanda de EMIR y MEGARA. En los dos anteriores semestres la demanda fue de un 10%, muy similar a la de HIPERCAM y por delante de la de Canaricam, si bien el último semestre que se utilizó (2021A) la demanda bajó al 5%, como se refleja en esta presentación.

Las publicaciones resultantes hasta la fecha están listadas en este enlace, e incluyen 5 artículos científicos con árbitro, además de al menos otros tres que se encuentran en preparación.

## WEAVE (WHT Enhanced Area Velocity Explorer) (P/401200)

José A. López Aguerri.

Colaborador del IAC: Carlos Allende Prieto.

G. Dalton (Univ. de Oxford, Reino Unido), D.C. Abrams (ING); S. Trager (Kapteyn Inst., Países Bajos).

### Introducción

WEAVE (WHT Enhanced Area Velocity Explorer) es un nuevo espectrógrafo multiobjeto que se ubicará en el Telescopio WHT, del Observatorio del Roque de Los Muchachos, en la Isla de La Palma. Este instrumento va a ser crucial en el futuro del Telescopio WHT porque no sólo renovará la instrumentación existente sino que lo situará en lo más alto del conjunto de telescopios de la clase de 4 metros de diámetro que llevan a cabo inventarios de espectroscopia multiobjeto. El instrumento está siendo desarrollado por un consorcio en el que participan instituciones del Reino Unido, Países Bajos, Francia, Italia, México y España.

Este instrumento combina un gran campo de visión de 2 grados de diámetro con una gran capacidad espectral, capaz de proporcionar hasta 1.000 espectros de objetos astronómicos en una única exposición. Dispondrá además de unidades de campo integral (IFU) que serán útiles para realizar espectroscopia de campo integral de galaxias. El instrumento ofrecerá resolución de  $R=5.000$  entre 370 y 950 nanómetros de longitud de onda, y una alta resolución de  $R=20.000$  en dos rangos situados entre 410 - 460 nm y 600 - 678 nm. El espectrógrafo y las unidades de control se instalarán en el foco Nasmyth (Laboratorio GHRIL), mientras que el sistema posicionador de fibras se ubicará en el nuevo foco primario del telescopio (Ver figura 1).

La contribución del IAC al Proyecto WEAVE consiste en el suministro de los siguientes equipos:

- Estructura soporte y control de foco primario –FTS.
- Corrector de dispersión atmosférica –WCS.
- Lente 4 del corrector focal.
- Rotador de campo y cadena porta-cable – WRS.
- Retractores de fibras.
- Sistema de control del espectrógrafo.
- Sistema avanzado de procesamiento de datos científicos.

### Desarrollo y resultados

En 2020 el IAC entregó a WEAVE, tras realizar con éxito las pruebas de aceptación previstas, la totalidad de los subsistemas encomendados al IAC por la colaboración WEAVE. En la figura 1 se muestra el detalle de la lente 1 del nuevo corrector focal del Telescopio WHT. En la figura 2 se muestra el nuevo rotador y corrector focal montados en el foco principal del Telescopio WHT.

Estas nuevas infraestructuras dotarán al telescopio la capacidad de llevar a cabo cartografiados de gran campo como los que va a desarrollar el Proyecto WEAVE.



Figura 1. Lente 1 del Corrector Atmosférico montada sobre La Unidad de Corrección Atmosférica instalada en el Telescopio WHT.

A lo largo de 2021 se estuvo llevando a cabo la integración de las diferentes partes del instrumento WEAVE y su instalación en el Telescopio WHT. Está previsto que la primera luz y comienzo de la verificación y validación de WEAVE para la puesta en servicio se realice en la segunda mitad de 2022. Se estima que el inicio de las observaciones científicas sea en otoño de 2022.

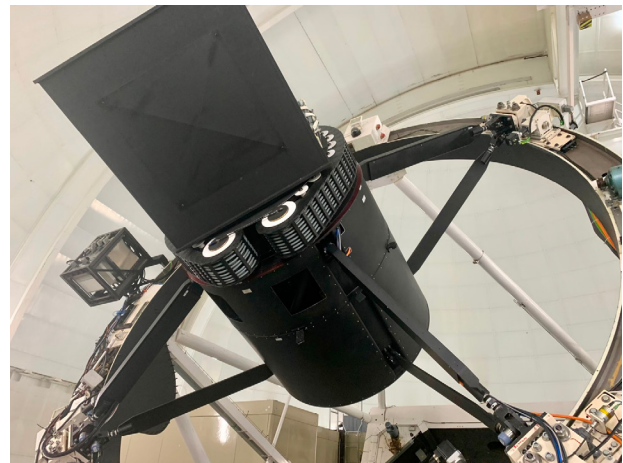


Figura 2. Detalle del nuevo rotador y corrector focal del Telescopio WHT.

## **HARPS3 (HIGH ACCURACY RADIAL VELOCITY PLANET SEARCHER 3) (P/701902/01)**

**Jonay I. González Hernández.**

**Colaboradores del IAC: Jonai Bienes Pérez y Yeray J. Peñate Castro.**

Universidades de Cambridge, Exeter, Oxford y Belfast (Reino Unido); Univ. de Leiden/NOVA (Países Bajos); Univ. de Ginebra (Suiza); Univ. de Uppsala (Suecia); The Simons Foundation y Princeton Univ.(EEUU); personal local perteneciente al ING (La Palma); personal INT (Reino Unido).

### **Introducción**

HARPS3 es un instrumento de nueva generación para el Telescopio INT que se encuentra en el Observatorio del Roque de Los Muchachos (ORM) en La Palma. El consejo del ING ("ING board") ha decidido que el espectrógrafo HARPS3 sea el instrumento principal en las operaciones científicas del Telescopio INT.

HARPS3 es un espectrógrafo ultra-estable diseñado para la búsqueda de exoplanetas de tipo Tierra alrededor de estrellas como el Sol mediante la técnica de velocidad radial.

Como sus predecesores HARPS y HARPS-N instalados en los telescopios 3.6m - ESO en el Observatorio de La Silla (Chile) y TNG en el ORM, HARPS3 operará a alta resolución ( $R \sim 115000$ ) y será alimentado dos fibras ópticas que proporcionarán medidas simultáneas de la fuente estelar y de la fuente de calibración espectral, permitiendo obtener medidas en velocidad radial (RV) muy precisas. El instrumento está compuesto principalmente de dos subsistemas:

- El cuerpo principal del espectrógrafo
- El adaptador de fibras Cassegrain.

El IAC es responsable de la preparación y acondicionamiento de la sala Coudé Este, así como del diseño y construcción de las salas de aislamiento térmico HTE1 y HTE2, sus correspondientes sistemas de control ambiental y de los sistemas de ventilación relacionados con la sala Coudé Este y la sala contigua (sala de rendija).

### **Hitos**

Se congeló el diseño de la sala Coudé, y se aprobó por parte del consorcio de la versión final del diseño de la sala.

Se realizaron trabajos de obra civil para cumplir con las recomendaciones incluidas en el informe de resistencia del forjado del suelo de la sala Coudé del Telescopio INT.

Se revisaron las especificaciones.

Se realizó la consulta de mercado (desierta).

Se superó la FDR.

### **Desarrollo y resultados**

Se recibieron los resultados del estudio de la resistencia del forjado del suelo de la sala Coudé: debido a la edad del edificio y al peso del instrumento, es necesario verificar que el suelo de la sala resiste el peso del instrumento sin riesgos. El estudio realizado por la empresa ATLANTE concluyó que el forjado podía soportar el peso del instrumento.

Se contrató el servicio de una empresa para realizar trabajos de obra civil y devolver a su estado inicial los elementos de la Sala Coudé que se alteraron para llevar a cabo el estudio de resistencia del forjado.

El ingeniero mecánico J. Bienes abandonó el Proyecto, en su lugar se reincorporó al mismo J. Peñate (de forma temporal).

Se modificó y congeló el diseño de la Sala Coudé, y se presentó para la FDR, la FDR se superó.

Se finalizó la documentación para la "Consulta de Mercado", se lanzó la consulta de mercado y no se obtuvieron resultados (la consulta quedó desierta).

Se lanzó la contratación de un ingeniero mecánico.



## MICAL (P/201602/01)

Manuel Collados Vera.

**Colaboradores del IAC: Francisco González Pérez, Roberto López López y Silvia Regalado Olivares.**

### Introducción

MICAL es el acrónimo de “Mejoras estratégicas en infraestructuras científico-tecnológicas y de apoyo logístico a los observatorios de Canarias”.

El Proyecto MICAL consta de diversas actuaciones, combinando las de carácter instrumental con otras de tipo logístico. El Área de Instrumentación del IAC está a cargo de las primeras, dentro del subproyecto MICAL/EST, que comprende dos subactuaciones con las cuales se pretende avanzar en aspectos importantes para garantizar que el rendimiento de EST está acorde con sus especificaciones científicas. Dos de los requisitos científicos de alto nivel más relevantes son:

- EST deberá ser capaz de observar la superficie del Sol al límite de resolución impuesto por su abertura (los 4 m de su espejo primario permitirán estudiar los fenómenos solares con una resolución de unas pocas decenas de km).
- EST deberá ser capaz de realizar observaciones espectropolarimétricas simultáneas en varias longitudes de onda.

Por ello, la primera subactuación (MICAL/AO) consiste en la construcción de un demostrador del sistema de Óptica Adaptativa de Telescopio EST, mientras que la segunda (MICAL/GRIS), se enfoca en el diseño e integración de un conjunto de mejoras en el espectrógrafo GRIS del Telescopio GREGOR para permitir observaciones espectropolarimétricas simultáneamente en varios rangos espectrales.

### Hitos

En el marco de este Proyecto ha sido posible contratar a tres ingenieros cuyos contratos finalizaron en mayo 2021.

El presupuesto destinado ha sido ya completamente utilizado y no ha sido necesario recurrir a ninguna fuente externa de financiación.

Se han adquiridos todos los equipos necesarios tanto para el demostrador del sistema de Óptica Adaptativa cuanto para las mejoras del espectrógrafo GRIS del Telescopio GREGOR.

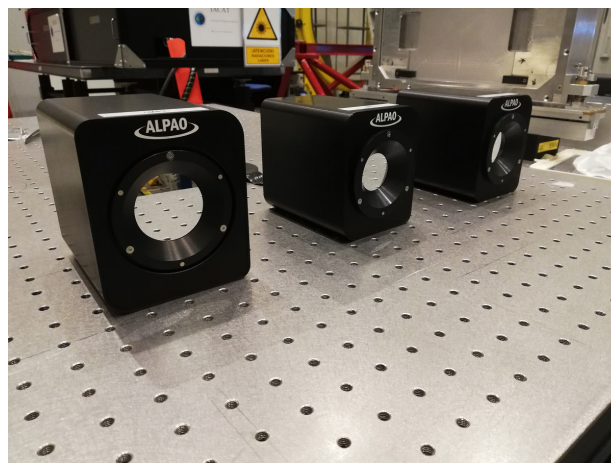
### Desarrollo y resultados

#### *Demostrador del sistema de óptica adaptativa de EST*

Se ha trabajado principalmente en los siguientes ámbitos:

- Cerrar la adquisición de los componentes clave del sistema.
- Cerrar el diseño detallado del banco y progresar en la definición de los procesos de integración y validación, usando los entregables como guía.
- Integrar los elementos ópticos en el banco óptico.
- Alinear los elementos ópticos.
- Desarrollar software de control de elementos físicos.
- Progresar en el desarrollo del lazo de control MCAO usando simuladores.
- Realizar pruebas con varios controles para Óptica Adaptativa.

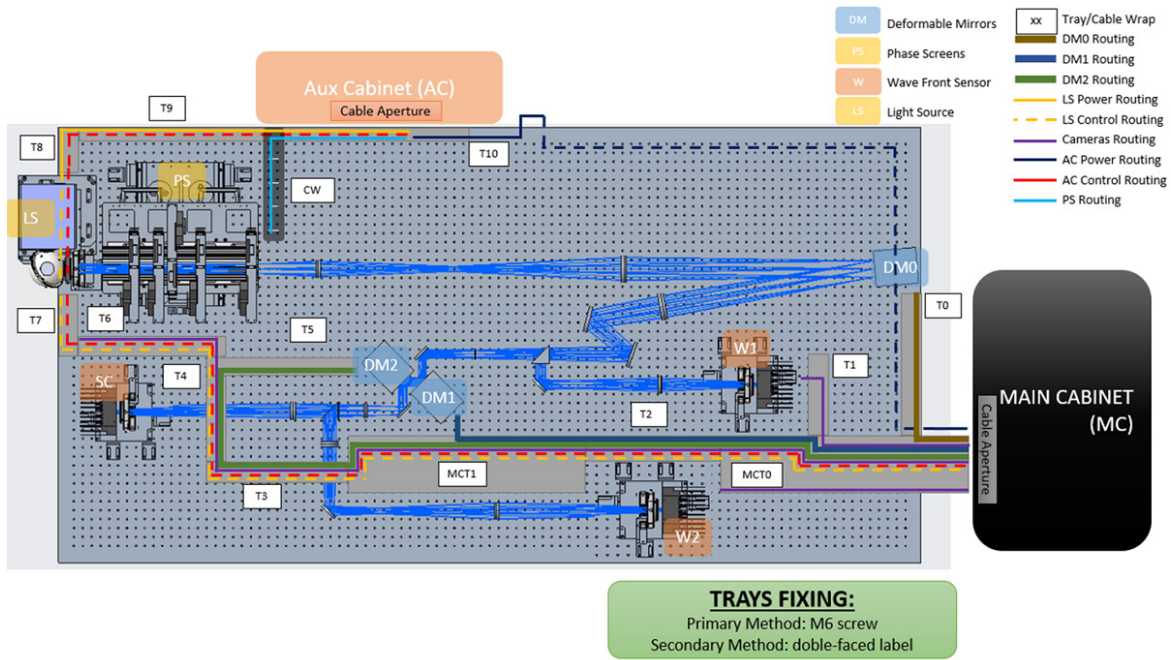
Se adquirieron tres espejos deformables a la empresa ALPAO. El primer espejo ya está instalado y se ha trabajado en la integración y programación de los elementos necesarios para la programación y prueba del primer lazo de control SCAO. Los tres espejos deformables han sido caracterizados en el laboratorio, emitiendo informes favorables sobre ellos.



**Espejos deformables DM0 DM1 y DM3 para el banco demostrador MCAO.**

Las cámaras adquiridas para Sensores de frente de onda (IOIndustries Flare 48MP) han sido caracterizadas. Los módulos software ya están programados e integrados en el software de control del banco. Además de las cámaras, otro componente clave de los sensores de frente de onda son las microlentes, elementos que deben ser diseñados específicamente para la aplicación. Se han diseñado los tres conjuntos de microlentes necesarios y se ha





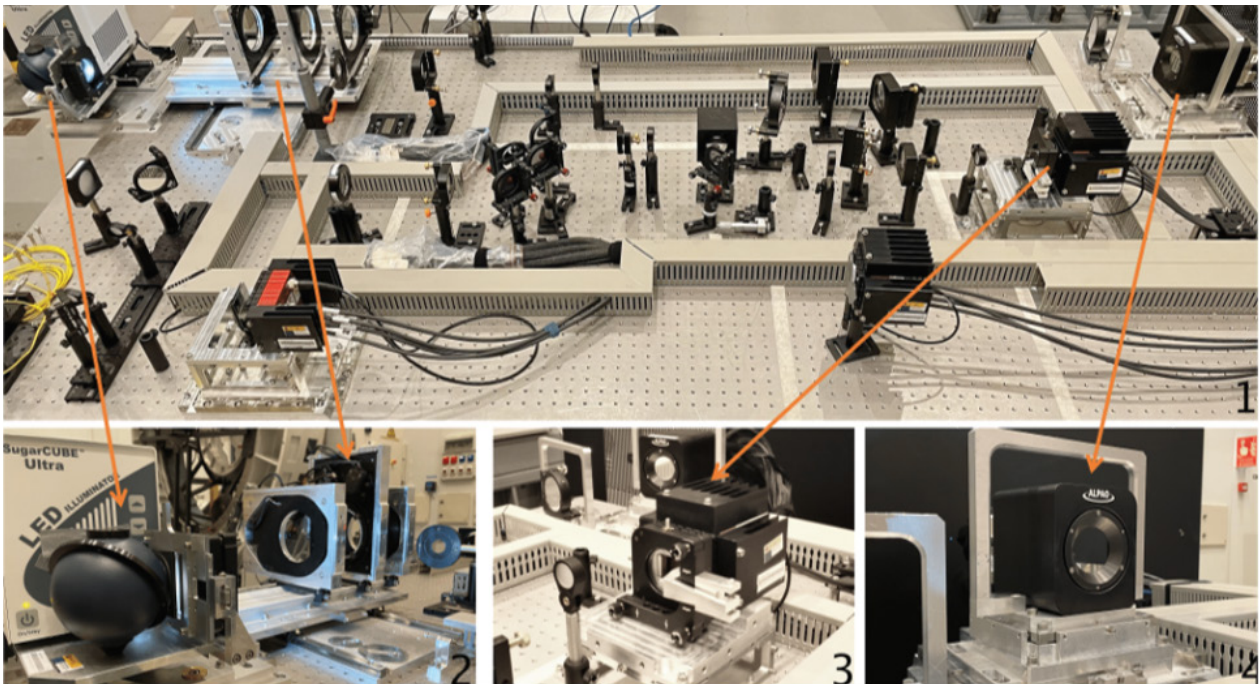
**Diseño banco demostrador configuración MCAO.**

adjudicado el suministro de las mismas a la empresa PowerPhotonic Limited. En enero de 2021 uno de los arrays de microlentes fue integrado, alineado y verificado en el sensor de frente de onda de alto orden. Este sensor ha sido posteriormente utilizado intensivamente en el banco.

Otros componentes del banco adquiridos han sido los elementos ópticos discretos (dobladores, lentes, monturas, accesorios de alineado, etc.), los soportes de las cámaras, de los espe-

jos, los armarios para los elementos de control, las fuentes de alimentación, y los cableados.

Se realizó la integración y validación de los espejos planos dobladores, los componentes electrónicos y de alimentación, así como los armarios que alojan tanto las conexiones eléctricas como las etapas de potencia y control electrónico de todos los mecanismos. Se reconfiguró la distribución de los elementos del banco en la sala, y se han realojado mesas ópticas, armarios y componentes debido a un



Banco MCAO montado en el laboratorio del IAC. Imagen superior (1), muestra el banco en su estado actual de montaje y las imágenes inferiores son ampliaciones de elementos del mismo conectados con flechas. De izquierda a derecha la fuente extensa y las pantallas de fase (2), los sensores de frente de onda (3), y un espejo deformable. (4).

problema en la Sala AIV (armado, integración, verificación) que podría comprometer la integridad de los equipos ópticos y electrónicos del banco.

La estrategia de verificación de la óptica multiconjugada (MCAO) para el Telescopio EST es poner en funcionamiento primero uno de los tres espejos adaptativos DM0, para obtener lo que se llama un SCAO (Single Conjugate Adaptive Optics) y seguir introduciendo los espejos y los elementos correspondientes hasta poder llegar a la configuración MCAO (Multi Conjugate Adaptive Optics) con los 3 espejos (DM0, DM1, DM2).

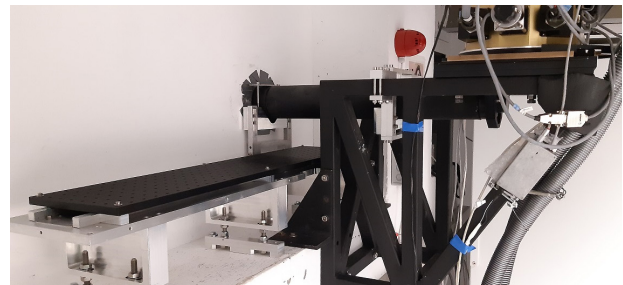
**Mejoras para el espectrógrafo GRIS del Telescopio GREGOR**

Las labores técnicas de esta actuación se han enmarcado en los siguientes ámbitos:

- Validación de la primera montura intercambiable de la red de difracción, diseño detallado y fabricación de la segunda montura intercambiable.
- Identificación de la segunda y tercera cámara del instrumento y validación de estas en el laboratorio tras completar la compra.
- Actualización de la electrónica de control y sincronismo entre las cámaras
- Preparación de un nuevo sistema de control del instrumento capaz de interactuar con las cámaras y con nuevos elementos ópticos que se han añadido.
- Selección y compra de filtros interferenciales para poder bloquear los órdenes de difracción no deseados
- Selección y compra de diversos elementos opto-mecánicos para la instalación de los nuevos brazos ópticos, como mesas ópticas, ruedas de filtros o lentes de re-imaginación.

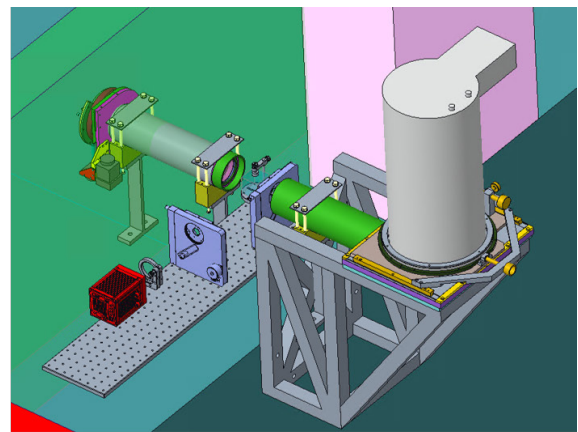
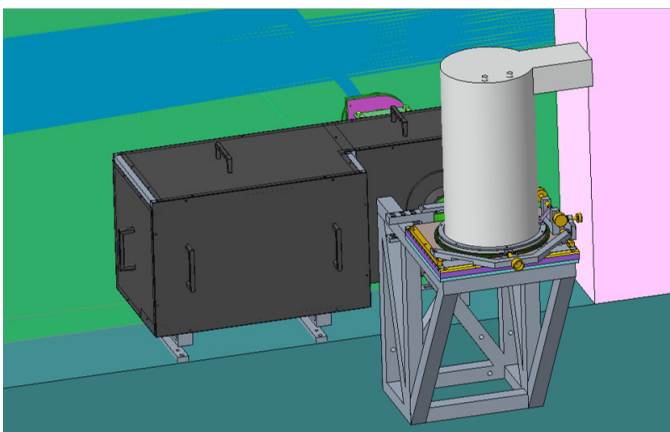
Todos los puntos anteriores han sido completados antes de septiembre de 2021, de forma que los componentes necesarios para actualizar el instrumento ya están disponibles. A principios de octubre de 2021 se empezó con una fase escalonada de cambios en los que se introducirá un nuevo ordenador de control y nueva electrónica comprobando que se mantienen las funciones actuales. Se continuará, posteriormente, con la nueva montura y red de difracción, el alineado y volver a comprobar que se puedan reproducir las observaciones actuales. Posteriormente, se comenzarán las labores necesarias para añadir los nuevos brazos ópticos, ej. instalar las nuevas cámaras, los elementos ópticos, alinear todo el sistema.

Una vez concluida la fase de instalación, se realizarán observaciones conjuntas usando



**Banco nueva cámara noviembre 2021.**

simultáneamente las cámaras nuevas y la antigua, comprobando que están correctamente sincronizadas y el instrumento alcanza su nuevo potencial teórico. Por último, habrá que actualizar el software de reducción de datos, incluyendo las nuevas cámaras en el código. Se estima que todas estas tareas estén completadas para tener todo el instrumento GRIS listo para la primera campaña de observación de 2022 que comenzará previsiblemente en marzo de 2022.



**3D localización mejora en GRIS: con carenado y sin carenado, donde se ve la cámara en su banco óptico.**



# INSTRUMENTACIÓN INFRARROJA

## FRIDA (INFRARED IMAGER AND DISSECTOR FOR ADAPTIVE OPTICS) (P/400728)

María A. Prieto Escudero.

A. López (Univ. de México), S. Eikenberry (Univ. de Florida, EEUU), N. Cardiel (UCM).

### Introducción

#### *Ciencia con FRIDA*

FRIDA (inFRared Imager and Dissector for the Adaptive optics system of the GTC) es un espectrógrafo de campo integral e imagen diseñado para trabajar al límite de difracción de GTC en el rango de 1 – 2,5  $\mu\text{m}$ .

El Proyecto de ciencia con FRIDA se enfoca en la identificación y preparación de programas de observación competitivos para FRIDA. FRIDA se prevé que llegue al telescopio GTC hacia finales de este decenio, excesivamente tarde comparado con todos los grandes telescopios del mundo que ya disfrutaban de instrumentos para Óptica Adaptativa desde más de 7 años, produciendo Ciencia frontera. Por tanto, con el fin de que la comunidad del telescopio GTC sea competitiva en el tiempo de FRIDA, es fundamental que se comience desde ya la identificación y preparación de programas científicos de innovación que exploten al máximo las posibilidades de FRIDA+GTCAO.

El objetivo de este Proyecto es iniciar dentro del IAC tales estudios. Para ello se pretende establecer una colaboración estrecha entre el equipo de FRIDA de IAC y la comunidad científica del telescopio GTC a fin de identificar programas y estrategias de observación claves para este instrumento.

Como punto de partida, se ha seleccionado el estudio a gran escala de la galaxia Andrómeda. Andrómeda es la galaxia espiral más cercana a la Tierra, lo que permite que sus diferentes componentes galácticas: núcleo, disco, bulbo, brazos y halo, puedan ser estudiadas bajo escalas espaciales sin precedencia. FRIDA podrá realizar un mapeado espectroscópico de regiones seleccionadas en Andrómeda

con resoluciones espaciales por debajo de 0,16 pc a 2  $\mu\text{m}$ .

Por su proximidad, la observación de Andrómeda con FRIDA involucra el estudio de un gran número de problemas astrofísicos: formación estelar, función inicial de masa en cúmulos globulares, dinámica galáctica, escenarios de formación de galaxias, etc., a escalas espaciales sólo conseguidas anteriormente en nuestra galaxia y las Nubes de Magallanes. En este Proyecto, se pretende analizar las posibilidades de realización y nivel de competitividad de estos estudios en Andrómeda sobre la base de las capacidades y limitaciones actuales de FRIDA y del sistema de Óptica Adaptativa del Telescopio GTC.

#### *Participación tecnológica en FRIDA*

Una de las principales responsabilidades del IAC ha sido la definición e implementación de la ingeniería del sistema de FRIDA. Esta fase fue liderada y concluida por el ingeniero del IAC, J. Fuentes, en 2009. El IAC está además involucrado tecnológicamente en el Desarrollo del Sistema de Control de FRIDA y software de alto nivel. El sistema de adquisición de datos, la electrónica de control del detector y la caracterización de éste, así como el software de alto nivel para el control de mecanismos, son responsabilidades directas del IAC. Asimismo, el IAC es responsable de la definición del pipeline, lo cual está ya concluido, documentado y aprobado en las distintas revisiones del proyecto y por GTC. Dada la inactividad de UCM – responsable de desarrollar el software de la pipeline - sobre la base de los documentos aportados por el IAC describiendo las tareas a realizar, el IAC está realizando primeros desarrollos de software del pipeline para el modo de imagen de FRIDA. Esto es necesario para testar el software de alto nivel que también desarrollamos en el IAC.

El IAC es igualmente responsable de las herramientas de observación con FRIDA, entre ellas el ETC, el cual está concluido. El IAC coordina todas estas actividades con las instituciones implicadas en estas tareas: UCM en Madrid y UNAM en México. Estas tareas comprenden desde diseño, fabricación y adquisición de

componentes, hasta las fases de pruebas e instalación definitiva en telescopio.

El IAC ha además producido toda la documentación, mediciones y justificaciones requeridas para la solicitud de fondos, 0.5 M€, destinados a la adquisición de un nuevo detector, H2RG, para FRIDA.

### Hitos

Cierre de la definición de módulos a ubicar en el armario de control de FRIDA relativos al detector H2RG.

Cierre de los detalles de las interfases mecánicas y cableado del nuevo detector y la Unidad de Enfoque y criostato de FRIDA.

Recepción del nuevo detector Hawaii-2RG de FRIDA en el IAC.

### Desarrollo y resultados

#### Estado general del Proyecto FRIDA

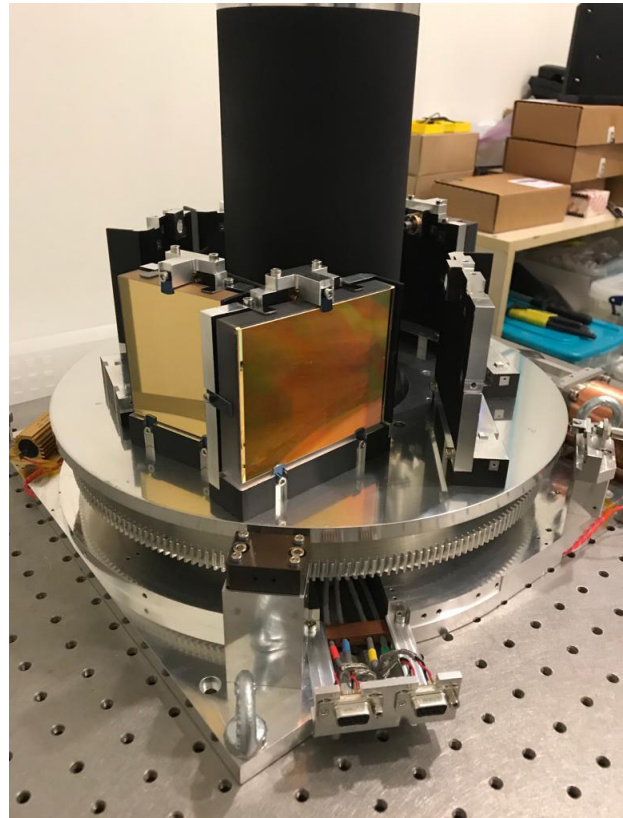
Hasta bien avanzado 2021 no se pudieron reactivar las tareas de fabricación e integración en la empresa colaboradora con la UNAM en México, CIDESI, desde entonces se ha completado la fabricación del criostato, el banco óptico y las pantallas interiores, de manera que se han podido realizar ya las primeras pruebas de vacío del sistema.

También se han ido realizando verificaciones y el alineado óptico de los diferentes mecanismos.

El Proyecto FRIDA, a nivel global, comienza la fase final de integración y pruebas a nivel de sistema. Se siguen manteniendo las previsiones de que el instrumento complete dicha etapa de integración y pruebas durante 2022 e inicio de 2023, esperando tener la aceptación en fábrica y traslado al Telescopio GTC a finales de 2023.



**Criostato (incluido el banco óptico y las pantallas de radiación) de FRIDA listo para las pruebas de vacío en CIDESI.**



**Carrusel de rendijas durante las tareas de alineado en UNAM.**

#### Gestión

El simulador de Óptica Adaptiva (AO) de FRIDA sigue pendiente de realizarse, en función de los desarrollos de GTCAO.

Adquisición de nuevos detectores H2RG: Durante 2021 se han recibido los detectores de EMIR y de FRIDA, junto con un detector de ingeniería, el multiplexor y tarjetas anexas a los detectores, ASIC. Se han comenzado las pruebas de verificación del sistema en el Laboratorio LISA. También se tomó la decisión, de manera definitiva, del uso de la tarjeta exterior MACIE. Ya se han adquirido dichas tarjetas tanto para EMIR como para FRIDA (esta última aún pendiente de recibirse). Fruto de todo ello, se han realizado las primeras pruebas en caliente del sistema completo, MUX, SIDECAR, cable flexible y la tarjeta MACIE (exterior al criostato) de EMIR, de manera satisfactoria.

Tuvieron lugar varias reuniones con el equipo de FRIDA y de la Univ. de Florida, para concretar los detalles de interfases entre el sistema del detector y la unidad de enfoque de FRIDA, y del cableado correspondiente.

Siguen los desarrollos de la Cámara Infrarroja de backup en el IAC, estando en curso la fabricación del criostato y sistema de enfriado y habiéndose lanzado la compra y recibido casi todos los componentes ópticos.



Aún no se ha podido completar el proceso de contratación del nuevo ingeniero de software con los fondos del Gobierno de Canarias y Severo Ochoa. Está previsto que el nuevo ingeniero se incorpore en marzo de 2022.

### *Sistema de Control*

Se ha continuado con las tareas del House-keeping: estudio de las protecciones y alertas necesarias, determinación de prioridades y definición de acciones posibles a tomar. Se ha continuado con el diseño de la arquitectura del software y hardware en los PLC's.

Se completó y acordó UNAM la definición de los módulos de control relativos al detector necesarios en el armario de control de FRIDA. Finalmente, no habrá necesidad de un armario auxiliar para ello, ubicándose todo dentro del armario de control general. Se ha continuado con las tareas de montaje del armario de la electrónica de FRIDA.

Puesta a punto del nuevo entorno de desarrollo del GCS basado en "docker", adoptado recientemente por GTC.

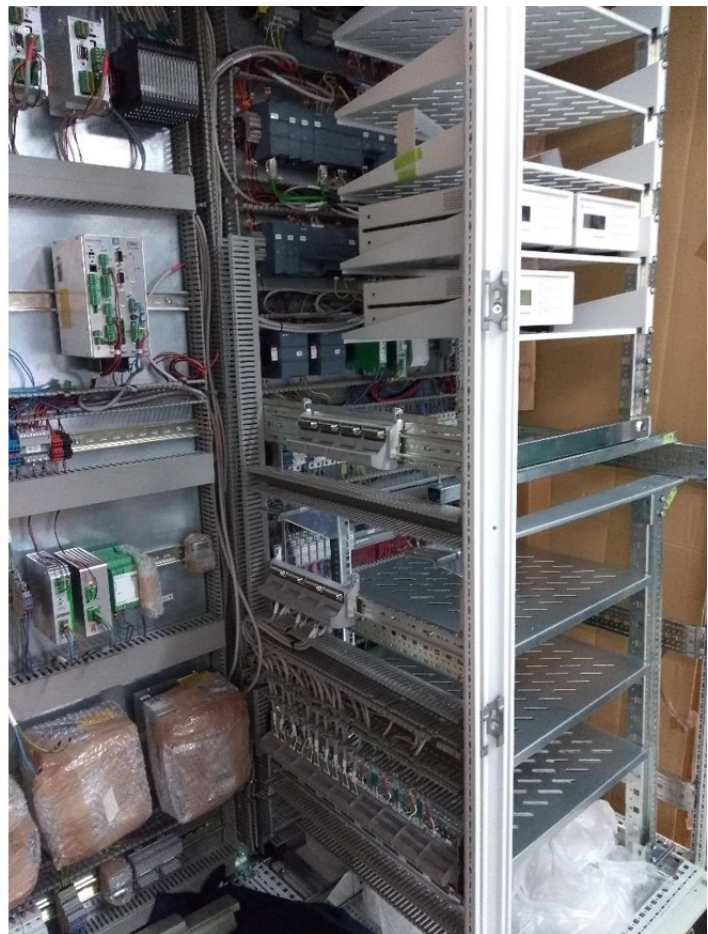
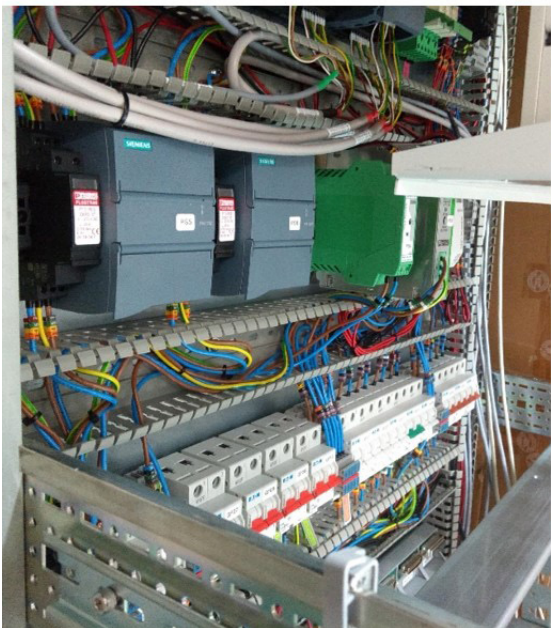
Puesta a punto del software para el entorno de pruebas en el laboratorio LISA para usar la tarjeta MACIE.

Se ha seguido trabajando en el software de test para trabajar con el controlador ASIC SI-DECAR instalando una nueva versión del API de la tarjeta MACIE (versión 5.1) y haciendo un cambio a una nueva máquina con CentOS (osmosis) por avería del equipo anterior.

Se ha empezado a trabajar en el software de bajo nivel del DAS para desarrollarlo con el nuevo sistema de adquisición que usa la tarjeta MACIE. La idea es poder aprovechar todo lo posible de EMIR, esto es, la gestión de memoria para almacenar las imágenes y copiar el modelo de procesos que permita acciones como el "abort" de una adquisición de imágenes ya iniciada.

Se ha continuado el desarrollo del paquete del Mimic, manteniendo varios talleres impartidos por GTC para explicar cómo tendrían que implementarse.

El desarrollo del componente Sequencer sigue pendiente de la incorporación del nuevo recurso de software al Proyecto.



Montaje del armario de control de FRIDA en la UNAM.



## MIRADAS (Mid-resolution InFRAreD Astronomical Spectrograph) (P/301025)

Francisco Garzón López.

A. Russo (GRANTECAN S.A.); S. Eikenberry, C. Warner, F. Varosi, G. Bennet, N. Raines (Univ. de Florida, EEUU); J.M. Gómez (Univ. de Barcelona). Forman el Consorcio MIRADAS: Univ. de Florida, Univ. de Barcelona, Univ. Complutense de Madrid, IAC, IFAE, IEEC. Además, hay investigadores individuales de la UNAM (México).

### Introducción

El espectrógrafo infrarrojo de resolución intermedia, MIRADAS, operará en el rango infrarrojo de 1 a 2,5 micras con una resolución espectral de 20.000. En el año 2010 fue seleccionado para ser el espectrógrafo infrarrojo de la nueva generación de instrumentos para el Gran Telescopio CANARIAS (GTC).

MIRADAS es un espectrógrafo multi-objeto con capacidad para observar hasta 20 objetos gracias a 20 brazos articulados provistos de un espejo, a modo de sonda, que patrullan un sector dentro de un círculo de 5 minutos de arco en el plano focal del Telescopio GTC.

Sus principales características se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro	Valor	Comentario
Campo de observación	5 minutos de arco de diámetro	12 brazos. Cada brazo barre un sector del campo
Campo de visión de cada brazo	3,7 x 1,2 arcseg	
Geometría de cada rendija	3 cortes de 3,7x0,4 arcseg	
Detector	4096 x 2048 píxeles	Mosaico de dos detectores HAWAII-2RG 2Kx2K
Espectropolarimetría	Lineal, circular	Modo dispersión cruzada para un solo objeto
Sensibilidad en el continuo	J=18,9 mag H=17,4 mag K=16,7 mag	Para una S/N=10 en 1 h de exposición
Sensibilidad para líneas de emisión	5x10 <sup>-18</sup> ergs/cm <sup>2</sup> /s (puntual) 8x10 <sup>-18</sup> ergs/cm <sup>2</sup> /s (resuelta)	Para una S/N=10 en 1 h de exposición. Se supone un segundo de arco cuadrado como celda de detección para la fuente resuelta

### Especificaciones principales de MIRADAS

Además de en los aspectos científicos, la contribución del IAC se centra en el desarrollo del sistema de control del instrumento y en la

coordinación de la participación de las otras instituciones que desarrollan diversos apartados del sistema de control del instrumento.

El sistema de control de MIRADAS sigue los estándares de GTC y se basa en una arquitectura distribuida, siguiendo el modelo de componentes del telescopio GTC, se está desarrollando en C++, y se ejecuta en diferentes ordenadores usando el middleware CORBA.

El sistema de control está compuesto por el control de mecanismos, la adquisición de datos, el control de alto nivel, la reducción de datos, el calculador de tiempo de exposición y el agente de pre procesado. En su desarrollo se intenta aprovechar la experiencia previa y los componentes ya existentes en los sistemas de control de otros instrumentos para el Telescopio GTC como EMIR.

### Hitos

Definición de métodos para la corrección de posicionado de los brazos robóticos.

Comienzo de la fase de integración y verificación, habiendo realizado dos ciclados completos del instrumento.

### Desarrollo y resultados

Durante 2021 se han afinado diversos componentes del sistema de control y se ha cerrado un conjunto completo de interfase con componentes de control de movimiento de los brazos robóticos, MXS, tanto a nivel de motores como de planificador de tareas.

Se han definido métodos para el control de apuntado y corrección posterior del posicionado de los brazos y se han construido secuencias de configuración global del control de alto nivel del instrumento.

Finalmente, MIRADAS ha comenzado durante el verano de 2021 la fase de integración y verificación en la que el equipo del IAC ha participado con intensidad. Hay que comentar que esta participación ha sido particularmente complicada por las dificultades de acceso remoto a los ordenadores del instrumento en la Univ. de Florida debido a las restricciones administrativas asociadas a la renovación de la licencia de exportación del detector.

# HARMONI (HIGH ANGULAR RESOLUTION MONOLITHIC OPTICAL AND NEAR-INFRARED INTEGRAL FIELD SPECTROGRAPH) (P/400832)

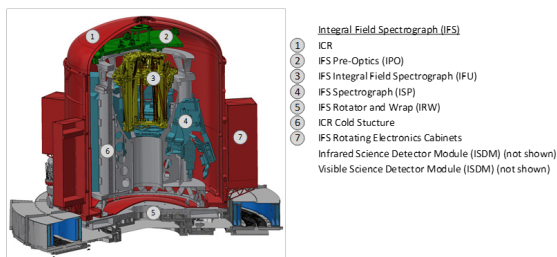
María B. García Lorenzo.

Colaboradores del IAC: José A. Acosta Pulido, Giuseppina Battaglia, Julio A. Castro Almazán, Antonio Eff-Darwich Peña, Jesús Falcón Barroso, Félix Gracia Temich, Artemio Herrero Davó, Roberto López López, José L. Rasilla Piñeiro y Rafael Rebolo López.

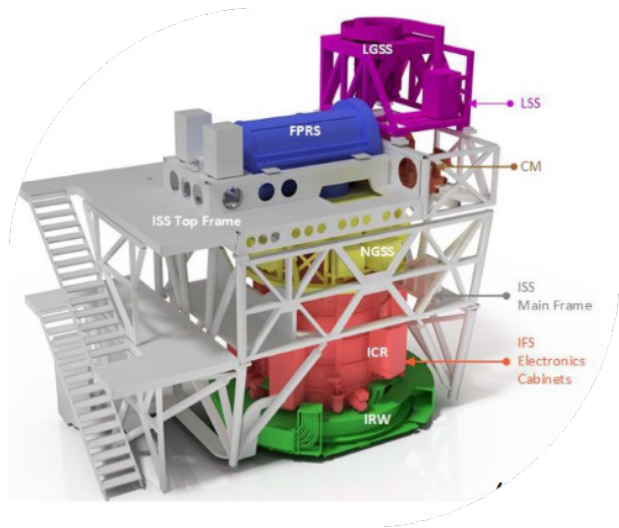
N. Thatte (Univ. de Oxford, Reino Unido); B. Neichel (LAM, Francia); Consorcio HARMONI.

## Introducción

HARMONI es uno de los dos instrumentos de Primera Luz del Telescopio Europeo Extremadamente Grande (ELT). Su diseño y construcción es responsabilidad de un consorcio internacional liderado por la Universidad de Oxford y del que también forman parte el UKATC-Edimburgo, el CRAL-Lyon, el LAM-Marsella, CSIC-CAB-Madrid y el IAC-Tenerife y la Universidad de Michigan. La participación en HARMONI garantiza tiempo de observación en el ELT en las primeras etapas de su uso, una oportunidad científica única para los investigadores españoles. La contribución del IAC en HARMONI puede separarse en tres grandes bloques: (1) el desarrollo (diseño, fabricación y verificación) del subsistema que constituye la pre-óptica del instrumento (WP 23), (2) coordinación en la arquitectura y desarrollo de la electrónica de control de todo el instrumento (WP 28), (3) participación en la definición y desarrollo de los casos científicos para el aprovechamiento de HARMONI.



Sección detallada del Espectrógrafo de Campo Integral del que forman parte los subsistemas de la Pre-óptica (WP 23) y la electrónica de control de todo el instrumento (WP 28) (Crédito: Consorcio HARMONI).



Recreación del Instrumento tal y como se integrará en el foco Naysmith del Telescopio ELT (Crédito: Consorcio HARMONI).

HARMONI es un espectrógrafo de campo integral de alta resolución angular y operativo en el óptico-infrarrojo cercano (0.45-2.45 micras). Está preparado para funcionar con el sistema de Óptica Adaptativa de plano conjugado simple (SCAO) y con el sistema de Óptica Adaptativa por Tomografía Láser (LTAO). También puede operar sin corrección (limitado por seeing). HARMONI tiene una gran versatilidad para optimizar diferentes tipos de observaciones en función de la resolución angular, de la sensibilidad, del campo de visión, etc. Por tanto, es considerado un instrumento “workhorse”, es decir, de interés para un amplio rango de programas científicos (Thatte et al. 2016, SPIE, Vol. 9908).

## Hitos

Revisión Crítica de Diseño del subsistema IPO [29/05].

Recepción del Criostato de Pruebas de la Pre-Óptica en el IAC [06/05].

## Desarrollo y resultados

En abril de 2021, el WP28 (instrument pre-optics, IPO) ha superado con éxito la Revisión Crítica de Diseño (CDR) a nivel de subsistema. El CDR final del instrumento completo se ha retrasado hasta mediados de 2022 por necesidades del consorcio. Por lo que respecta a la participación del IAC, el diseño optomecánico de la IPO está completo y el equipo está preparando la fase Manufactura, Ensamblaje, Integración y Pruebas (Fase MAIT) y completando la documentación necesaria para la revisión del diseño final (Final Design Review, FDR).

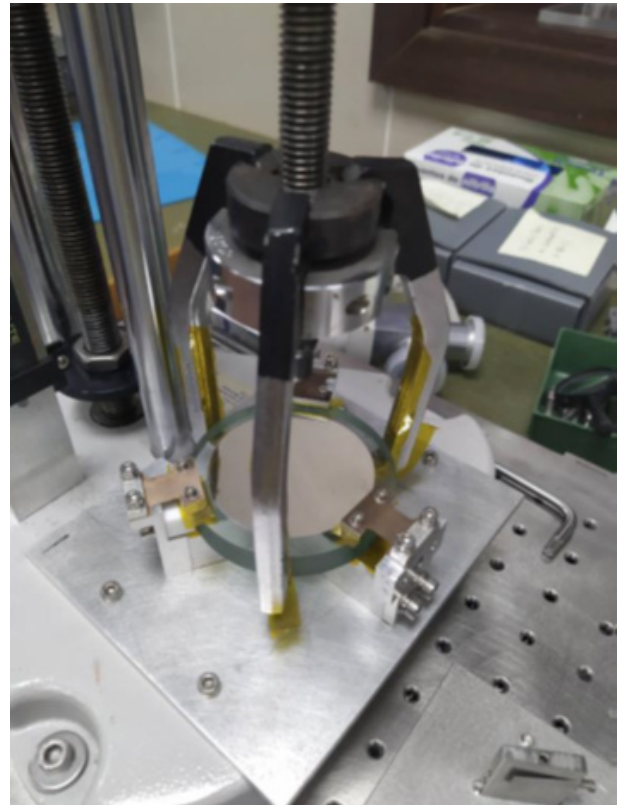
Como acción necesaria para poder cerrar el diseño la FDR del instrumento, se está desarrollando un banco de pruebas para justificar la fabricabilidad de elementos críticos de la IPO, como son las parejas de toroides que permiten el cambio de escala espacial. En concreto, se ha comenzado por desarrollar el prototipo de la escala anamórfica 20"x20", su integración y correcto alineamiento. En noviembre 2021, se llegó a un acuerdo con la empresa OptoSigma para obtener una oferta por espejos toroidales que cubre los requerimientos esenciales del proyecto. Sin embargo, los tiempos de fabricación obligan a contratar los toroides de las tres escalas anamórficas al mismo tiempo para poder cumplir con el calendario en la fase de Integración. Está previsto lanzar la compra a principios de 2022.

El desarrollo de los prototipos de mecanismos para la IPO (ver figura debajo) ha seguido su curso después del CDR y seguimos trabajando para mejorar las prestaciones.

Se ha avanzado en el diseño y análisis del banco óptico del IPO, realizándose el análisis térmico con nuevas patas de aluminio. Se ha realizado el análisis detallado de la luz difusa y dispersa en el camino óptico de la IPO y para identificar las posiciones en las que se debe tratar de mitigar, y poder diseñar elementos de mitigación correspondientes.

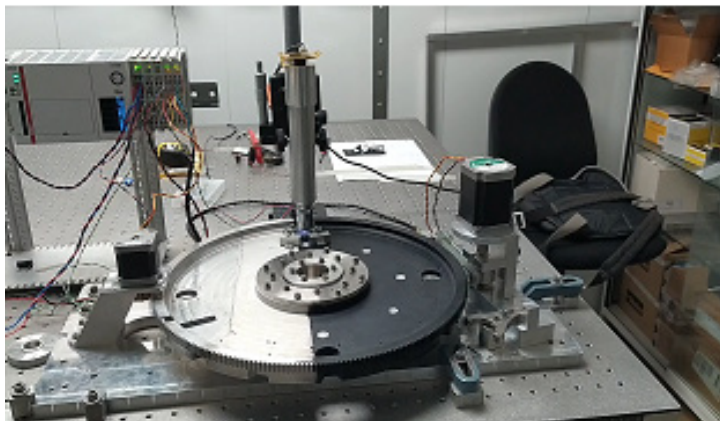
El prototipo de la rueda de máscaras del plano focal (Focal Plane Mask wheel, FPMW) ha permitido la evolución del diseño con un mecanismo de detención que cumple los requerimientos de repetitibilidad. Además, se ha completado el Sistema de control según el estándar del Consorcio: OPC UA protocol + ESO Framework + Beckhoff PLCs y módulos.

Se han realizado prototipos de las monturas para refinar el diseño de las monturas opto-mecánicas a integrar en la IPO.



*Pruebas de esfuerzo con un prototipo de montura óptomecánica*

Se ha avanzado en la automatización del sistema de control del gran criostato de pruebas (POTEC) en el que se prevé realizar las prue-



**Izquierda: Evolución del FPWM con el mecanismo de detención activa. Derecha: Resultados de la repetitibilidad del posicionamiento.**

bas de verificación de la IPO en criogenia y en la fabricación/compra de los útiles necesarios para la integración de la IPO en su interior.

#### *Evolución del Criostato de Pruebas*

En cuanto al WP23 (Instrument Control Electronics, ICE), el diseño del control de la IPO se ha completado de acuerdo con las pautas existentes, y superando con éxito a la CDR. Este diseño se utilizará como referencia para desarrollar el diseño electrónico del resto de los subsistemas que conforman HARMONI.

Se ha continuado con el diseño de los armarios electrónicos. Se están introduciendo algunas adaptaciones para instalar aisladores antivibratorios. El prototipo de gabinete existente todavía se usa como banco de pruebas para completar un ejemplo del control interno del gabinete.

El sistema de control del rotador de instrumentos (IRW) se ha diseñado y también se ha revisado en el CDR de este subsistema

El sistema del control de LGSS y CARS ha progresado en coordinación con los diseños mecánicos de estos subsistemas.

Se ha continuado con la implantación del software EPLAN para el diseño eléctrico/electrónico. Se ha realizado un primer paso de consultoría con el equipo del representante español y se está realizando la propuesta de las siguientes fases. Se trata de la subcontratación de la implantación del diseño de la electrónica de IPO, la supervisión del diseño de la electrónica de IRW y el curso específico a impartir a los usuarios clave del IAC.

Se ha llevado a cabo un análisis de compensación para comparar las tres opciones existentes para el control de etapas PI: controladores COTS, módulos adaptados de Beckhoff, controladores ACS.



## **NIRPS (NEAR INFRARED PLANET SEARCHER) (P/601602/03/02)**

Jonay I. González Hernández.

**Colaboradores del IAC: Félix Gracia Temich y Fabio Tenegi Sanginés.**

Consortio: Univ. de Montreal (Canadá), Univ. de Ginebra (Suiza), Inst. de Ciencias de Astrofísica e Ciências do Espaço (Portugal), Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC); Univ. de Grenoble (Francia), Univ. Federal do Rio Grande do Norte (Brasil).

### **Introducción**

NIRPS (Near Infra Red Planet Searcher) es un espectrógrafo de nueva generación que usa Óptica Adaptiva y es alimentado por un haz de fibras.

Es un espectrógrafo criogénico compacto Echelle capaz de operar individualmente o en combinación con HARPS en los telescopios 3.6m-ESO (European South Observatory) en el Observatorio de La Silla (Chile).

Dependiendo del modo de observación, tendrá una resolución espectral de 100000 ó 75000.

El IAC participa diseñando y suministrando el haz de fibras (Fiber Link) que conecta el foco del telescopio con el espectrógrafo.

Se suministra totalmente operativo (fibras, lentes y opto-mecánica integrados, alineados y verificados).

### **Hitos**

Se viajó a Canadá para la reparación y mejora del Fibre Link.

Se viajó a Chile para la integración del Fibre Link con el Front End.

Se colaboró en las pruebas de aceptación del Fibre Link.

### **Desarrollo y resultados**

Se viajó a Canadá para realizar reparaciones en las micro-lentes de "Fibre Link"; el montaje de estas micro-lentes sufrió daños durante el transporte. La reparación se realizó con éxito y permitió incluir mejoras en la eficiencia global del Haz de Fibras.

Posteriormente se viajó a Chile para colaborar en la integración del "Fibre Link" con el "Front End" del instrumento. La integración se finalizó de forma exitosa.

Se prevé colaborar en la integración del "Fibre Link" con el "Back End" (espectrógrafo).



## GTCAO LGS (Sistema de Óptica Adaptativa y Estrella Guía Láser para el Gran Telescopio Canarias) (P/401400)

Víctor J. Sánchez Bejar.

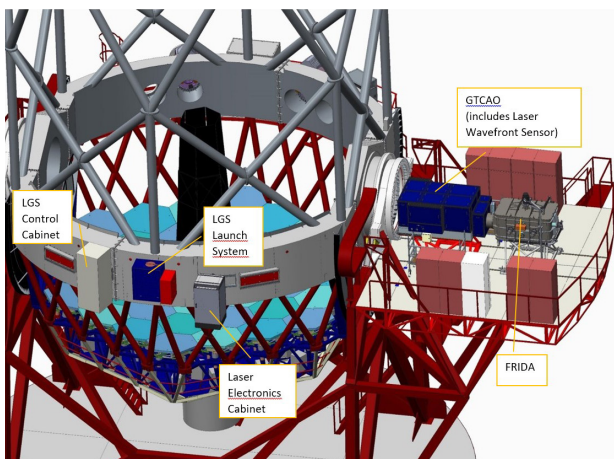
Colaboradores del IAC: J. Acosta Pulido, A. Prieto Escudero y L.F. Rodríguez Ramos.

D. Bonaccini (ESO); J. Castro (GRANTECAN S.A.); M. Rosa Zapatero Osorio (CAB); A. Watson (UNAM).

### Introducción

El objetivo del Proyecto es dotar al Gran Telescopio CANARIAS (GTC) de un Sistema de Óptica Adaptativa (AO) y una estrella guía láser (LGS), para corregir el efecto de la turbulencia atmosférica sobre la luz que proviene del espacio, y entregar un frente de onda plano al instrumento científico colocado a su salida. GTCAO es una infraestructura necesaria para explotar la capacidad de alta resolución espacial del Telescopio GTC, permitiendo el desarrollo de la instrumentación científica y la investigación en este campo. El sistema de Estrella Guía Láser (Laser Guide Star - LGS) sirve para ampliar la cobertura del cielo del sistema de GTCAO, proporcionando en cualquier dirección de apuntado de GTC una estrella brillante de referencia para medir el efecto de la turbulencia atmosférica.

El sistema GTCAO fue desarrollado inicialmente por GRANTECAN S.A., se empezó a desarrollar de manera efectiva en el IAC en 2015. Se trata fundamentalmente de un sistema de Óptica Adaptativa con un único espejo deformable conjugado a la pupila, que se encarga de corregir las deformaciones del frente de onda, y un sensor de frente de onda tipo Shack-Hartmann que se encarga de la medida de las



Vistas de GTCAO, LGS y FRIDA en el Telescopio GTC.

aberraciones introducidas por la turbulencia atmosférica. El instrumento científico que va a hacer uso de GTCAO es FRIDA, una cámara y espectrógrafo en el infrarrojo cercano, que se encuentra comenzando la fase de integración a nivel de sistema. Precisamente, para poder hacer uso de GTCAO mientras se completa el desarrollo del instrumento FRIDA, en el IAC se está desarrollando una cámara infrarroja con funcionalidades básicas (GRANCAIN) que hará uso del sistema de óptica adaptativa hasta la llegada de FRIDA a telescopio.

### Hitos

#### Septiembre

Recepción de la mayor parte del equipamiento de diagnóstico láser

#### Noviembre

- Adaptación del carenado de protección de GTCAO y mejoras en la refrigeración y aislamiento de los armarios de la electrónica.
- Diseño Detallado del telescopio de lanzamiento del láser.
- Cierre del diseño detallado del criostato de GRANCAIN.
- Compra de los componentes ópticos y refrigeración del criostato de GRANCAIN.

#### Diciembre

Recepción del cerramiento de seguridad láser (diciembre 2021)

### Desarrollo y resultados

En octubre de 2021 finalizó su contrato uno de los ingenieros electrónicos del proyecto, incorporándose un nuevo ingeniero electrónico en diciembre. También se han incorporado un ingeniero mecánico y una ingeniera óptica para tareas de GRANCAIN.

El doctorando L. Marquis, del Institut d'Optique Graduate School de París, realizó varias estancias de colaboración en el marco de su tesis en control de AO, cotutelada por I. Montilla. El principal objetivo de esta tesis es la mejora de las prestaciones del control en lazo cerrado de la Óptica Adaptativa mediante el control específico de las vibraciones en el sistema.

El equipo de Proyecto ha continuado con las tareas AIV aún pendientes en GTCAO, el acondicionamiento en su configuración final de telescopio de todos los componentes del banco óptico y de los diferentes armarios de control, el avance en el diseño detallado del sistema LGS y el cierre del diseño y avance en la ad-

quisición y fabricación de los componentes de GRANCAIN.

**GTCAO**

En este periodo se han llevado a cabo las siguientes pruebas del sistema: calibración del Corrector de Dispersión Atmosférica (ADC) del sensor de frente de onda, caracterizando los efectos de los giros independientes y en conjunto del sistema y comprobando la repetitividad en los efectos con las diferentes orientaciones; calibración de las pantallas de fase; calibración del desplazamiento de la pupila con el campo del sensor de frente de onda; ajustes en la TC (Cámara de Pruebas) para automatizar la elección de la ventana para la evaluación del Background y el cálculo del Strehl Ratio; optimización de las prestaciones del lazo cerrado con diferentes condiciones de turbulencia; optimización automática del aplanado del espejo deformable y del alineado del sensor de frente de onda.

Se realizó una visita al Telescopio GTC para verificar detalles de las interfases, traslados interiores y la ubicación de los armarios de electrónica y el ruteado de cableado y mangueras de aire y agua de refrigeración, quedando resueltas todas las dudas y detalles necesarios para el cierre de todos estos aspectos.

Se han adquirido los componentes de control necesarios para el sistema de seguridad de GTCAO, iniciándose la programación de la lógica correspondiente dentro del sistema de control.

Se completó la integración de todos los componentes de los circuitos de aire seco y agua de refrigeración del banco óptico. Se ha elaborado una modificación del sistema de refrigeración del armario de control principal, adquiriéndose los componentes necesarios.

Se ha completado la fabricación de las modificaciones planteadas en el carenado del banco óptico, incluyendo el módulo de interfaz con el instrumento científico, FRIDA.

Se ha completado la fabricación e instalación de los 2 armarios auxiliares al banco óptico para la ubicación de componentes de control tanto de los sistemas de aire/agua como de otros componentes del banco óptico.

Sigue en curso la fabricación para la adaptación del cableado principal entre el armario de control y el instrumento sobre el banco óptico.

Se ha realizado la integración y alineado de un mecanismo de traslación para el enfoque en diferentes planos de la estrella simulada, para

generar la imagen en la posición nominal de foco de FRIDA a la salida de GTCAO.

Se ha finalizado la fabricación y montaje del panelado de aislamiento térmico de los armarios de la electrónica, junto con unos marcos de rigidización necesarios para la manipulación y traslado del armario.

Se lanzó la compra y se recibieron las plataformas de acceso, necesarias para poder realizar tareas de mantenimiento de GTCAO sobre el banco óptico, cuya superficie se encuentra a casi 2 metros de altura sobre la plataforma Nasmyth.

Tras una verificación satisfactoria de la estabilidad a lo largo del tiempo de la estructura definitiva de soporte del banco óptico de GTCAO en la plataforma Nasmyth de GTC, la misma se da por finalizada y lista para la integración final de todo el sistema frente al rotador de la sala AIV para la aceptación final de GTCAO.



**Estructura de soporte de GTCAO a la plataforma Nasmyth del telescopio GTC.**

Se lanzó la compra de una de las parábolas del sistema colimador-cámara de GTCAO que se utilizará para reemplazar cualquiera de las 2 integradas en el instrumento durante la reparación los defectos detectados en su recubrimiento, minimizando así el tiempo de parada del instrumento.

En cuanto al software, se ha avanzado en lo siguiente:

Desarrollo e integración de los componentes del Control de Mecanismos, del Sistema de Calibración y de la Cámara de Pruebas en la capa Instrument. Desarrollo del DAS de la Cámara de Pruebas.

Gestión de configuraciones del SW del RTC (Control en Tiempo Real), arranque automático de toda la parte del RTC en coordinación con los mecanismos y preparación de una imagen de backup de todo el sistema.

Desarrollo del panel de monitorización del funcionamiento del lazo cerrado: imagen, subaperturas y centroides del sensor de frente de onda, posición de los actuadores, coeficientes de zernike.

Se encuentra en desarrollo el panel general de estado del instrumento, que refleja la configuración de todos los mecanismos y el camino de la luz en el sistema.

Contacto con GTC para la definición detallada de interfases con el observing engine del telescopio, como el control del rotador óptico, el control del ADC del sensor de frente de onda, y el envío de comandos al espejo M2 del telescopio para la corrección del tip-tilt.

Se encuentra en desarrollo un equivalente de DAS para la cámara del sensor de frente de onda.

Actualización de la documentación de la arquitectura software, tanto de los mecanismos de GTCAO como del RTC.

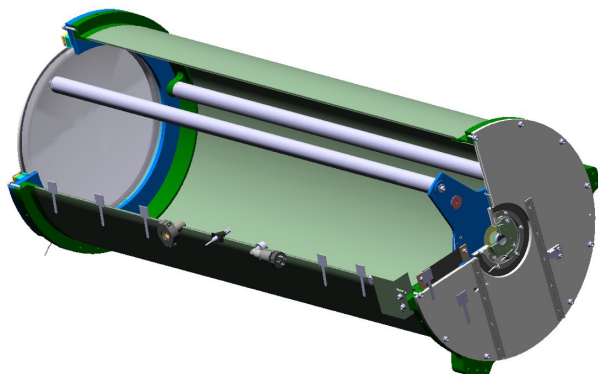
**LGS**

En 2021 se ha avanzado en el diseño y fabricación del telescopio de lanzamiento láser (LLT). Se ha completado el diseño detallado del mismo y lanzado la fabricación de las 2 lentes del telescopio, al tiempo que se han cerrado aspectos fundamentales para el inicio de la fabricación de la mayoría de los componentes optomecánicos.

El retraso acumulado en los desarrollos del LLT ha seguido afectando al cierre del diseño detallado del sistema de transferencia (LTS), en curso en estos momentos.

Mientras tanto se han cerrado los requisitos y completado la adquisición de los siguientes componentes:

- Mecanismo del Jitter Mirror (recibido).
- Sensor de frente de onda de diagnóstico para el LTS (recibido).



**Diseño detallado del telescopio de lanzamiento láser.**

- Bolómetro para diagnóstico láser (recibido).
- Interferómetro láser (recibido).
- Dicroico para la rama del sensor de frente de onda láser en el banco de GTCAO (fabricación en curso).
- Cámara de apuntado (suministro en curso).



**Bolómetro, sensor de frente de onda e interferómetro para diagnóstico láser.**

También se ha fabricado e instalado un cerramiento de seguridad láser en torno a la ubicación del láser de LGS para realizar las pruebas e integración del sistema de transferencia y lanzamiento del láser sin perjuicio y total seguridad del resto de actividades en la sala de AIV.

Este cerramiento se ha montado en torno a la sala limpia portátil ubicada dentro de la sala AIV. Se hizo una puesta a punto de dicha sala y se encuentra plenamente operativa con calidad ISO 6.

El avance en el diseño del Sensor de Frente de onda Láser (WFS) tanto en la óptica como en la optomecánica, ha permitido definir los



**Cerramiento de seguridad láser de LGS.**



requisitos necesarios para la compra de sus componentes ópticos, por ejemplo, el dicroico para la rama de LGS, cuya compra está ya en curso. En estos momentos se está en contacto con posibles proveedores para la compra del resto de componentes.

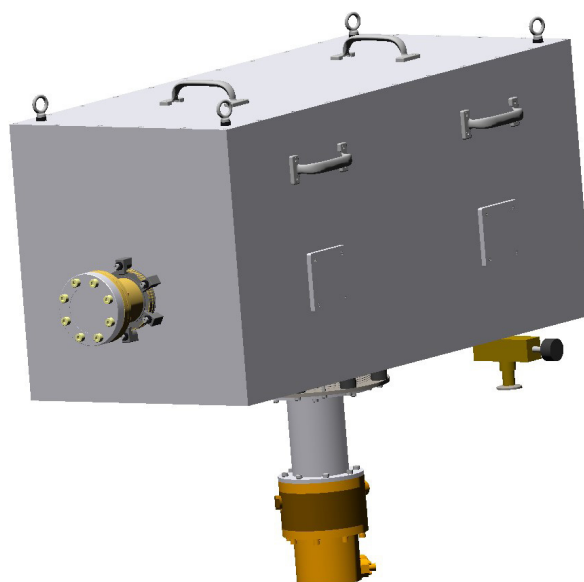
### GRANCAIN

Al ser una cámara infrarroja, este instrumento consta en esencia de un detector infrarrojo, una óptica de reimaginación y un sistema de filtros intercambiables mediante una rueda. Todo ello irá montado dentro de su correspondiente criostato. El detector que se utilizará será uno de los Hawaii-II disponibles tanto por parte del instrumento EMIR como de FRIDA, que van a utilizar el nuevo detector Hawaii-2RG, de hecho, se reutilizará toda la electrónica de control y los desarrollos realizados en EMIR para su uso en GRANCAIN.

Tras el cierre de los principales detalles de diseño, se lanzó la compra de las lentes de la óptica, los filtros, la fabricación del criostato y el sistema de refrigeración del mismo, todo ello con fechas de entrega en la primera mitad de 2022.

Este Proyecto está cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) en el marco de los Programas Operativos de Canarias 2007-2013 Eje 1, Tema Prioritario 2 y 2014-2020 al amparo de la Resolución nº 364 de 25 de noviembre de 2014 y de la Resolución nº232 de 10 de junio de 2015 de la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información (ACIISI) y prefinanciado mediante préstamo del Ministerio de Ciencia e Innovación.

También está cofinanciado por el Plan estratégico de los Observatorios de Canarias (INSIDE-OCC, ICTS-2019-03-IAC-12), la Convocatoria de Equipamiento Científico-Técnico 2018 (EQC2018-005097-P), la Convocatoria de Equipamiento Científico-Técnico 2019 (EQC2019-006713-P y fondos procedentes del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia de la Unión Europea – NextGenerationEU.



Modelo 3D del criostato de GRANCAIN.

## ADFEMOS: Actualización Detectores Frida EMir y Osiris (P/402100)

Enrique Joven Álvarez.

Colaborador del IAC: José J. Díaz García.

### Introducción

#### Antecedentes

El nuevo Proyecto ADFEMOS (acrónimo de Actualización Detectores FRIDA, EMIR y OSIRIS) es el marco de un Convenio de Colaboración entre GRANTECAN/GTC y el IAC, que surge de la necesidad de dotar a los instrumentos astrofísicos OSIRIS y EMIR –actualmente en funcionamiento en el Gran Telescopio Canarias desde 2009 y 2016, respectivamente– de nuevas, mejores y mayores prestaciones, así como actualizar el diseño en el instrumento FRIDA, de próxima instalación también en dicho telescopio.

La naturaleza de la colaboración entre ambas instituciones hermanas, como puede comprobarse fácilmente en la constitución estatutaria de ambas, es no solo frecuente, sino que habitual. En este aspecto, el instrumento de primera luz visible del telescopio GTC fue OSIRIS, diseñado, construido, ensamblado e instalado en el telescopio por un consorcio internacional de instituciones liderado por el IAC, en sus facetas tanto científica como tecnológica, en estrecha colaboración con la institución receptora del mismo, que fue GRANTECAN. El personal científico y técnico de ambas instituciones trabajó conjuntamente para ello. Lo mismo ocurrió con EMIR, la cámara-espectrógrafo que constituye el instrumento de mayor complejidad actualmente en uso en el GTC. De nuevo, un equipo multidisciplinar de varias instituciones –lideradas nuevamente por el IAC, y de nuevo soportadas por GRANTECAN– llevó a cabo el proyecto. El trabajo y colaboraciones en proyectos conjuntos es pues no solo frecuente, sino habitualmente necesario.

#### Alcance

Con el transcurso de los años de operación de los instrumentos astrofísicos mencionados, han surgido nuevas necesidades y lógicas posibilidades de mejora, demandadas por los usuarios de la comunidad astrofísica del GTC. La principal de ellas es la sustitución de los detectores visibles tipo CCD ya obsoletos de OSIRIS, y de los detectores infrarrojos, tanto en operación de EMIR, como en reserva para FRIDA. Los detectores infrarrojos actuales, adquiridos en una etapa muy temprana de los

proyectos, adolecen de un comportamiento complicado en manejo y problemas en la reducción de los datos obtenidos, habiendo sido prontamente descatalogados. Nuevos y mejores modelos garantizan una drástica mejora en las prestaciones de los tres instrumentos referidos. Los cambios en los detectores conllevan tareas diversas, principalmente en la electrónica de control de los instrumentos. Pero también en los mecanismos criogénicos asociados y en el software de adquisición de las imágenes y datos.

Para abordar estas mejoras, GRANTECAN ha obtenido la financiación suficiente para la adquisición de las nuevas unidades de detección y otros componentes relacionados en sus instrumentos, así como de la capacidad de contratación de los recursos humanos necesarios para ello. Dado que el IAC ha sido el principal diseñador y constructor de los aparatos, la intención conjunta de ambas instituciones es que se mantenga la sinergia en las mejoras, aprovechando los conocimientos adquiridos en el diseño, fabricación e instalación de los instrumentos citados. Cada una de las dos partes que colaboran se comprometen a la realización específica de una parte de los trabajos necesarios, en común beneficio.

El alcance resumido de la colaboración es el siguiente:

- Adquisición del sensor visible tipo CCD Deep-Depletion “E2V 231-84 BI” de 4k x 4k píxeles para el instrumento OSIRIS.
- Adquisición de dos sensores infrarrojos del tipo “Teledyne MCT H2RG” de 2k x 2k píxeles, junto con el chip de control tipo ASIC “Sidecar”, para la renovación de EMIR y la instalación en FRIDA. Además del hardware de adquisición de datos y accesorios.
- Renovación completa del plano focal de OSIRIS, lo que incluye no solo el cambio del detector CCD citado, sino además el cambio del criostato que lo enfriará hasta la temperatura de operación, la actualización del hardware de control, la actualización del firmware de control y la actualización del software de control de alto nivel, manteniendo los modos de observación actuales del instrumento y añadiendo aquellos pendientes de comisionado.
- Ensamblaje, integración y verificación del nuevo subsistema de detección de OSIRIS en el IAC (en el Laboratorio de Detectores LISA –Laboratorio de Imagen y Sensores para Astronomía–) y comisionado en telescopio GTC en la nueva ubicación de OSIRIS (foco Cassegrain).



- Renovación completa del plano focal de EMIR, lo que incluye no solo el cambio del detector infrarrojo citado por la unidad H2RG, sino además el cambio del soporte mecánico y una motorización criogénica adicional para corregir errores de alineado en frío, la actualización de todo el firmware de control basado en el chip de tipo ASIC, y la actualización del software de control de alto nivel, manteniendo los modos de observación actuales del instrumento.
- Ensamblaje, integración y verificación del nuevo subsistema de detección de EMIR en el criostato de pruebas del IAC (LISA) y comisionado en telescopio GTC, en el foco Nasmyth-A (previa apertura del instrumento en la sala limpia de GTC).
- Actualización del detector de FRIDA por un sistema idéntico al planteado para EMIR.

## Desarrollo y resultados

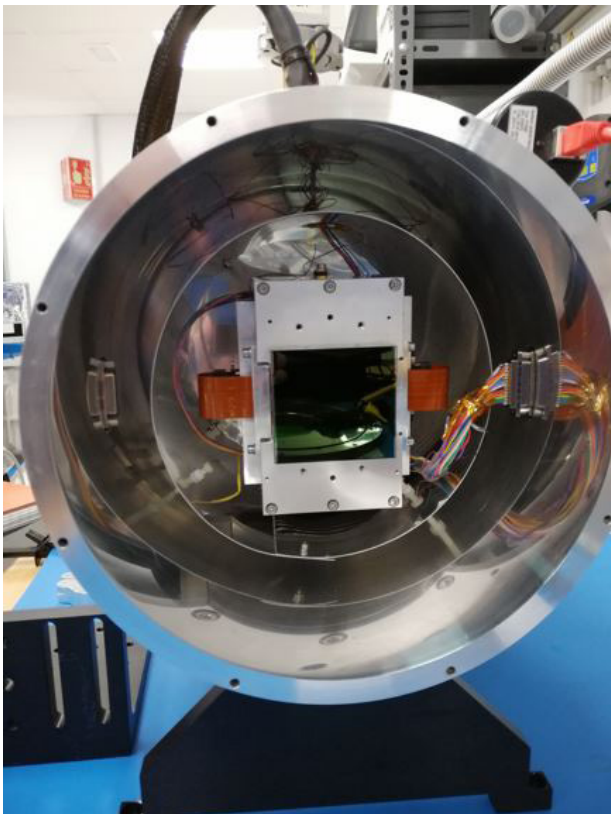
### Progresos en OSIRIS

Diseño y fabricación del útil de manipulación para los detectores e2V 231-84.

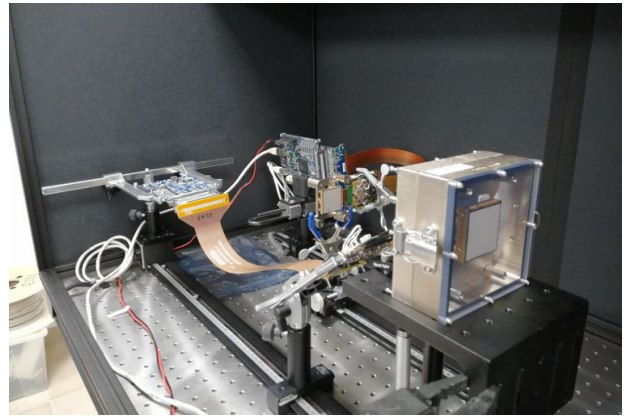
Diseño y fabricación del enlace térmico para el criostato de test.

Caracterización térmica de criostato de test con dummy.

Caracterización térmica de criostato de test con la unidad de ingeniería.



Vista del nuevo detector CCD de OSIRIS.



Vista del nuevo detector H2RG-mux de EMIR en el banco de pruebas.

Caracterización funcional (ajustes, código, fases, voltajes, FW) con la unidad de ingeniería.

Caracterización estándar de figuras de mérito con los CCDs @160K, tanto de la unidad de ingeniería como la de grado científico que se incorporará en el instrumento. Eficiencia cuántica validada en ambas unidades.

Evolución SW de control del DAS/GCS. Actualización a hardware ARC-gen 3 con soporte en Linux. Actualización de firmware a modos de observación actuales de OSIRIS.

Desarrollo de herramientas de depuración SW en DAS/GCS.

Diseño de criostato basado en un ciclo cerrado de Helio, sin necesidad de líquidos criogénicos. Fabricación en curso.

### Progresos en EMIR y FRIDA

Diseño y fabricación de prototipo de pasa muros de vacío con epoxis con óptimos resultados.

Diseño soporte del detector tipo H2RG fijo para pruebas en banco de test de LISA.

Estudio de soluciones para soporte activo H2RG: sistema basado en actuadores piezoeléctricos de Jansen.

Llegada de los elementos contratados a Teledyne: detectores de ciencia e ingeniería tipo H2RG, multiplexor y circuitos de control integrados tipo ASIC (modelo SIDECAR).

Decisión consensuada de uso de interfaz tipo MACIE (Astroblank) para la interfaz con los circuitos ASIC criogénicos.

Pruebas bajo Ubuntu y CentOS Linux con control MACIE y H2RG tipo "mux" (temperatura ambiente).

# INSTRUMENTACIÓN MICROONDAS

## QUIJOTE (Q U I JOINT TENERIFE CMB EXPERIMENT) (P/401199)

**José A. Rubiño Martín.**

Univ. de Grenoble-Alpes (Francia); Univ. degli Studi de Milán (Italia); Obs. di Astrofisica e Scienza dello Spazio de Bolonia (Italia).

### Introducción

*Experimento QUIJOTE, y espectrógrafos TMS y KISS*

El experimento QUIJOTE (Q U I, JOint Tenerife Experiment), situado en el Observatorio del Teide, tiene como objetivo la caracterización polarimétrica del Fondo Cósmico de Microondas (FCM), y de otros procesos de emisión galáctica y extra-galáctica en el rango 10-42 GHz, a grandes escalas angulares (1° de resolución). Las medidas de QUIJOTE complementan a baja frecuencia las del satélite Planck (ESA), y permiten caracterizar con precisión la polarización de la emisión sincrotrón y la emisión anómala de microondas de nuestra Galaxia.

La instalación está originalmente diseñada para dos telescopios (QT1 y QT2) y tres instrumentos (MFI, TGI y FGI), que cubren 6 bandas de frecuencia. El primer instrumento, el *Multi-frequency Instrument* (MFI), entró en operación en noviembre de 2012 con cuatro frecuencias centrales (11, 13, 17 y 19GHz). Fue decomisionado en diciembre de 2018 y se sustituyó por el espectrógrafo visitante KISS (Grenoble). Los instrumentos TGI (*Thirty GHz Instrument*) y FGI (*Forty GHz Instrument*) se integraron en un único criostato en el QT2, en una configuración de 14 receptores a la frecuencia de 30GHz y 15 receptores a 40GHz.

Los nuevos instrumentos en desarrollo, financiados en su mayor parte por el plan de infraestructuras, el plan estratégico de observatorios y el plan de recuperación son: un multi-frecuencia mejorado (MFI2), que sustituirá al actual MFI en el plano focal del QT1, triplicando su sensibilidad; y un espectrógrafo de microondas, el TMS (*Tenerife Microwave Spectrometer*) que proporcionará datos de las distorsiones espectrales del FCM, midiendo

fluctuaciones térmicas del FCM, tanto absolutas (mK) como en el relativas ( $\mu\text{K}$ ), también en el rango de 10-20 GHz, complementando así el proyecto QUIJOTE en la parte espectroscópica.

El proyecto QUIJOTE está liderado por el IAC y tiene como socios al Instituto de Física de Cantabria (IFCA, Santander, España), al Departamento de Ingeniería de Comunicaciones (DICOM, Santander, España), y a las Universidades de Manchester y de Cambridge del Reino Unido. A partir de 2019 se han unido como colaboradores la Univ. de Grenoble-Alpes, la Università degli Studi de Milán y el Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio de Bolonia. El proyecto TMS está liderado por el IAC, y tiene una participación en aspectos instrumentales del grupo de INAF en Bologna, la Universidad de Milán, y la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).

Más información en la Web del Proyecto QUIJOTE: <http://research.iac.es/project/cmb/quijote>.

### Hitos

Finalización de las observaciones con KISS y desmontaje del instrumento.

Mejora y verificación de las prestaciones de vacío del FTGI.

Revisión de diseño detallado (CDR) de la montura del TMS.

Instalación del FTGI con 7 detectores en el QT2 e inicio del comisionado.

Verificación del prototipo de adquisición y pre-procesado de datos basado en FPGAs.

Pruebas de verificación en Bolonia de la carga a 4K del TMS.

Finalización de la obra de cimentación del TMS.

### Desarrollo y resultados

#### Instalaciones

Se realizaron acciones recomendadas por la asesoría técnica de Caracena, como la instalación de un detector de O<sub>2</sub> en la sala de telescopios, la integración de rodillos guía en la

cúpula norte y la anulación del uso del polipasto de la cúpula, por no poder certificarse. En adelante, para cualquier trabajo que requiera mover cargas pesadas en el recinto de los telescopios será necesario la contratación de un servicio de grúa. Por otro lado, se contrató la elaboración del proyecto de obra para subsanar deficiencias básicas del edificio.

Se desmontó la junta rotatoria del telescopio QT1 para reparar la fibra óptica y mejorar el anclaje de toda la junta. También se realiza una mejora similar en la fijación de la junta del telescopio QT2, puesto que el sistema suministrado por el fabricante ha fallado por segunda vez, por este motivo se ha diseñado un nuevo sistema de fijación que será fabricado en el IAC y se implementará en ambos telescopios en el próximo período.

Se realizó el mantenimiento anual de los telescopios por parte del personal de ingeniería del proyecto, con la idea de, además de ejecutar la tarea, revisar el documento redactado a tal efecto. También se actualizaron los sistemas de control a Windows10, a solicitud del SI por motivos de seguridad.

**KISS: Instrumento visitante**

*(Laboratoire de Physique Subatomique & Cosmologie - IN2P3 (CNRS), Université Grenoble Alpes).*

El instrumento visitante KISS, una colaboración científica con Grenoble (Institut Néel, LPSC & IPAG), Tenerife (IAC) y Roma (La Sapienza), finalizó su período de operación en Izaña en agosto de 2021. Con la ayuda del equipo de Grenoble, fue retirado y enviado de vuelta a Francia en septiembre. Antes de instalar un nuevo instrumento habrá que devolver a su estado original algunos de los elementos del telescopio que tuvieron que ser modificados para integrar KISS.

**Instrumento FTGI**

Se implementaron las mejoras previstas en el sistema con la finalidad de eliminar las microfugas detectadas, destacando la implementación de nuevos pasamuros para sustituir los conectores de RF de los píxeles; el diseño, fabricación y verificación mediante prototipo de una ventana de polietileno para sustituir la de ventana anterior de mylar; la mejora y remecanizado de las tapas hexagonales de los píxeles y la renovación de todas las juntas del criostato. Estas modificaciones han mejorado la estanqueidad del sistema, que alcanza ahora valores de presión en vacío significativamente menores, reduciendo el tiempo de enfriado del instrumento.



**Instalación del Instrumento FTGI en el QT2.**

que da paso a la integración mecánica en el laboratorio de AIV del IAC.

Se han rediseñado los FEMs racks subsanando deficiencias encontradas en el diseño anterior y optimizando su consumo y funcionamiento. Puesto que el nuevo diseño implica muchos cambios, se preparará uno de los FEMs racks que no están en uso del FTGI, para integrarlo en el MFI2 y así asegurar que no se retrasa su puesta en marcha debido a este nuevo diseño.

Está previsto implementar un sistema de pre-procesado y adquisición de datos, que se desarrolla en colaboración con la UPCT (Univ. Politécnica de Cartagena). Durante el 2021 la UPCT entregó un prototipo para un solo canal, basado en tecnología de FPGA ultra-rápidos integrados en la tarjeta comercial Zynq® UltraScale+™ RFSoc ZCU111. El objetivo de este sistema es optimizar la capacidad de filtrar y corregir las señales de RF en ambos instrumentos, MFI2 y TMS, mediante una digitalización y descomposición espectral de la banda de 10-20GHz. Mientras se desarrolla este novedoso sistema, también se adapta el antiguo sistema DAS del MFI para un primer comisionado del MFI2 en 2022. Este DAS ya ha sido actualizado con el nuevo firmware XP enviado por el fabricante y con windows10.

**Espectrógrafo TMS**

La complejidad de este instrumento está en la elevada estabilidad térmica necesaria. Los receptores se integran en un criostato de 4K que incluye una carga a 4K que servirá de referencia para el estudio de las fluctuaciones de temperatura del FCM.



Continuando con el diseño del TMS, se completó el del sistema óptico basado en dos espejos que proporcionan una resolución final de 2° en la banda de 10-20GHz, con baja elipticidad, baja polarización cruzada (-30dB) y bajo nivel de lóbulos laterales (-25dB). Se finalizó un primer diseño de la OMT y del híbrido de banda ancha y se ha avanzado en el diseño de la estructura fría.

En cuanto a la montura del instrumento, en febrero de 2021 se hizo efectiva la adjudicación del contrato a IDOM. Finalizado el diseño, se avanza la fabricación en las instalaciones del adjudicatario. En el IAC se ha diseñado la parte de la montura correspondiente a la góndola u horquilla, partiendo de un concepto propuesto por IDOM.

También durante 2021 se realizaron los trámites necesarios para finalmente ejecutar la obra de cimentación en el observatorio de Izaña, donde será instalada la montura de TMS. Después de la primera excavación y tras los resultados obtenidos en la cata del terreno, se decidió ahondar un poco más de lo previsto, debido a que el material encontrado no era el óptimo para establecer el cimiento. Este imprevisto dilató la duración de la obra de 1 a 5 meses.

La carga criogénica a 4K (4KCL), se desarrolló en colaboración con el grupo INAF de Bolonia (Italia), por tener experiencia en la fabricación de sistemas similares para otros proyectos. El dispositivo se fabricó, verificó y caracterizó durante 2021, integrando para ello en el banco de pruebas, las bocinas diseñadas y fabricadas en el IAC. La carga se recibirá en el IAC a principios del 2022.

El sistema de pre-procesado y adquisición de datos desarrollado en colaboración con la UPCT también se empleará en este instrumento. Con él se espera mejorar la resolución espectral en 1MHz, permitiendo separar las

bandas de interferencia de manera más eficiente, al trabajar en sub-bandas de 2GHz.

#### *Otras actividades*

Se prepararon solicitudes de contratación para dos plazas de ingeniero, una con perfil de ingeniero electrónico para el desarrollo del sistema de FPGAs y otra de mecánica para suplir la ausencia de Pablo A. Fuerte. La primera quedó desierta y tuvo que volver a convocarse 6 meses después. El plan actual es que ambos ingenieros se incorporen en el primer trimestre de 2022.

Se detectó un posible viñeteo del campo de visión del TMS con el futuro telescopio STRIP que se solucionó separando un poco las paredes de los edificios anexos. Esto se implementará durante la obra del telescopio.

Se invirtió un esfuerzo importante por parte de los recursos de electrónica del proyecto, para remodelar y adecuar el laboratorio de electrónica con nuevo mobiliario y equipamiento dedicado al desarrollo y AIV de los sistemas de microelectrónica de microondas.



**Cimiento del TMS.**

## GROUND-STRIP: GROUNDBIRD LSPE-STRIP (P/401800)

Ricardo T. Génova Santos.

**Colaboradores del IAC: Miguel A. Ginovés Bethencourt, Carlos Quintana González de Chaves y Rafael Ramos Medina.**

M. Hattori (Univ. de Tohoku, Japón); C. Otani (RIKEN); J. Suzuki, O. Tajima (Univ. de Kyoto, Japón) S. Honda (IAC).

### Introducción

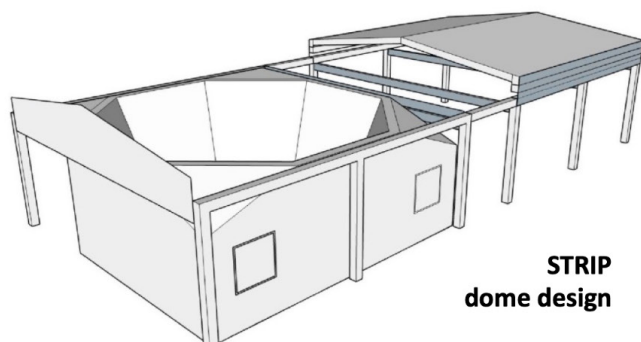
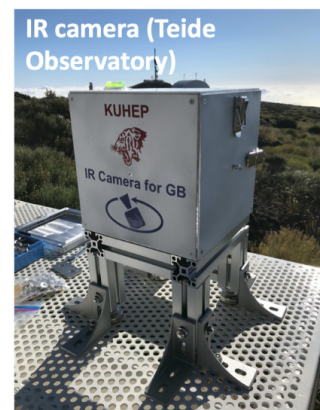
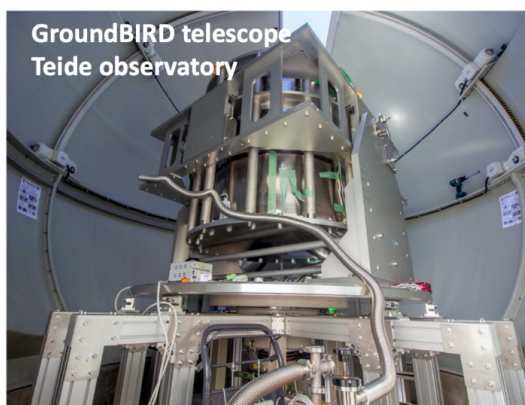
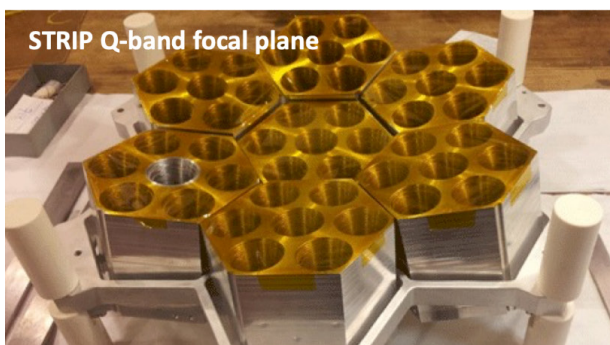
GroundBIRD y LSPE-STRIP son dos experimentos que tienen en común su capacidad de recibir señales en la banda de microondas. Ambos se desarrollan en otros países (principalmente en Japón e Italia), pero se instalan en el Observatorio del Teide (OT) aprovechando las excelentes cualidades de este emplazamiento. Aunque el IAC no está involucrado en ningún paquete de desarrollo tecnológico de estos experimentos, sí que tiene una importante participación en las labores de integración e instalación en el observatorio, en las mejoras y mantenimiento durante la explotación científica, y en su explotación científica en sí.

### GroundBIRD

GroundBIRD es un experimento dedicado a observar y caracterizar la polarización del Fondo Cósmico de Microondas (FCM) en altas frecuencias (145 y 220 GHz). En diciembre de 2016 se firmó el acuerdo de colaboración entre el instituto RIKEN y el IAC, a través del cual el IAC entró a formar parte de esta colaboración, lo que le confiere al IAC pleno derecho en cuanto acceso a datos, explotación científica y autoría de publicaciones. Este acuerdo fue renovado en 2021 por otro periodo de 3 años (BOE 2971, 19-febrero-2021). Está previsto que GroundBIRD realice observaciones durante al menos 3 años de manera continuada. Aparte de su total involucración en aspectos científicos, la responsabilidad principal del IAC en aspectos técnicos está centrada en suministrar y adecuar las infraestructuras generales del observatorio del Teide para la instalación del telescopio, y en dar soporte para la introducción de mejoras en el sistema, especialmente en las tareas necesarias para la actualización del sistema de detectores del telescopio.

### LSPE-STRIP

LSPE-STRIP es un experimento dedicado a observar la polarización del FCM en frecuencias intermedias (43 y 90 GHz). En noviembre de 2018 se firmó el convenio de colaboración entre la Universidad de Milán y el IAC para la instalación del experimento (BOE 26-abril-2019, 6250). Está previsto que LSPE-STRIP realice





observaciones durante al menos 2 años, iniciando el comisionado a finales de 2022 o principios del 2023. La responsabilidad del IAC está centrada en gestionar la contratación de la cimentación del telescopio y la cúpula de protección del experimento, así como adecuar las infraestructuras generales del observatorio para la instalación del telescopio.

#### *Instrumentos caracterización atmosférica*

Como complemento a estos telescopios se han instalado o se instalarán varios instrumentos dedicados a la caracterización atmosférica:

- Un radiómetro desarrollado por la compañía japonesa Furuno para la medida de la densidad columna de vapor de agua precipitable (periodo de pruebas: 4 meses).
- Una cámara infrarroja desarrollada por la Univ. de Corea para la monitorización de la distribución de nubes.
- Un monitor de PWV perteneciente a la colaboración EHT, para evaluar la posibilidad de instalar una antena del EHT en el Observatorio.

#### **Hitos**

GroundBird: Instalación de tres módulos con un total de 60 detectores.

LSPE-STRIP: Finalización del diseño de cimentación y cúpula, documentación de proyecto de ejecución y solicitud de licencia de obras. LSPE-STRIP.

Instrumentación de caracterización atmosférica: Finalización infraestructura necesaria para los instrumentos. Instalación de dos de los tres instrumentos previstos.

#### **Desarrollo y resultados**

##### *GroundBird*

Tras una ralentización de las actividades durante 2020 debido a las restricciones impuestas por la pandemia, a partir del segundo trimestre del año 2021 el grupo japonés ha podido desplazar de nuevo recursos para retomar los trabajos en el telescopio. Se comenzó resolviendo el problema de pérdida de gas en uno de los conductos de helio, que había aparecido en 2020. A continuación, se ha procedido a incorporar al sistema, en varios pasos, nuevos detectores, hasta disponer a finales de año de 60 pixeles, estando completamente operativos e instalados 27 de ellos. En medio de este proceso hubo que desmontar las partes sensibles del telescopio (conjunto criostato con detectores y su electrónica) para proteger el sistema de las vibraciones que iban a pro-

ducir las obras de cimentación del telescopio TMS. Se ha aprovechado el tiempo de inactividad del telescopio para realizar algunas mejoras en el sistema: reconducción del aire de la enfriadora al exterior, instalación de cubiertas para sellar la canalización de cables por el suelo, implementación de un sistema de control remoto del controlador de acimut, etc. Por otro lado, se definió y contrató el sistema de seguridad interlock para acceder al telescopio de una forma segura iniciándose la instalación durante este año 2021.

##### *LSPE-STRIP*

Durante el primer semestre de 2021 la empresa contratada diseñó la Cimentación y Cúpula para el telescopio. Para asegurar el resultado se fueron revisando los pasos dados estableciendo continuas reuniones de seguimiento entre la empresa y responsables del proyecto de Milán y del IAC. Como resultado se confeccionó un documento de proyecto de ejecución, que fue visado por el colegio de ingenieros. Una vez que se dispuso del proyecto visado se procedió a solicitar informe medioambiental al Cabildo, obteniéndose éste en julio de 2021. Finalmente se tramitó la solicitud de licencia de obras en el Ayuntamiento de Guimar. La estimación de costes del proyecto resultó superior a lo reservado y estimado originalmente para el proyecto, por lo que gran parte del segundo semestre del año 2021 se utilizó en obtener fondos complementarios para el proyecto. Una vez resuelto el asunto financiero del proyecto se inició el proceso para su licitación a finales del año 2021.

##### *Instrumentos caracterización atmosférica*

En febrero-marzo se finalizó e instaló la mesa de 2 x 2 m prevista. También se instaló y configuró el alternador eléctrico y los módulos para dar soporte a las comunicaciones de los diferentes instrumentos. Una vez instalados estos elementos pendientes, se puede dar por finalizado el proyecto de crear la infraestructura necesaria.

A finales de abril se recibió el primer instrumento de caracterización atmosférica perteneciente a la colaboración EHT, proveniente de EEUU. Se montó sobre la mesa, se canalizaron los cables y se configuró. Este sistema ha estado adquiriendo datos desde entonces hasta mediados de diciembre, momento en el cual por alguna causa dejó de funcionar. Se planifica y organiza una reparación local guiada desde EEUU para ejecutar a principios del 2022.

En junio-julio se instaló el segundo instrumento, una cámara infrarroja, que es fruto de una colaboración con la Universidad de Corea. Después de algunos pequeños problemas el sistema ha estado funcionando sin problemas hasta este momento.

El tercer instrumento de la empresa japonesa Furuno está previsto recibirlo durante los primeros meses del año 2022.

# ASTROFÍSICA DESDE EL ESPACIO

## OGS (OPTICAL GROUND STATION) (P/400114)

Ángel Alonso Sánchez.

Colaboradores del IAC: Pedro A. Ayala Esteban, Jesús E. García Velázquez y Hugo Lamosa Garrido.

### Introducción

Actualmente, las comunicaciones con satélites se basan fundamentalmente en el empleo de microondas. El ancho de banda de las transmisiones usuales impone claras restricciones en el flujo de información manejable mediante estos sistemas. Es probable que la creciente limitación de espacio en las órbitas circunferenciales, así como el incremento en la demanda mundial de las telecomunicaciones signifique la saturación de los sistemas convencionales de microondas en un futuro próximo.

A partir de los años 60, y en previsión del mencionado problema comenzó a investigarse la posibilidad de usar frecuencias ópticas ( $\gg 10^{15}$  Hz) en las comunicaciones entre satélites, y entre satélites y estaciones terrestres. El gran avance registrado en el desarrollo de láseres de alta potencia ha convertido este tipo de comunicaciones en una realidad.

Además de la indudable ventaja del aumento del ancho de banda que permite incrementar el flujo de información, y eliminar las regulaciones restrictivas en el empleo de frecuencias, las comunicaciones ópticas tienen otras ventajas no desdeñables, como son las mayores garantías de confidencialidad en las transmisiones, y la disminución del peso, el volumen y el consumo de energía de los equipos de comunicaciones tanto espaciales como terrestres.

Aunque la tecnología relacionada con las comunicaciones ópticas en el espacio-atmósfera ha experimentado un desarrollo espectacular, la caracterización de los enlaces satélite-tierra está todavía en sus comienzos. Es en este campo, la Estación Óptica Terrestre (OGS) de la Agencia Espacial Europea ha permitido

llevar a cabo experimentos de gran importancia, ya que en las campañas iniciales ha demostrado una fiabilidad y una eficiencia superior a la de cualquier sistema desarrollado hasta el momento con el mismo propósito. Los resultados obtenidos de los múltiples experimentos realizados en la OGS resultarán fundamentales para la validación de teorías y modelos de propagación de haces gaussianos en la atmósfera.



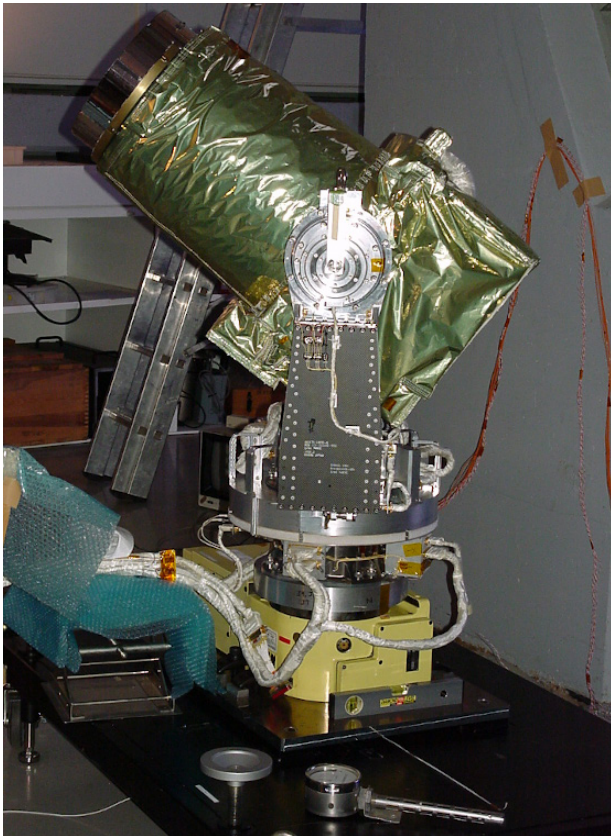
**La Estación Óptica Terrestre (OGS) en el Observatorio del Teide con las estrellas circumpolares.**

A continuación, se describen algunos de los hitos históricos alcanzados en la OGS.

En 2001, se llevaron a cabo con éxito las dos primeras campañas de comunicaciones ópticas entre la OGS y el satélite ARTEMIS. En particular se midió por primera vez, en las campañas de 2003, y de forma simultánea el centelleo causado por la atmósfera tanto en el camino descendente (satélite-tierra) como en el ascendente (tierra-satélite). En 2003 se realizó la validación del terminal óptico del satélite OICETS de la Agencia Espacial Japonesa (NASDA) y NEC-TOSHIBA Space.

Durante el 2004, se realizaron campañas sistemáticas de enlaces ascendentes con el satélite SMART-1 a distancias que van desde 20.000 km hasta 150.000 km.

En 2005, se ha validó un terminal óptico de satélite con detección homodina (TESAT), y el sensor de turbulencia del segmento de tierra del satélite TERRASAR-X (Agencia Espacial Alemana; DLR). Desde 2004 se han venido desarrollando diferentes experimentos de co-



**Terminal óptico del satélite OICETS en la cúpula de la OGS.**

municación cuántica entre el ORM y la OGS (QUIPS).

En 2008, se concluyó el diseño de un sistema de Óptica Adaptativa para permitir enlaces coherentes con el satélite TERRASAR-X, y se llevaron a cabo enlaces ópticos con éste satélite y con N-Fire para verificar el funcionamiento de sus terminales ópticos.

En 2011, se ha acometió la instalación de una nueva ventana en la cúpula para permitir enlaces más largos con satélites de órbita baja. En lo que concierne a la astronomía, el telescopio de la OGS es un banco de pruebas de instrumentos desarrollados tanto por la ESA como por el IAC.

En 2014, se concluyeron las modificaciones necesarias para disponer de un terminal IR de comunicaciones ópticas de larga distancia y se realizaron numerosos enlaces con el satélite LADEE (NASA) durante su misión en órbita lunar. También se realizaron enlaces con el terminal óptico OPALS (JPL) a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS). Recientemente se han mejorado los elementos ópticos del foco coudé del telescopio para incrementar la transmisión en el intervalo del infrarrojo cercano (banda K).



**Pruebas de seguimiento de la Estación Espacial Internacional (ISS).**

Desde 2015 se viene dando soporte al personal de TESAT y SYNOPTA, en las campañas de comunicaciones de T-AOGS con el satélite Alphasat (ESA). En relación con este tipo de experimentos, en 2019 ha comenzado el soporte de operaciones de la ESA con terminales del European Data Relay System (EDRS) usando el telescopio de la OGS. El sistema EDRS es una constelación europea de satélites geostacionarios desarrollada dentro del programa ARTES7 para garantizar la independencia en la transmisión de grandes volúmenes de datos mediante enlaces ópticos entre satélites y estaciones terrenas.

En 2022 se instalará una nueva estación del foco coudé en la cúpula para realizar el experimento CaNaPy en colaboración con el Observatorio Europeo del Sur (ESO).

## Hitos

### Julio

Reparación del suelo de la cúpula con epoxy multicapa.

### Diciembre

Instalación de la T-AOGS de TESAT.

## Desarrollo y resultados

Se ha dado soporte a los diferentes experimentos alojados en la estación.

CaNaPy: Colaboración ESA-ESO-IAC para implantar un sistema de comunicaciones ópticas con láseres de alta potencia en un nuevo foco coudé.



#### **Reparación del suelo de la cúpula.**

Feedelio: Soporte a ONERA en un experimento de medida de turbulencia en un enlace con un retroreflector instalado en la estación del teleférico del Teide.

T-AOGS: Ha concluido la obra civil para alojar la Terminal óptica de TESAT. En diciembre se ha procedido a la instalación de los contenedores que contienen el sistema óptico y de control.

Se ha llevado a cabo la reparación del suelo de la cúpula del telescopio con un recubrimiento de múltiples capas de epoxy de alta resistencia y características antiestáticas.

## **OGS-MANTENIMIENTO (OPTICAL GROUND STATION- MANTENIMIENTO) (p/100114-01)**

**Emilio J. Cadavid Delgado.**

### **Introducción**

El año 2021 está marcado por una avería en el sistema de contrapesado de Ascensión Recta del telescopio, reparado por la ESA, por una serie de trabajos tales como el cambio del suelo de la cúpula y problemas con el motor de declinación que limitaron completamente el uso del telescopio. Solo se pudieron realizar dos limpiezas del telescopio en septiembre y diciembre con un total de 30 h empleadas.



## PLATO (PLANETARY TRANSITS AND OSCILLATIONS OF STARS) (P/301019)

Hans J. Deeg.

Colaboradores del IAC: Roi Alonso Sobrino, María J. Arévalo Morales, Antonio Jiménez Mancebo, Carlos Lázaro Hernando, Nicolás Cedric Lodieu, Eduardo Martín Guerrero de Escalante, Savita Mathur, Grzegorz Nowak, Enric Pallé Bago, Hannu Parviainen, Fernando Pérez Hernández, Teodoro Roca Cortés y Víctor J. Sánchez Bejar.

P. Beck (Univ. de Graz, Austria); P. Klagyivik (DLR, Alemania); CRISA/AIRBUS; IAA, ESA; DLR: TAS-E, LESIA.

### Introducción

Tránsitos Planetarios y oscilaciones de las estrellas, en inglés PLANetary Transits and Oscillations of stars (PLATO), es una misión propuesta por ESA para un observatorio espacial que va a utilizar un grupo de fotómetros para descubrir y caracterizar planetas extrasolares de todos los tamaños y tipos en torno a enanas frías (como nuestro Sol) y estrellas sub-gigantes.

Se diferenciará de la misión Kepler y la misión COROT en que estudiará estrellas brillantes (entre las magnitudes 8 y 11) haciendo más fácil confirmar los hallazgos utilizando el seguimiento de las mediciones de velocidad radial. Contará con un campo de vista mucho más amplio que el de la misión Kepler (que tiene 100 grados<sup>2</sup>) permitiéndole estudiar una muestra más grande de estrellas. Las diferentes versiones del Proyecto planean observar las estrellas en un área del cielo de unos 2.230 grados<sup>2</sup> con lo puede lograr el seguimiento de las curvas de luz de hasta 260.000 enanas frías y sub-gigantes (Kepler tiene 25.000 estrellas de este tipo en su campo visual).

### Hitos

Entrega de las tarjetas del modelo EM de la MEU-PSU para su integración en la MEU.

Entrega del modelo EM de la MEU a DLR (Berlín) para su integración y pruebas en el sistema de adquisición de datos (DPS).

Superación de pruebas de integración y funcionamiento del Modelo EM.

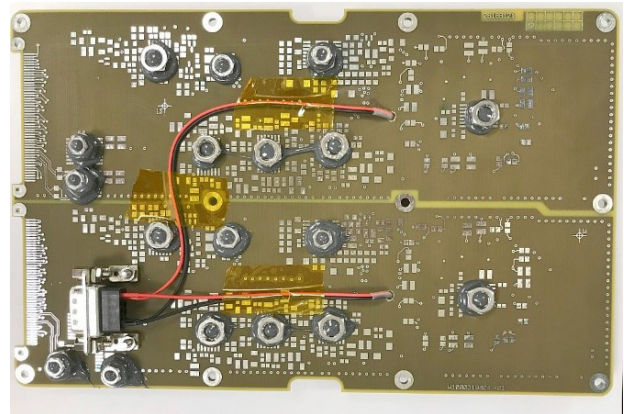
Entrega del modelo MTD (Mass and Thermal DUmmy) a OHB (Munich) para su integración en el modelo a nivel instrumento.

Superación del Critical Design Review (CDR) de la MEU.

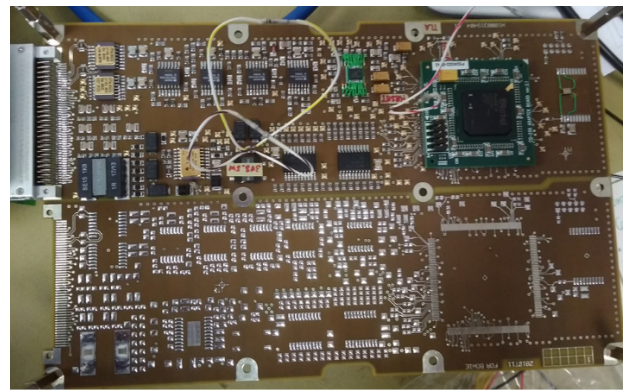
Inicio del proceso de compra de componentes electrónicos con largo plazo de entrega para los modelos de vuelo.

### Desarrollo y resultados

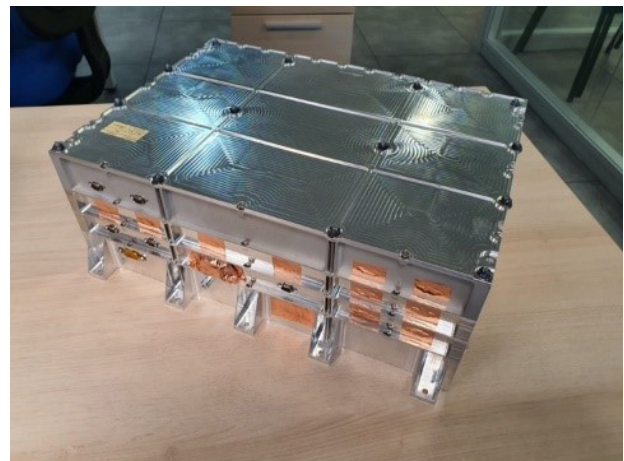
Las tareas de diseño y producción del modelo EQM, que estaban previstas para su ejecución en la FASE II del contrato industrial firmado entre el IAC y la empresa CRISA, no se han podido llevar a cabo debido a la falta de financiación. El contrato IAC-CRISA será interrumpido en septiembre de 2021, habiendo sido las ta-



MEU PSU MTD



MEU PSU EM Control Board.



MEU EM BOX.

reas de desarrollo del modelo EQM asumidas por la ESA, como medida de contingencia. El IAC, a petición de la ESA, ha contribuido a las actividades realizadas en este periodo como revisor.

Durante la ejecución del contrato industrial con CRISA, se completó la fabricación del modelo MTD (Mechanical and Thermal Dummy), se integró y entregó a OHB (Munich) para su incorporación al modelo de masas y térmico del instrumento. Se completó también el modelo EM (Engineering Model) y fue entregado a DLR (Berlín) para su incorporación al DPS (Data Processing System), donde ha sido integrado con éxito.

El Proyecto ha superado la fase de diseño crítico (CDR) y la producción del modelo de cualificación (EQM) estará disponible a finales de 2022, según las actividades contempladas en el contrato ESA-TASE-CRISA.

El IAC ha recibido fondos vía CDTI, y se está trabajando para retomar las tareas necesarias para la producción de los modelos de vuelo y repuesto. La planificación del proyecto contempla el solapamiento en la producción del modelo EQM y los modelos de vuelo, por lo que ya se han iniciado actividades relacionadas con los modelos de vuelo. En particular, nuevamente como actividad de contingencia, la ESA ha iniciado la compra anticipada de componentes electrónicos dadas las limitaciones del IAC para asegurar su disponibilidad en el momento necesario.

## SUNRISE-3 (SUNRISE-3 & IMAx-3) (P/301134)

Basilio Ruiz Cobo.

E. Magdaleno-Castello, M.J. Rodríguez Valido (ULL).

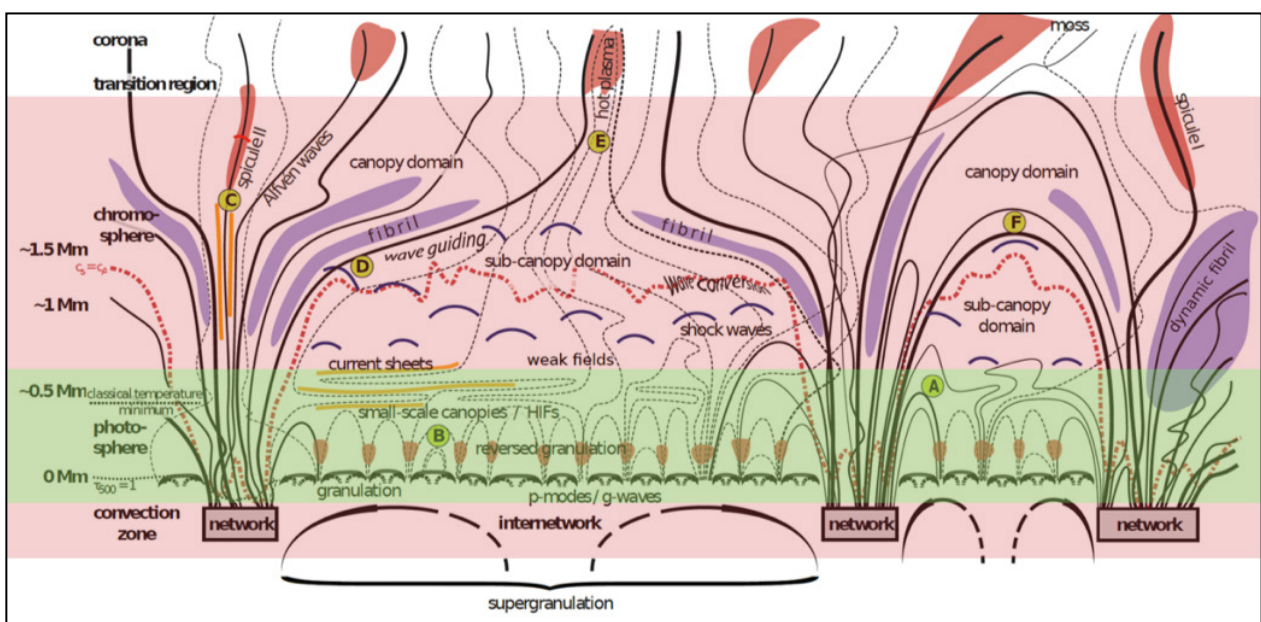
### Introducción

Tras el éxito científico de los dos primeros vuelos del globo estratosférico Sunrise, el consorcio liderado por el MPS (Göttingen, Alemania) decidió lanzar una tercera misión. Para Sunrise III se ha diseñado una nueva góndola y un nuevo sistema de navegación (APL, Johns Hopkins Univ. Maryland, EEUU) y un nuevo telescopio rediseñado por el MPS. El MPS se encarga también de la plataforma instrumental y del sistema de distribución de luz mientras que el KIS (Freiburg, Alemania) es responsable del sensor de correlación del frente de onda a cargo de la estabilización de la imagen en tiempo real.

Se han desarrollado tres nuevos instrumentos, que recibirán la luz del telescopio. SUSI (Sunrise Ultraviolet Spectropolarimeter and Imager) es un espectropolarímetro ultravioleta de rendija que cubre la región, rica en líneas espectrales, en torno a los 300 nm. Ha sido desarrollado por el MPS con contribuciones de NAOJ (Tokio, Japón). SCIP (Sunrise Chromospheric Infrared spectra-Polarimeter) es un espectropolarímetro infrarrojo de rendija capaz de observar en dos regiones espectrales en torno a 768.5 y 851.5 nm. El instrumento ha sido desarrollado por NAOJ and S3CP (Spanish Space Solar Physics Consortium lidera-

do por IAA-CSIC) del que es miembro el IAC. Finalmente, TuMag (Tunable Magnetograph) es un nuevo magnetógrafo y tacógrafo, capaz de hacer imagen en los diferentes parámetros de Stokes de dos o tres líneas espectrales en el visible (Fe I @ 525.02 y 525.06 nm; y Mg Ib2 @ 517.3 nm. TuMag, que sustituye al antiguo IMAX del que hereda parte de la tecnología, es el primer magnetógrafo aeroespacial sintonizable. Está siendo desarrollado por S3PC.

Sunrise I estudió las regiones más en calma del Sol, pues tuvo lugar durante uno de los periodos de menor actividad solar. Sunrise II voló cerca del máximo de actividad, lo que permitió la observación de regiones activas. En este tercer vuelo, más que buscar una fase de actividad diferente, Sunrise III pretende cubrir un nicho científico difícilmente abordable desde tierra. La evolución temporal de la compleja y altamente magnetizada atmósfera solar, en un amplio rango de capas (Figura) y a una muy alta resolución espacial solo puede ser observada, bien por una misión espacial, que haya sido especialmente diseñada para ello o por Sunrise III, a mucho menor precio y riesgo. Todos los instrumentos a bordo de Sunrise III tendrán capacidad espectropolarimétrica y, por tanto, posibilitarán la medida de campos magnéticos. La fotosfera, cromosfera y la corona serán observadas simultáneamente con una precisión sin precedentes y durante largos periodos para poder estudiar así la evolución dinámica de las estructuras magnéticas. El telescopio de Sunrise tendrá 1 m de apertura por lo que no podrá competir en resolución con DKIST (el telescopio solar americano de 4 m de apertura que verá la Primera Luz a media-



Modelo de la atmósfera solar. La capa a 0 Mm corresponde a la fotosfera visible. En verde las capas observadas en las dos misiones previas de SUNRISE. En rosa -alta cromosfera, región de transición y capas profundas- las capas accesibles por los tres instrumentos de SUNRISE III.

dos del 2020), en la observación de pequeñas áreas sobre el Sol. Sin embargo, la resolución homogénea de Sunrise a través de la imagen completa no podrá ser alcanzada por DKIST y, lo que es más importante, la estabilidad temporal, que permitirá realizar estudios de evolución de las estructuras, sólo puede ser alcanzada fuera de los efectos perturbadores de la atmósfera terrestre. Adicionalmente, el acceso a la región UV del espectro, es otra característica distintiva de un observatorio a bordo de un globo estratosférico.

### Hitos

Entrega de nueva versión del firmware del frame grabber para el instrumento SCIP, incluyendo todas las funcionalidades requeridas para las primeras pruebas ópticas de SCIP.

Entrega de nueva versión del firmware de TUMAG, incluyendo todas las funcionalidades para los test "End to End" y primeras pruebas ópticas de TUMAG.

Publicación de la arquitectura firmware de TuMag.

Finalización de la primera versión operativa del código DeSIRe.

### Desarrollo y resultados

Los principales temas en los que se ha avanzado durante 2021 se relacionan a continuación.

Implementación, verificación y entrega de sucesivas actualizaciones del firmware (FW) del frame grabber para el instrumento SCIP de la misión Sunrise III. Este FW incluye las siguientes nuevas funcionalidades respecto al entregado en 2020: mejoras en la estabilidad del sistema; añadida la unidad de "bit-compresión" al datoducto.

Implementación, verificación y entrega de sucesivas actualizaciones del firmware del frame grabber para el instrumento TUMAG de la misión Sunrise III. Incluye todas las funcionalidades requeridas para hacer los test "End to End": adquisición de imágenes en modos de observación de vuelo y en modos de calibración.

Implementación de pruebas funcionales del núcleo de compresión de datos SHyLOC. Versión preliminar de la funcionalidad de compresión para el frame grabber de SCIP y TUMAG de la misión Sunrise III.

Implementación de un banco de pruebas en java script y Python para las pruebas térmicas de TuMag/SCIP. Este banco está formado por una librería, una tarjeta frame grabber coaxial comercial y un PC.

Análisis de los algoritmos y palabras para la calibración de canales del sensor.

Puesta en funcionamiento del código deSIRe para la síntesis e inversión de perfiles de los parámetros de Stokes en NLTE (no equilibrio termodinámico local):

- Implementación de la Distribución parcial.
- Implementación multilínea y multiátomo.
- Implementación de acoplamientos LS, jj y jk.
- Eliminación de fugas de memoria.
- Diseño y puesta en funcionamiento de macros python para la ejecución del código en paralelo.
- Redacción y envío de un artículo a Astronomy & Astrophysics.



## **LRS: ESTACION DE MEDICIÓN LÁSER (P/401900)**

Marcos Reyes García-Talavera.

**Colaboradores del IAC: Carlos Quintana González de Chaves y Miquel Serra Ricart.**

A. Kloth (DIGOS), c. Heese (ESA).

### **Introducción**

La Agencia Espacial Europea (ESA), en el marco del nuevo acuerdo con el IAC, está desarrollando su segunda instalación en el Observatorio del Teide (OT). La ELRS –ESA Laser Ranging Station es una estación de medición láser que se dedicará a la determinación precisa del alcance y la órbita de los satélites. Se trata de un observatorio astronómico, que consiste básicamente en un telescopio de 80 cm, un láser con funcionamiento óptico e infrarrojo, y un sistema de detección. El LRS podrá funcionar durante el día y la noche, y se podrá controlar de forma remota. El despliegue del ELRS se inició en mayo de 2021 en OT, en la actualidad se ha realizado su instalación y está en curso su puesta en funcionamiento.

Esta colaboración del IAC con ESA se materializa en un contrato, siendo el objeto de la participación del IAC: el diseño y la construcción de la infraestructura necesaria para la instalación y posterior operación de la ELRS, y la instalación de un Sistema de Control de Tráfico por Láser –LTCS- en el OT. El LTCS es un programa de software, que tiene como principal función evitar colisiones entre el haz del láser del ELRS y el campo de visión de otros telescopios astronómicos del OT. En la actualidad, el IAC no dispone de ninguna herramienta en el OT capaz de prevenir colisiones. Es por ello, que su instalación y puesta en servicio es esencial para preservar la calidad de las imágenes astronómicas del Observatorio.

### **Desarrollo y resultados**

La obra se adjudicó a principios de 2021, y a mediados de año se entregó al IAC con una ejecución satisfactoria.

En noviembre, el IAC adjudicó la contratación del servicio de ingeniería para la instalación y la puesta en servicio del software LTCS en el OT con un plazo de ejecución de 6 meses.

Además, de la adaptación y adecuación del LTCS a i) las condiciones geodésicas específicas del OT, ii) sus instalaciones telescópicas, iii) al equipamiento informático existente suministrado por el IAC, y iv) al ELRS. El 19 de no-

viembre de 2021 se llevó a cabo la reunión de “kick-off” con el contratista.





# ÁREA DE INSTRUMENTACIÓN



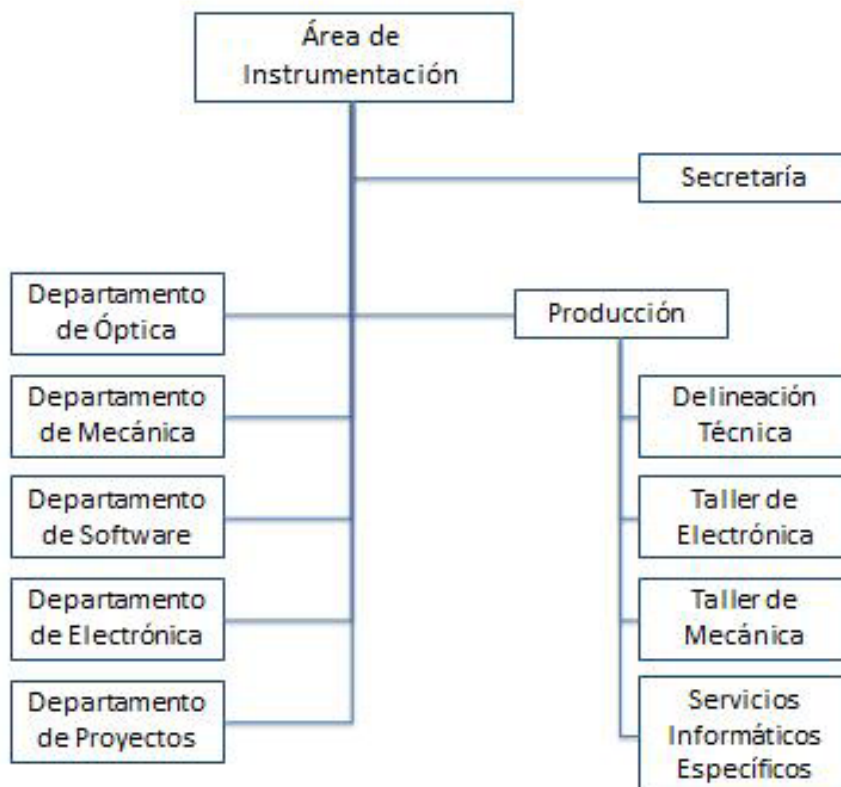
Corresponde al Área de Instrumentación dar apoyo tecnológico, mediante la elaboración y ejecución de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, para el cumplimiento de los objetivos del IAC.

El Área de Instrumentación se responsabiliza de:

- El desarrollo de nueva instrumentación para la observación astronómica.
- El mantenimiento de la instrumentación astronómica existente.
- La utilización de las capacidades tecnológicas en otros campos de la ciencia o de la técnica que favorezca el desarrollo del entorno.
- La capacitación de personal técnico.
- Generar y ceder tecnología.

Además de una Secretaría y un Coordinador, el Área de Instrumentación dispone de unos medios humanos y materiales estructurados en dos grupos: Ingeniería y Producción.

El grupo de Ingeniería se divide en cinco departamentos: Electrónica, Mecánica, Software, Óptica y Proyectos. La componen 65 titulados superiores de las diferentes especialidades de Ingeniería (Industrial, Telecomunicaciones, Informática, Aeronáutica) y de Ciencias (Físicas y Matemáticas). La sección de Producción la constituyen, con 1 titulado superior, 1 titulado medio y 11 técnicos; se estructura en: Taller de Mecánica y Delineación Técnica. Además está el Taller de Electrónica que depende del Departamento de Electrónica, compuesto por 1 titulado medio y 3 técnicos. Secretaría, compuesta por 1 persona.



# INGENIERÍA

Este documento es la Memoria anual de 2021, donde se resume la actividad de la Ingeniería del Área de Instrumentación del IAC. Además de una breve reseña de las actividades de cada uno de los cinco departamentos (Electrónica, Mecánica, Proyectos, Óptica y Software), se relacionan las acciones de formación, así como las incidencias y estadísticas del personal.

## DESGLOSE DE ACTIVIDADES

El siguiente gráfico (Gráfico I) muestra la distribución de la dedicación del tiempo de Ingeniería a las actividades durante 2021. Se han considerado cinco tipos de actividades: Dedicación a proyectos, Formación, Servicios, Desarrollos y Transferencia Tecnológica, y Organización y Gestión interna.

Como muestra el gráfico (Gráfico I), el 82,9% del tiempo de la Ingeniería se ha empleado en el trabajo directo en los proyectos. Del 17,1% restante, se ha dedicado un 12,1% a Organización y Gestión, apartado que incluye la gestión propia de los departamentos, el tiempo dedicado a los laboratorios, el estudio o realización de trabajos internos, la compra, recepción y puesta en marcha de equipos para los departamentos o laboratorios, la dedicación al Comité de Empresa, Comité de Seguridad y Salud, otros comités y grupos de trabajo, participación en tribunales de selección o la atención a visitas, etc.

La Formación ha supuesto un 12,3% del tiempo total de la Ingeniería. Este porcentaje incluye actividades formativas formales de carácter general, como cursos, congresos, ferias, pero no incluye la formación específica que se ad-

quiere durante el desarrollo de un proyecto instrumental.

El 0,7% se ha empleado en Servicios, donde se incluye principalmente el tiempo dedicado a la resolución de consultas técnicas, normalmente internas, y a la asistencia a Mantenimiento Instrumental. Finalmente, el tiempo dedicado a Desarrollos y Transferencia Tecnológica ha sido del 12,1%, e incluye principalmente la participación del personal de Ingeniería en proyectos de IACTec, en la dirección de tesis doctorales en el Área y en algunos pequeños proyectos de desarrollo tecnológico interno con potencialidad de comercialización, de uso en futuros instrumentos o en otros campos.

Respecto a los datos del año pasado, los números son bastante parecidos: La dedicación a los proyectos ha aumentado 1,1 puntos, probablemente debido al aumento del número de personas que trabajan en Ingeniería y, en contraposición, la dedicación a Organización y Gestión ha disminuido en 1,8 puntos, puesto que estas labores recaen más frecuentemente en el personal senior o los jefes de Departamento, que no han aumentado este año. El tiempo dedicado a consultas técnicas ha

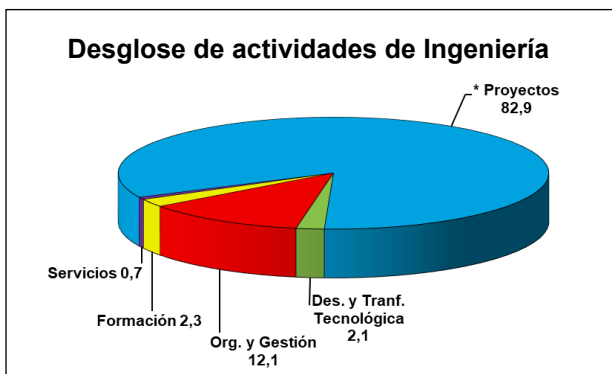


Gráfico I

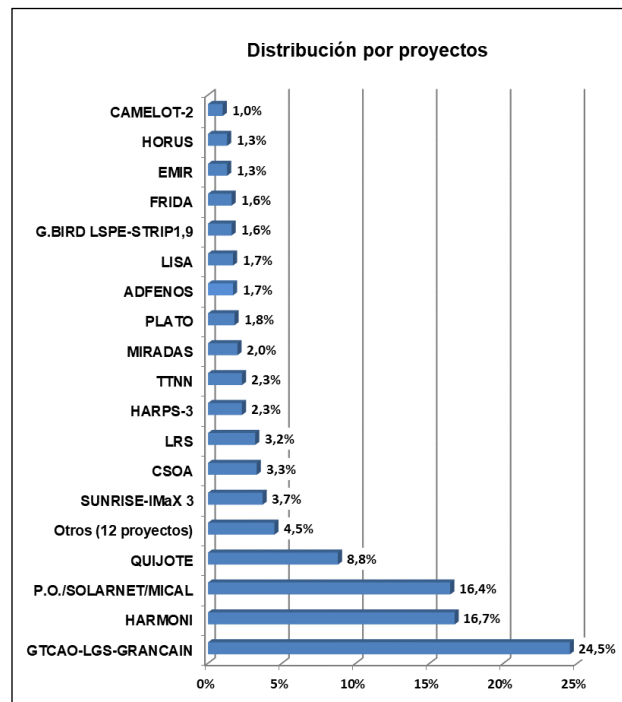


Gráfico II

disminuido ligeramente, 0,3 puntos, y el dedicado a Formación ha aumentado 0,4 puntos. Finalmente, el tiempo dedicado a Desarrollos y Transferencia Tecnológica ha aumentado un poco, 0,6 puntos, debido a una mayor participación de personal de Ingeniería en proyectos de IACTec, como NRT o micro satélites, principalmente.

En el siguiente gráfico (Gráfico II) se puede ver el reparto de tiempos entre los diferentes proyectos, con un total acumulado de casi de 79.000 horas de Ingeniería en 2021. Este número de horas dedicadas a Proyectos supone un incremento del 17,2% con respecto a 2020, debido al aumento de personal.

Se muestran individualmente los proyectos que ocupan más del 1% del tiempo total de dedicación de la Ingeniería, englobando los restantes en un único sector "Otros". Estos proyectos son proyectos o bien proyectos que

están empezando. Son doce en total y suponen un conjunto de 4,5% % de la ocupación.

Al igual que el año pasado, más de la mitad de la capacidad de la Ingeniería, el 57,6%, se ha dedicado a tres grandes proyectos: GTCOA (que incluye LGS y GRANCAIN), HARMONI y EST (englobando el trabajo realizado en los programas SOLARNET, MICAL y EST Project Office). El primero de ellos, GTCOA con una dedicación del 24,5% destaca frente a HARMONI (16,7%) y EST (16,4%). Por detrás de ellos, está QUIJOTE con una dedicación del 8,8% y, a continuación, se encuentra un grupo de 6 proyectos de tamaño intermedio con dedicaciones entre el 4% y el 2% (SUNRISE-3, CSOA, LRS, SOFT TTNN, HARPS-3 y MIRADAS). Finalmente, tenemos un grupo de 8 proyectos con dedicaciones entre el 2% y el 1%, y otro grupo de proyectos muy pequeños, o que están empezando su actividad, que engloba a 12

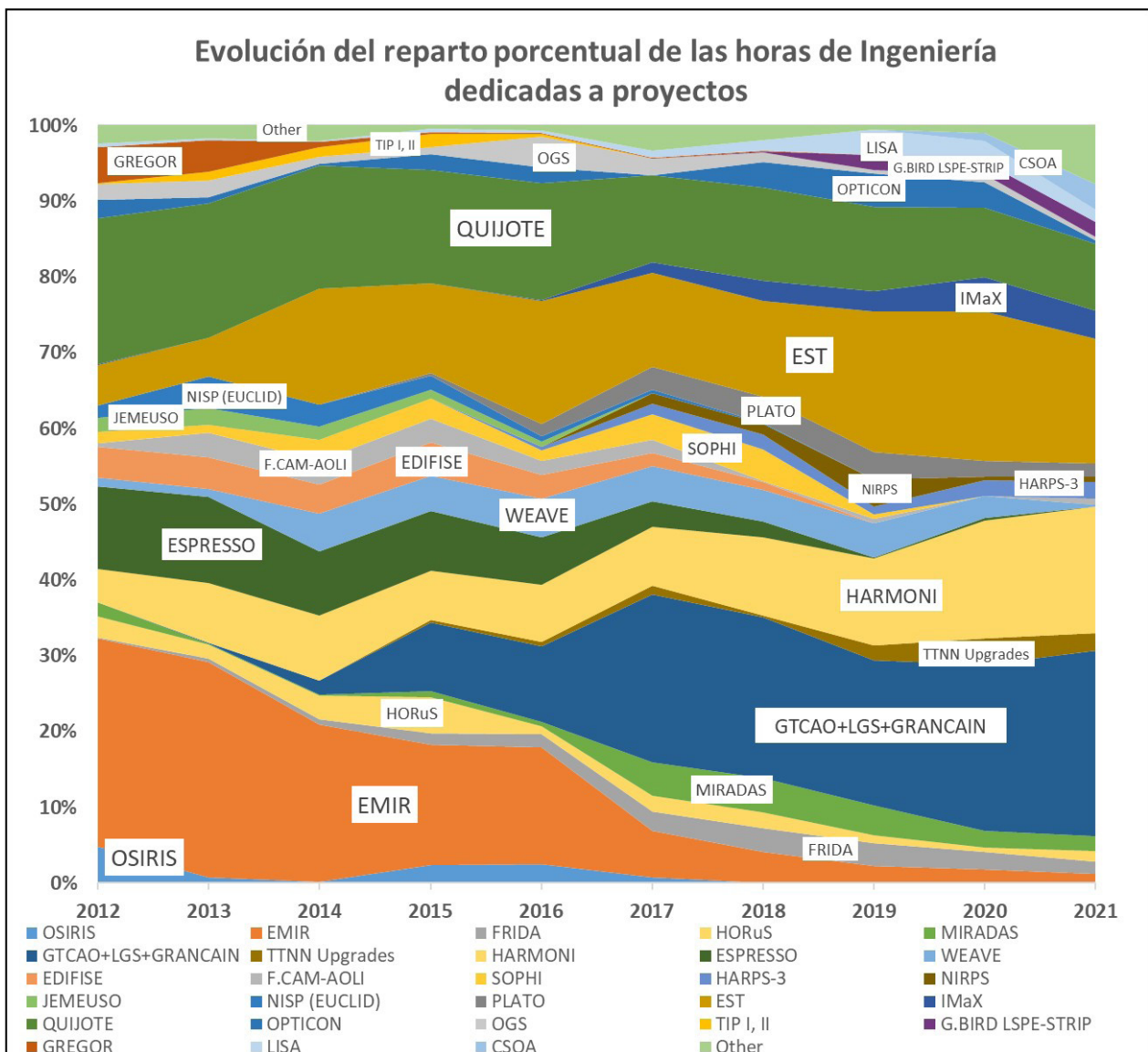


Gráfico III



proyectos con dedicaciones por debajo del 1% del tiempo total de la Ingeniería.

Comparando con los datos del año pasado, de los proyectos grandes hay que destacar el aumento de GTCAO (2,6 puntos) y HARMONI (1,2 puntos), aumento porcentual no muy grande, pero muy significativo en horas (casi 5.000 horas en el caso de GTCAO y 3.000 en el caso de HARMONI). El Proyecto EST ha mantenido el número de horas dedicadas del año pasado pero porcentualmente supone una disminución de 3,3 puntos, debido al aumento total de horas en Ingeniería que se ha producido este año. Del resto de proyectos, podemos destacar el comienzo de CSOA y LRS, y la finalización de WEAVE y OPTICON, que este año ya han quedado englobados en "Otros" por su pequeña actividad.

El empleo del tiempo en Ingeniería puede verse también desde una perspectiva plurianual. El siguiente gráfico muestra la evolución de la dedicación normalizada a los diversos proyectos desde el año 2012.

El gráfico (Gráfico III) muestra claramente la disminución progresiva de las horas dedicadas a EMIR y a ESPRESSO y el crecimiento de GTCAO, HARMONI y EST. Con valores de dedicación más bajos, también se aprecia el crecimiento en los últimos años de MIRADAS, FRIDA, OPTICON, SUNRISE-IMaX 3, SOFT TTNN Upgrade y PLATO, y la disminución de SOPHI, NIRPS, EDIFISE, WEAVE, OPTICON y FAST-CAM-AOLI.

La siguiente tabla muestra, esquemáticamente, la dedicación de todos los ingenieros que han pasado por la Ingeniería durante 2021. El tono más oscuro de la casilla indica un mayor número de horas dedicadas a ese proyecto. En la mayor parte de los casos la gestión de los proyectos recae en el personal del Departamento de Proyectos, pero en algunas ocasiones otro personal de Ingeniería realiza esta gestión. La columna "Puesto" indica H=Jefe de Departamento, S=Ing. Senior, F=Ing. Fijo, y T=Ing. Temporal, situación laboral a finales de 2021.

Participación de Ingeniería en los proyectos (2021)			Proyectos																				Actividad departamento/Área											
			EMIR	MIRADAS	FRIDA	GTCOA-LGS-GRANCAIN	HORuS	EST/SOLARNET...	QUIJOTE	HARMONI	WEAVE	PLATO	SUNRISE IMAx-3	HARPS3	ANDES (HIRES)	NIRPS	LRs	NRT	MICROSAT	G.BIRD LSPE-STRIP	DALI (PoP)	MUSOL		OPTICON H2020	AOL/FASTCAM	LITEBIRD	CSOA	LISA	ADFEMOS	CAMELOT2	OGS	TTNN CTRL UPGRADE		
Dep. Proyectos	M. Reyes	H																																
	J. Patrón	S																																
	J.M. Herreros	S																																
	L. Calero	S																																
	M. Amate	S																																
	M. Barreto	S																																
	V. González	S																																
	A. Alonso	F																																
	A. Pérez	F																																
	J.M. Delgado	F																																
J. Vaz	T																																	
Dep. Electrónica	L. F. Rodríguez	H																																
	E. Joven	S																																
	J.J. Díaz	S																																
	R. Hoyland	S																																
	T. A. Viera	S																																
	H. Chulani	F																																
	J.M. Delgado	F																																
	M.A. Núñez	F																																
	O.M. Tubio	F																																
	Y. Martín	F																																
	A. Hernández	T																																
	C.A. López	T																																
	D. Hernández	T																																
	G.C. Delgado	T																																
	H. García	T																																
H. Rodríguez	T																																	
J. Villa	T																																	
S. Menéndez	T																																	
Dep. Mecánica	J. Calvo	H																																
	E. Hernández	S																																
	F. Tenegi	S																																
	A. Mato	F																																
	A. Vega	F																																
	J. Peñate	F																																
	P. Fernández	F																																
	A. Hernández	T																																
	A. Zamora	T																																
	A.A. Luján	T																																
	A.F. Moreno	T																																
	E.D. González	T																																
	H. Lorenzo	T																																
	J. Bienes	T																																
P.A. Fuerte	T																																	
R.M.L. Simoes	T																																	
Dep. Óptica	J. L. Rasilla	H																																
	A.B. Fragoso	S																																
	J. Sánchez-C.	S																																
	R. López	S																																
	I. Montilla	F																																
	L. Montoya	F																																
	M. Insausti	F																																
	M. Puga	F																																
	F. Gracia	T																																
	M. A. Cagigas	T																																
S. Regalado	T																																	
V. Cantó	T																																	
Dep. Software	C. Martín	H																																
	E. Páez	S																																
	H. Moreno	S																																
	M. Aguiar	S																																
	Mª F. Gómez	S																																
	P. López	S																																
	J. Marco	F																																
	J. Rosich	F																																
	A. Prieto	T																																
	F. J. Hernández	T																																
	J. Bru	T																																
	J. Quintero	T																																
	J. Vaz	T																																
M. Luis	T																																	
Y. Rajaeitabrizi	T																																	

## ACTIVIDAD DEPARTAMENTAL Y MEJORA DE LAS CAPACIDADES

### DEPARTAMENTOS Y LABORATORIOS

A continuación se menciona brevemente la actividad departamental en los proyectos del Área y algunas de las mejoras al equipamiento de los laboratorios y capacidades.

#### Departamento de Electrónica

En 2021 el Departamento de Electrónica continuó sus actividades trabajando presencialmente y en teletrabajo, debido a la situación de pandemia. Por COVID-19. Algunas actividades fueron esencialmente presenciales como las relacionadas con GTC-CAO-LGS y el Laboratorio de Detectores LISA.

En este año se consolidó la actividad de Microelectrónica, se completó la dotación de las infraestructuras involucradas, especialmente la estación de puntas y la estación de "bonding", y con la participación activa de alumnos de prácticas y de becarios de verano. También se adquirió el mobiliario adecuado para los equipos, habiéndose iniciado las actividades para la instalación de una zona limpia.

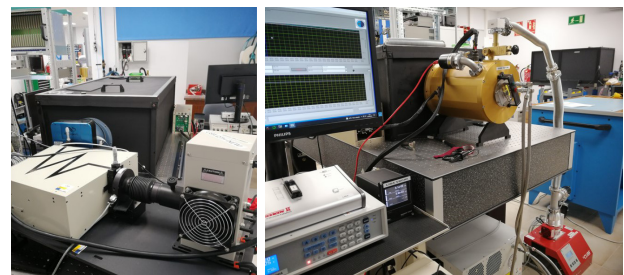
El Laboratorio de Detectores LISA (Laboratorio de Imagen y Sensores de Astronomía) es una infraestructura del IAC para la caracterización, integración y realización de desarrollos relacionados con los sensores y cámaras de uso en telescopios. Desde 2018 cuenta con personalidad propia como laboratorio en una instalación nueva. LISA da soporte a proyectos internos de instrumentación del IAC y a colaboraciones con otras instituciones astrofísicas (y empresas) bajo petición.

Durante el año 2021 se han llevado a cabo un buen número de actividades, entre las que caben destacar:

- Adquisición y puesta en marcha de nueva instrumentación como consecuencia del Fondo FEDER en 2019 (nº = EQC2019-006548-P) "Equipamiento infraestructura LISA": Filtros SWIR, monocromador Newport para medidas de alta resolución de eficiencia cuántica, diodos APD, ruedas criogénicas para filtros de 2 pulgadas, implementación de autómatas de control del banco infrarrojo, reubicación de los sistemas de refrigeración para compresores de Helio, etc.
- Adquisición y puesta a punto de un criostato para detectores en el rango visible (Infrared Laboratories) basado en un sistema Cryotiger

NF-50, con temperatura mínima de 120 K. Con este sistema se han caracterizado los dos nuevos CCDs para la renovación del instrumento OSIRIS del telescopio GTC.

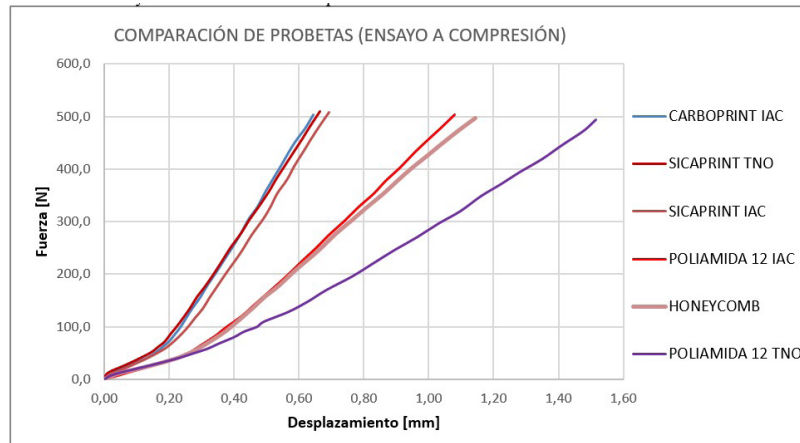
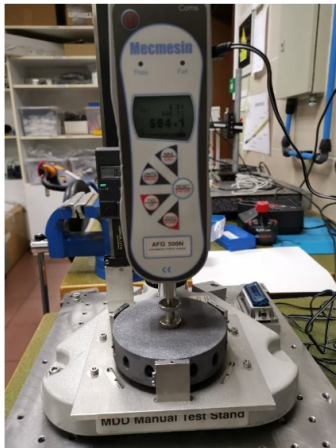
- Automatización del control y adquisición de datos en el rango visible, incluyendo rutinas de procesado de uso común (Python).
- Desarrollo de un prototipo para detectores en el rango visible de un criostato con enfriamiento termoeléctrico, alcanzando una temperatura por debajo de  $-80^{\circ}\text{C}$ .
- Caracterización de nuevas cámaras sCMOS, "back illuminated", modelos de las empresas FLI, Andor, Hamamatsu y QHY, en el ámbito de distintos proyectos del IAC.
- Dedicación prioritaria a la caracterización y diseño del sistema de control de los nuevos detectores en la instrumentación de GTC: EMIR, FRIDA y OSIRIS (Proyecto ADFEMOS).
- Estudio de la adaptación del criostato infrarrojo al radiómetro para la posible detección de axiones del Proyecto DALI.
- Adquisición mediante licitación de un criostato de test basado en sistema de refrigeración PTC (Pulse Tube Cooling) y ADR (Adiabatic Demagnetization Refrigerator) para detectores mKIDS (Microwave Kinetic Inductance Detectors) superconductores, con temperatura de trabajo estabilizada por debajo de 100 mK. Adquisición de la electrónica de control asociada (VNA, otros) en el tratamiento de la señal de los mKIDS (en fase de recepción).



Vistas de parte del equipamiento de LISA.

#### Departamento de Mecánica

En 2021, la principal tarea realizada en el ámbito del Programa OPTICON se ha centrado en llevar a cabo los ensayos de las probetas (carboprint, sicaprint y poliamida) para la caracterización de su comportamiento, así como el modelado de dichos ensayos empleando métodos convencionales y el del continuo equivalente, a fin de comparar la fidelidad y validez de los resultados obtenidos. También se ha recibido una tanda de probetas metálicas que presentan ciertos defectos sobre los que se está trabajando con idea de dejarlas opera-



En la imagen puede verse el banco de pruebas para el ensayo de compresión (izquierda) y gráfica representativa de algunos de los resultados del mismo (derecha).

tivas de cara a la realización del mismo tipo de ensayos y modelado.

De cara al cierre del Proyecto H2020 a finales de junio, se reportó y documentó todo el trabajo realizado, contribuyendo en la elaboración de un "Cookbook" para el establecimiento de una praxis correcta en el diseño y fabricación de piezas que operarán en instrumentos astronómicos.

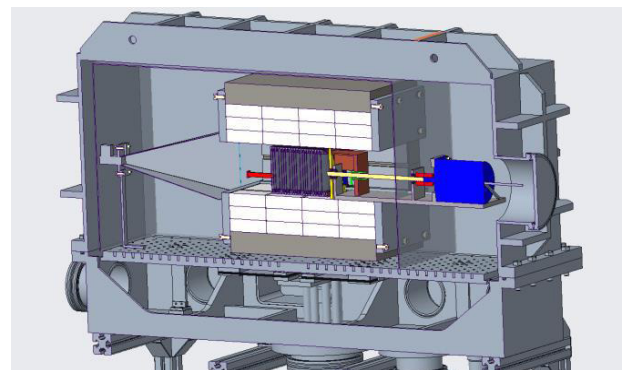
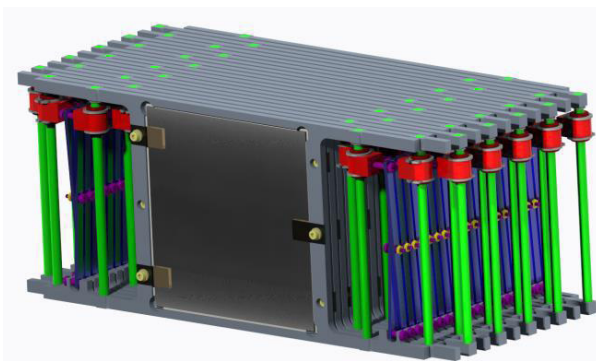
En el Proyecto DALI(PoP) se ha trabajado principalmente en el diseño mecánico del resonador Fabry-Perot, el sistema de transmisión de movimiento, el método de montaje de los imanes de Neodimio y en su integración dentro del criostato LISA.

El resonador consiste en 21 platos de aluminio que se deben mover de manera equidistante entre 4 y 7 mm con una precisión de 10  $\mu\text{m}$ . Para la realización de este movimiento se ha diseñado un sistema de tijera que, debido a la escasez de espacio y la imposibilidad de encontrar elementos comerciales que satisfagan los requerimientos, se ha desarrollado en 4 platos diferentes, consiguiendo la cohesión de todos los elementos mecánicos en un espacio reducido y un margen entre cada plato (en la posición más restrictiva) de 1,73 mm.

Tras la caracterización del resonador se ha trabajado en el sistema de transmisión de movimiento. Este consistirá en un motor paso a paso de Phytron, un tornillo sinfín y una interfaz de acoplamiento con el último plato del resonador. Por otro lado, aún se está estudiando cómo transmitir el movimiento independiente de un elemento magnético para romper el campo, pues las opciones anteriores diseñadas no consiguen un descenso del campo magnético suficiente. Por último, se ha trabajado en ideas para el método de montaje de los imanes y en la integración de todo el criostato.

En HARMONI se realizaron las pruebas de aceptación en fábrica del criostato de pruebas para la Pre-óptica, que resultaron satisfactorias. Se decepcionó el criostato y se realizaron las pruebas de aceptación en el IAC, resultando también satisfactorias. Estos últimos meses, se ha estado poniendo a punto, instalando equipos de vacío y criogenia y generando el sistema de control para operarlo.

Respecto a la Pre-óptica, se ha completado el diseño detallado del subsistema y se ha generado la documentación necesaria para la Revisión Crítica del Diseño. La documentación principal presentada incluía la matriz de



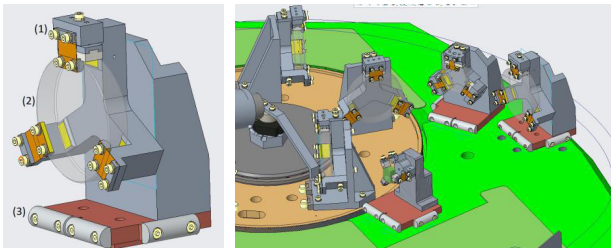
La imagen de la izquierda muestra el resonador Fabry-Perot y la de la derecha el conjunto DALI(PoP) en el criostato de LISA.





cumplimiento de las especificaciones, el documento de diseño y análisis (el cual contiene toda la información de los diseños mecánico, óptico, electrónico y de control), el plan de MAIT, el estudio de fiabilidad, los planos de cada subconjunto y el Bill of Materials. Aparte se presentaron otros documentos auxiliares como los informes de pruebas de los prototipos y el de la rueda de máscaras, donde se cambió el concepto de sistema retén y se demostró que cumplía con los valores de repetitividad requeridos.

Tras la revisión CDR se ha empleado el resto del año en mejorar los diseños de la optomecánica y mecanismos, fabricando prototipos de concepto y, a su vez, generando los planos de fabricación definitivos de cada componente.

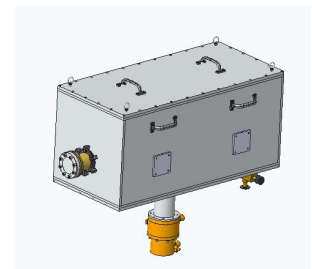
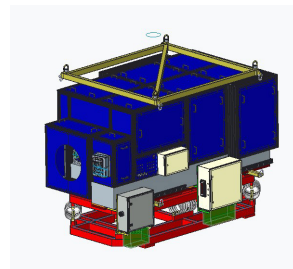


Se han comprobado y corregido los cálculos teóricos de los diseños de sus 30 monturas y analizado las distintas configuraciones de agarre para las piezas de teflón. Se han diseñado las carcasas que se van a usar como protección de los espejos, y se han modificado las piezas de sacrificio de la base de las monturas añadiendo pines de posicionado para aumentar la precisión en el montaje final. Aunque no es parte de las monturas, se realizaron mejoras a los filtros del Filter Wheel Module (FWM).

Para el diseño final de los espejos toroidales, se ha requerido profundizar en el estudio de las uniones pegadas Zerodur-Invar en criogenia, y se está llevando a cabo una investigación sobre adhesivos y revisando documentos y archivos sobre los pegados usados en otros

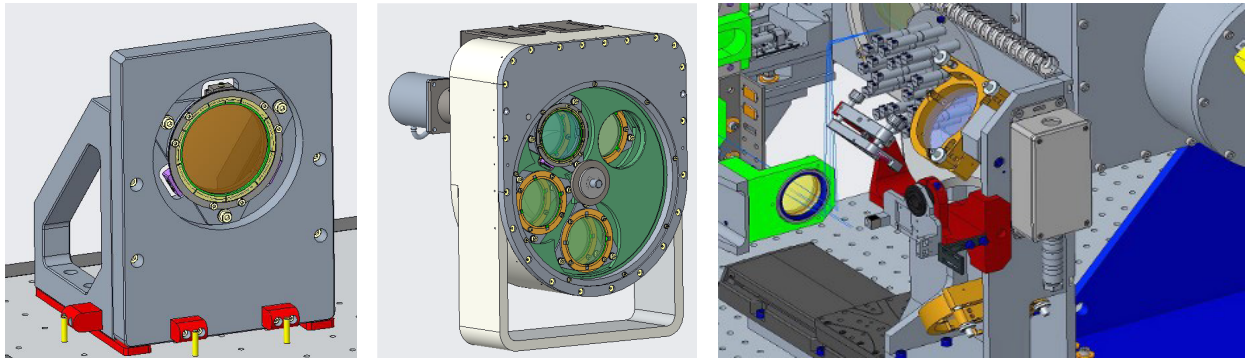
instrumentos. Se han realizado dos test de pegado, uno de torsión y varios de resistencia de los *flexures*. El objetivo final es conseguir una metodología de trabajo para el pegado en criogenia y adquirir un conocimiento que se pueda aplicar a futuros proyectos.

En GTCOA se han desarrollado pruebas de verificación y se han finalizado las instalaciones auxiliares y complementarias necesarias para la integración del sistema en el GTC, tales como el diseño del carenado, el diseño de unas plataformas auxiliares anexas al banco y el desarrollo del sistema de aire comprimido y de agua de refrigeración. También se ha trabajado en el desarrollo de los útiles de izado y amortiguación, así como en los procedimientos para transportar todo el sistema. Actualmente sendos útiles se encuentran en fase de fabricación.



En el área de Estrella Guía Láser se ha avanzado en tres áreas principales, el sistema de transferencia, el telescopio de lanzamiento y el sensor de frente de onda. En cuanto al sistema de transferencia, se han definido los interfaces entre sus diferentes subsistemas, se ha comenzado con el diseño preliminar, y se ha actualizado el modelo térmico analítico. En lo relacionado con el telescopio de lanzamiento, se ha concluido la revisión final de diseño, incluyendo el cierre de los diseños mecánico y óptico, el análisis de tolerancias y el plan de pruebas preliminar. Finalmente, respecto al sensor de frente de onda, se ha realizado el análisis opto-mecánico de la unidad del dicroi-





co con el fin de poder establecer los parámetros necesarios para la fabricación del elemento óptico.

En el área de Estrella Guía Natural se ha incorporado el mecanismo que permite cambiar el foco de la fuente de calibración del sistema. También se ha realizado el análisis de los requerimientos y procedimientos necesarios para poder fabricar un espejo parabólico de recambio, necesario para poder sustituir los espejos actuales de cara al mantenimiento de sus recubrimientos. Y se han actualizado los modelos 3D del sistema para incluir la última información de metrología sobre la posición de los focos de entrada y salida de cara al desarrollo del futuro plan de integración en el telescopio GTC.

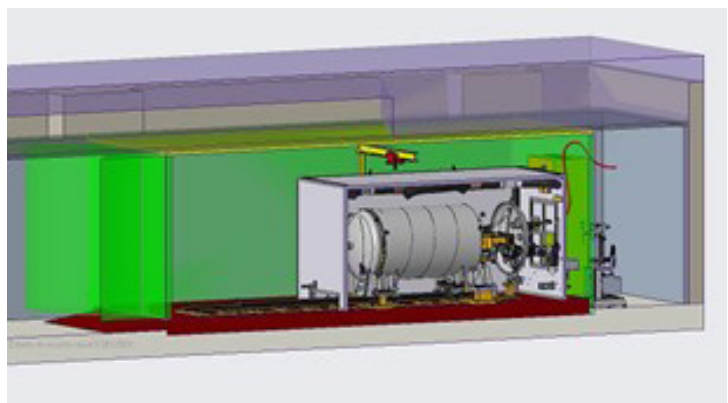
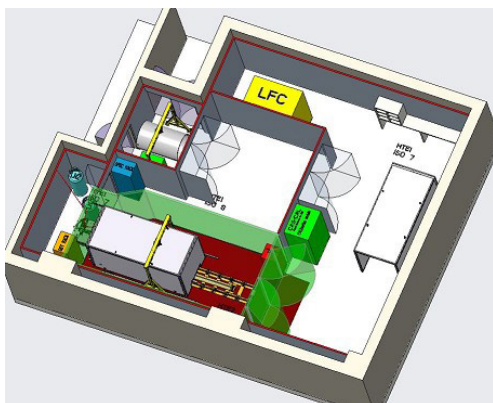
Respecto al desarrollo del instrumento GRANCAIN, basado en un detector MCT de 2k x 2k infrarrojo ya existente y que servirá como instrumento de primera luz de la Óptica Adaptativa del telescopio GTC a espera que FRIDA pueda ser instalado en la plataforma Nasmyth B del telescopio, se ha desarrollado el criostato, estando en fase de fabricación y aceptación. También se ha trabajado en el diseño de las monturas de las lentes cámara – colimador, en las dos ruedas de filtros, una pupila, el soporte para la *fan-out* del detector y un sistema de apantallamiento para el haz óptico.

En el Proyecto QUIJOTE las tareas realizadas en el TFGI estuvieron relacionadas con modificaciones en el instrumento, ajustes en la es-

tructura del calibrador y su puesta en marcha. Respecto al instrumento MF12 se realizó la validación de la metrología de los adaptadores de microondas, se alodiaron las piezas de los *horns*, que van a temperatura ambiente, y se diseñaron piezas y el cableado criogénico. En el telescopio TMS se hizo el seguimiento y cierre del diseño del telescopio. Se comprobaron y verificaron las distintas versiones de CDR entregadas por la empresa IDOM, se hizo el seguimiento de la obra de cimentación y se solucionó el problema de viñeteo TMS – STRIP. Respecto a los telescopios, se realizaron tareas de mantenimiento, se reparó la junta rotatoria del telescopio 2, se desmontó la junta rotatoria del telescopio 1 para su reparación y se diseñó la estructura de soporte para esta junta.

En HORuS se finalizó el diseño del sistema que permitirá instalar el brazo de adquisición en el banco de GTC/O cuando sea instalado en la plataforma Nasmyth B. Y también se diseñó un nuevo cerramiento para el banco óptico, para que sea más rígido, aislante térmico y operativo que el actual.

En HARPS3, se realizó la documentación para una consulta preliminar de mercado del coste y características de los equipos y materiales que tendrá la sala blanca. Se realizó una presentación para el consorcio con los ítems que se han ejecutado y los que se pretenden llevar a cabo. Se comenzó a definir la ubicación de las unidades climatizadoras y se inició la



preparación de la documentación para la FDR que será a principios de 2022.

Respecto al Proyecto MUSOL, se realizaron actuaciones para la definición de las interfaces y componentes del polarímetro y de la cúpula.

En ADFEMOS se ha realizado un prototipo de pruebas para validar, con resultados satisfactorios, la viabilidad de pasar directamente un cable flexible a través de la brida de un criostato, sin necesidad de utilizar conector, realizando el sellado utilizando pegamentos epoxi. También se realizó el diseño de todos los componentes necesarios para la caracterización de los nuevos detectores infrarrojos.

En GRIS se ha dado soporte y asesoramiento de forma continuada al responsable mecánico de este instrumento. Además, se ha participado de forma presencial en la instalación de la nueva montura de la red de difracción, diseñada en el departamento hace unos años.

En EST el principal cometido ha sido el seguimiento del contrato del diseño preliminar del espejo primario. De las 3 fases del Proyecto, se ha finalizado la primera en la que se realizaron estudios comparativos de diversas tecnologías y configuraciones para definir el concepto de partida. En la segunda fase, que todavía no se ha terminado, se ha evolucionado en el diseño del subsistema, así como de los prototipos que se usarán para la validación de requisitos. Además, también se han realizado varias actualizaciones de las especificaciones, se ha participado de forma intensiva en tareas de ingeniería de sistemas, tales como gestión de interfaces, seguimiento, presupuestos de error, y se ha participado en la toma de decisiones de alto nivel y apoyo a otros subsistemas (estructura del telescopio, espejo secundario, óptica activa y *heat rejecter*).

### Departamento de Óptica

La mayor actividad del Departamento de Óptica durante el año 2021 se produjo en los proyectos SOLARNET/EST, HARMONI y GT-CAO-LGS y también se ha realizado un importante esfuerzo en el nuevo Centro de Sistemas Ópticos Avanzados (CSOA).

El Proyecto SOLARNET/EST siguió su etapa de expansión y desarrollo, incorporando nuevos ingenieros tanto el Departamento como en la Oficina de Proyecto. Las actividades que desarrollan los miembros del Departamento son el diseño óptico del telescopio y la integración y pruebas de los elementos que conformarán el banco de pruebas del sistema de Óptica Adaptativa multiconjugada para objetos extensos que se está desarrollando en el IAC.

También, se ha continuado con el desarrollo de una nueva unidad de campo integral que será instalada en el espectrógrafo del telescopio GREGOR y que servirá como prototipo para la futura instrumentación de EST.

En el Proyecto GTCAO-LGS, las tareas de los miembros del Departamento se han enfocado en el desarrollo del sistema de estrella láser guía (LGS), tanto en el diseño y seguimiento de la fabricación del sistema de lanzamiento del láser, como en el desarrollo del sensor de frente de onda específico de este sistema.

Otro proyecto que también ha consumido una parte importante del tiempo del personal del Departamento ha sido el desarrollo de la pre-óptica de HARMONI, instrumento de Primera Luz de E-ELT. Este año se ha continuado trabajando en diferentes aspectos del diseño óptico del sistema, así como en el análisis de luz difusa, y se ha dado un gran impulso al desarrollo del plan de integración del sistema.

En 2021 se consolidó el proyecto del nuevo Centro de Sistemas Ópticos Avanzados (CSOA), que se está desarrollando en el IAC, y que dotará de la capacidad de producir y probar elementos ópticos de alta calidad para los futuros telescopios y su instrumentación. Durante este año se contrató el sistema de recubrimientos formado por dos cámaras, una basada en un cañón de electrones y otra basada en un sistema de *sputtering*. Este sistema ya se encuentra en el IAC. Así mismo, se licitó y contrató un conjunto de elementos (interferómetro, perfilómetro y escáner 3D) de los cuales, el escáner 3D ya ha sido recibido y los otros dos se espera recibirlos durante los primeros meses de 2022. Por otro lado, se han licitado y adjudicado el siguiente conjunto de máquinas de fabricación óptica:

- Pulidora para sustratos con diámetros hasta 1.5 m
- Pulidora para sustratos con diámetros hasta 0.5 m
- Generadora para sustratos con diámetros hasta 0.5 m
- Cortadora para sustratos con diámetros hasta 0.5 m

Otros proyectos que también han requerido una fracción importante del tiempo de ingeniería del Departamento han sido: NRT (New Robotic Telescope), un telescopio robótico de cuatro metros de diámetro que será instalado en el ORM y donde se ha dado soporte en el análisis del diseño óptico del telescopio; y NIRPS, el espectrógrafo de alta resolución y ultra estabilidad para el rango infrarrojo del

espectro y que será instalado en el telescopio de 3.6 m del Observatorio de la Silla (Chile). En NIRPS se realizó la integración del subsistema Fiber Link en el telescopio.

De la inversión en el Laboratorio de Óptica durante 2021 cabe destacar la adquisición de un esferómetro para medir radios de curvatura de elementos ópticos. Además, se ha licitado y contratado un nuevo interferómetro de alta resolución y con gran tolerancia a las vibraciones.

De nuevo, el Laboratorio de Óptica y su equipamiento fue requerido por parte de distintos proyectos internos del IAC como de instituciones externas como GRANTECAN S.A. y la Universidad de La Laguna, siendo el interferómetro Zygo, y el espectrofotómetro Cary-5000 los equipamientos más utilizados.

Dentro del Laboratorio de Fibras se sigue generando y puliendo un espejo de 400 mm de diámetro que será un prototipo de espejo primario de un telescopio de dicho tamaño.

### Departamento de Software

En 2021, siguiendo con la tendencia de años anteriores, la principal actividad del Departamento ha sido el desarrollo de software para instrumentos del telescopio GTC. En concreto, el 50,8% del tiempo dedicado a proyectos se ha empleado en los instrumentos GTC (26,5%), MIRADAS (9,9%), FRIDA (7,4%), EMIR (5,9%) y HORuS (1,1%), todos para el telescopio GTC. Este valor del 50,8% dedicado a proyectos para el telescopio GTC es 5,4 puntos inferior al año pasado, pero no corresponde a un número inferior de horas, ya que la dedicación de los ingenieros asignados a proyectos para GTC no ha cambiado. Se debe a que ha entrado nuevo personal al Departamento para participar en otros proyectos, y esto ha provocado que la proporción relativa de los proyectos para el telescopio GTC haya bajado.

Por detrás de este conjunto, están SOFT TTNN Upgrade (10,7%), EST (10,0%), el nuevo proyecto que empezó a primeros de año, LRS (9,4%), SUNRISE-3 (8,8%), QUIJOTE (5,5%), y CAMELOT2 (4,9%).

Los trabajos en EMIR terminaron este año para el Departamento. Hace tiempo que el instrumento se encuentra funcionando en el telescopio GTC, pero en software se había seguido trabajando en la parte espectroscópica, mejorando algunos aspectos generales o corrigiendo pequeños errores que redundaran en una mayor robustez y facilidad de observación. Durante este año se ha reestructurado en parte y se ha ordenado y limpiado el código

frente, transfiriéndose a GRANTECAN S.A. para su uso y mantenimiento posterior.

MIRADAS es un instrumento liderado por la Univ. de Florida (EEUU) y donde el Departamento es el responsable del software de control. Se encuentra en fase de integración y han empezado las pruebas en frío de los componentes. El software de alto nivel ya se ha podido probar en su totalidad en modo simulado, y este año se ha dado soporte a las pruebas de integración y se han hecho algunas modificaciones ante cambios en algunos componentes.

El instrumento FRIDA está diseñado para usar el sistema de Óptica Adaptativa del telescopio GTC, GTCOA, que se está desarrollando en paralelo. El Departamento de Software es el encargado del software de control de alto nivel y, este año, estaba prevista la contratación de un ingeniero que diera el empuje final al software. Lamentablemente, esto no ha sido posible por problemas en la contratación. El avance, por tanto, ha sido menor, pero se ha trabajado en el panel gráfico de estados del sistema y en las modificaciones necesarias a bajo nivel para adaptarnos al nuevo detector infrarrojo que equipará al instrumento.

El instrumento HORuS se encuentra a disposición de la comunidad desde abril de 2019. No obstante, este año ha habido problemas de vacío (criogenia) y también en el detector de la cámara, por lo que, desde el punto de vista del software, la participación ha consistido principalmente en dar apoyo a las pruebas y observaciones para la identificación y solución de los problemas detectados.

En el proyecto de Óptica Adaptativa para el telescopio GTC, GTCOA-LGS, se ha seguido trabajando intensamente. El instrumento está en fase de integración y desde el punto de vista del software además de continuar con el desarrollo de los componentes de control, se ha dado un gran apoyo a las tareas de integración y pruebas del sistema. Se ha trabajado en la integración del software de la TestCam y del RTCS en el sistema de control del telescopio GTC; en el control de M2 de GTC desde el RTCS, dentro del bucle de control de OA; y en los paneles gráficos del instrumento, principalmente. También se ha actualizado la documentación de diseño.

Este año, en aspectos de software de QUIJOTE, se ha trabajado en el nuevo sistema de control del instrumento MF12 y TMS, cuyo DAS está basado en el sistema desarrollado por la Univ. Politécnica de Cartagena y que utiliza FPGAs a bajo nivel. Sin embargo, también se

ha trabajado en la adaptación del sistema de adquisición del MFI al MFI2 para tener una versión básica funcionando hasta que el nuevo DAS esté disponible. Por otro lado, se ha dado soporte a la instalación del instrumento TFGI en el telescopio 2 de QUIJOTE, generando los manuales para los TOT's y, finalmente, también se realizó un contrapesado del telescopio y se creó un nuevo modo sencillo de operación (con telescopio parado) para permitir automatizar la observación.

En SUNRISE-3, la participación del Departamento está enfocada en el paquete de reducción de datos científicos, donde se trata de adaptar y optimizar los códigos de reducción independientes existentes, normalmente escritos en C y Fortran, e integrarlos en un sólo programa más eficiente, al mismo tiempo que se está integrando y optimizando un nuevo paquete de síntesis que completa el conjunto. Este año, el esfuerzo se ha centrado en la recalibración de la emisión del continuo, en corregir las fugas de memoria de los módulos y en introducir en la aplicación el modelado de los acoplamientos cuánticos, principalmente.

En las actividades asociadas al futuro telescopio EST, se ha seguido trabajando en la adaptación del software de Polarímetros, en funcionamiento en el espectrógrafo del telescopio GREGOR, para utilizar varias cámaras en paralelo y procesar, acumular y guardar las imágenes. Y, por otra parte, se ha trabajado en el prototipo del sistema de Óptica Adaptativa multiconjugada, MCAO, adaptando el paquete de control DARC, también utilizado en GTCO-LGS para el control en tiempo real del bucle de control que lee las cámaras y comanda el espejo deformable. Se recibieron nuevas cámaras y *frame-grabbers* y se trabajó en el control de las ruedas de filtros y en la comunicación con la caja de sincronismos. Por otro lado, se ha empezado a participar con la Oficina de Proyecto de EST en el estudio de los requerimientos del sistema de control del telescopio, así como en la propuesta de diseño, donde se están analizando las soluciones adoptadas por otros telescopios como GTC, GMT y NRT.

En el proyecto del nuevo sistema de control de los telescopios nocturnos (TTNN), este año se ha trabajado en el desarrollo de los componentes y en la puesta a punto de los servidores y *PortServers*. En concreto, se ha trabajado en los módulos coordinadores del movimiento de la cúpula y de telescopio, en el módulo coordinador de la ventana, la apertura de la compuerta y en lectura de la estación meteorológica. También se ha trabajado en los no-

dos del sistema de notificaciones y en el que gestiona las comunicaciones serie. Sobre el armario electrónico de pruebas del proyecto, donde se han instalado varios componentes de control representativos del sistema final, se ha iniciado la configuración y programación de los PLC y varias tarjetas de I/O, sensores y motores. Finalmente, también se ha empezado con el módulo de control del foco y el de los pétalos que cubren el espejo primario del telescopio IAC-80.

En relación con los TTNN, aunque un poco al margen del desarrollo del nuevo sistema de control, este año se ha dado un gran apoyo a Mantenimiento Instrumental en las actuaciones emprendidas para resolver los problemas mecánicos de la cúpula del telescopio TCS. Las reparaciones de emergencia realizadas, que modificaron el control de la cúpula, ventana y compuerta, requirieron bastantes horas de soporte y la modificación del sistema de control actualmente en marcha en el telescopio. Algunos problemas mecánicos persisten y también se modificó el programa de control para minimizar el posible viñeteo de la cúpula.

En CAMELOT2, el proyecto de software que consiste en actualizar el sistema de control del instrumento CAMELOT2 que se encuentra operativo en el telescopio IAC-80, se interrumpió el trabajo en el mes de marzo, con la ida del ingeniero que estaba a cargo de este proyecto y sólo se pudo reanudar en el mes de agosto con la llegada de un nuevo ingeniero. Desde entonces, el trabajo realizado ha consistido inicialmente en familiarizarse con el software existente, estudiar la documentación y manejar Visual Studio y C#, para, posteriormente, empezar a corregir los problemas existentes con los *threads* y las cabeceras FITS generados por la aplicación.

Este año se ha iniciado un nuevo proyecto de software, llamado LRS (Laser Ranger System) donde el objetivo es la adaptación y configuración de una aplicación para el control de la emisión de los láseres del observatorio de forma que evite el que crucen la dirección de apuntado de los telescopios de forma involuntaria. Se trata de recopilar en tiempo real la dirección de apuntado de todos los telescopios y enviarla a un sistema central que verificará si se producen o pueden producirse cruces entre el láser y la dirección de apuntado de los telescopios, para, en su caso, tomar las medidas preventivas que se establezcan. Este año el esfuerzo ha consistido en redactar los requerimientos de la aplicación, preparar los programas para adquirir las direcciones de apuntado



de los telescopios y subirlas a un servidor, y generar la documentación y el plan de pruebas.

Al margen de los proyectos, el personal del Departamento también ha dado apoyo al equipo de Mantenimiento Instrumental cuando ha sido requerido y ha colaborado en numerosas actividades transversales como participar en tribunales de selección, el Comité de Empresa, la Comisión de Igualdad, la Comisión de Seminarios y el Comité de Usuarios del S.I., entre otros.

### Departamento de Proyectos

El Departamento de Proyectos concentra su actividad en la gestión de proyectos y en la ingeniería de sistemas de los proyectos instrumentales del IAC. A lo largo de 2021 el Departamento ha dedicado el 90% del tiempo a los proyectos instrumentales del IAC, el resto del tiempo está ocupado por actividades de gestión general del Área y del IAC, y actividades de formación.

A lo largo de 2021 ha habido tres proyectos a los que el Departamento ha dedicado a cada uno aproximadamente el 20% del tiempo de trabajo. Más que proyectos, deben considerarse como tres programas instrumentales del Área que aglutinan varios proyectos bajo cada uno de ellos. Se trata del EST y sus demostradores tecnológicos; GTCOA-LGS y sus instrumentos GRANCAIN y FRIDA; y el programa de instrumentos que observan en el rango de Microondas, que incluye QUIJOTE, su batería de instrumentos, GROUND BIRD y LSPE-STRIP. La razón de esta alta dedicación es que cada uno de estos programas ha contado con dos ingenieros dedicados de manera casi completa a estos proyectos. La dedicación a proyectos instrumentales para telescopios de la ESO (La Silla, VLT y ELT), en concreto HARMONI, NIRPS y ANDES (antiguo HIRES), continúa disminuyendo levemente (la participación en ESPRESSO ya finalizó, y NIRPS está en fase de aceptación final), pero se espera que aumente en próximos años por la dedicación a ANDES. Este año ha ocupado en torno al 10% del tiempo del departamento, con dos ingenieros dedicados a tiempo parcial a la gestión de estos proyectos.

La dedicación a los proyectos de la ESA y a Espacio ha seguido aumentando, hasta el 12%, debido fundamentalmente a la instalación del telescopio ESA Laser Ranging Station (ELRS) en el Observatorio del Teide, que ha contado con un ingeniero asignado casi al completo. Dentro de esta dedicación se incluyen también las actividades relacionadas con la OGS y

los estudios y diseños de sistemas de comunicaciones ópticas en el espacio.

La dedicación a instrumentación para los telescopios del ING en el ORM disminuye notablemente, con la entrega y finalización de nuestras tareas en WEAVE, y se queda con un 8% de dedicación, concentrada sobre todo en la participación en HARPS3.

## COMISIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

La Comisión de Instrumentación es un comité consultivo y de asesoramiento para la Coordinación del Área de Instrumentación y su Coordinador en relación a cualquier tema relacionado con el desarrollo de instrumentación astronómica en el IAC. Desde su puesta en marcha en junio de 2014, la Comisión de Instrumentación se ha reunido periódicamente para ver la evolución de los proyectos en desarrollo y evaluar las propuestas recibidas en el Área para la involucración en nuevos proyectos y/o actuaciones sobre proyectos existentes, en relación al impacto de éstos sobre el resto de proyectos en curso.

Durante 2021 ha habido dos reuniones de la Comisión. En la siguiente tabla se desglosan las fechas y los proyectos que se han analizado.

Edición	Proyectos analizados
Septiembre	GTCOA-LGS-GRANCAIN, FRIDA, MIRADAS, HARPS3, PLATO, SUNRISE3, HORUS, OPTICON-H2020 y ADFEMOS

Este año los miembros de la Comisión han sido: A. López Aguerri, C. Allende Prieto, C. Muñoz-Tuñón, J.A. Rubiño Martín, M. Martínez González, M. Reyes García-Talavera, J. Calvo Tovar y C. Martín Díaz.

## FORMACIÓN

A lo largo de 2021 los miembros de la Ingeniería han participado en varias actividades de formación, algunas vinculadas a las tecnologías de los proyectos en los que participan o gestionan, y otras, más generales, relacionadas con prevención de riesgos laborales, principalmente.

Las actividades formativas han sido las siguientes:



Tipo	Denominación	Lugar
Curso	Introducción a la Administración Electrónica en la Administración Pública.	Online
Curso	Administración Electrónica - Atención a la ciudadanía.	Online
Curso	Administración Electrónica, identificación y firma electrónica.	Online
Curso	Concienciación sobre Seguridad de la Información - Píldoras Formativas.	Online
Curso	Documentos accesibles y seguros.	Online
Curso	Aspectos generales del SARS-CoV-2	Online
Curso	CMSE® Certified Machinery Safety Expert	Online
Curso	Formación en cámaras hiperespectrales.	IACtec
Curso	An introduction to IFU spectroscopy	Online
Curso	Envision Training Course Bundle: Aspheres and FreeForms	Online
Curso	Optocraft, Laser Wavefront Sensing	Online
Curso	Diseño de seguridad avanzado según EN ISO 13849.	Online
Curso	Diseño de seguridad básico según ENE ISO 13849 y EN IEC 62061.	Online
Curso	EPLAN Electric P8.	Online
Curso	EPLAN Electric P8: Creación de datos básicos y de artículos.	Online
Curso	EPLAN Pro Panel Basic + Wiring.	Online
Curso	TWINCAT 3 PLC, Safety y Motion.	IACTEC
Curso	Infinium UXR-Series (16 GHZ) Oscilloscopes Startup Assistance.	Online
Curso	Instalación y puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento de la estación de puntas FormFactor EPS200RF.	IAC
Curso	Xilinx Technologies for New Space/Space 2.0	Online
Curso	Máquina de wire-bonding HB16.	IAC
Curso	Gestión de la configuración.	Online
Curso	Laser & Fiber with Zemax Optistudio.	Online
Curso	Learn Altium Essentials - Second Edition.	Online
Curso	Preparación, caracterización y aplicaciones de recubrimientos y capas.	Madrid
Curso	Parallel and GPU programming in Python @SURF	Online
Curso	SMACK 8: Advanced Git.	Online
Curso	SMACK 9: The Python Ecosystem for Astronomy.	Online
Curso	SMACK 10: Data analysis with Python, Pandas Library.	Online
Curso	SMACK 11: Introduction to LATEX.	Online
Curso	SMACK 12 - Do it faster! Simple ways to use all those cores (and GPUs) efficiently	Online
Curso	SMACK 13 - Introduction to Containers (Docker and Singularity)	Online
Curso	IV Convenio Colectivo Único para el Personal Laboral de la Administración General del Estado	Online
Curso	Trabajos en altura.	Tenerife
Curso	Utilización de Plataformas.	50% Online 50% OT
Curso	Información de Riesgos Laborales.	Online
Curso	Información Riesgos trabajos en altura.	Online
Curso	Manipulación de Nitrógeno Líquido.	IAC
Curso	Prevención del acoso.	Online
Curso	Prevención de riesgos laborales.	Online
Curso	Riesgos laborales en el uso de plataformas	IAC
Curso	Conducción en condiciones adversas.	La Laguna
Curso	Formación Operación del puente grúa.	Tenerife

Algunas de estas actividades de formación han tenido múltiples participantes, otras en cambio han sido individualizadas.

Cabe destacar que la situación de pandemia por COVID-19 ha tenido un efecto importante en la realización de cursos y asistencia a congresos o ferias y prácticamente todas las actividades se han realizado online.

La visita tradicional al Observatorio del Teide por parte de los becarios de verano y personas recién incorporadas al Área también fue suspendida este año por motivos de seguridad debido a la pandemia.

En general, las actividades de formación han sido bien valoradas por los asistentes. La tabla completa con todos los detalles de las actividades de formación, sus valoraciones y los comentarios que algunos asistentes han hecho, se encuentra en la Secretaría del Área donde puede ser consultada para la organización y planificación de futuras actividades formativas.

También se ha seguido con la política de dejar una copia del material formativo en el Archivo Documental para conservar y difundir el conocimiento entre los miembros del Área.

## PERSONAL

### Altas

- Departamento de Electrónica. Este año se incorporaron para trabajar en el Proyecto HARMONI, G. Delgado García y S. Menéndez Mendoza, en abril y mayo respectivamente. C. López Segura también se incorporó al Departamento, en diciembre, para trabajar en el Proyecto GTCAO-LGS-GRANCAIN.

- Departamento de Mecánica. En los meses de junio y julio se incorporaron al Departamento A. Hernández González y A.A. Luján González, para trabajar en el Proyecto HARMONI. También se incorporó, en mayo, A.F. Moreno Martín, para trabajar en GRANCAIN, dentro del Proyecto GTCAO-LGS y, en septiembre, H. Lorenzo Pérez, para trabajar en el Proyecto DALLI(PoP).

- Departamento de Óptica. Se incorporó al Departamento, en febrero, A. Torres Sacramento como técnico en prácticas para hacer tareas de supervisión y mantenimiento de los equipos y del material de los distintos laboratorios del Departamento; también está encargado de las compras del material auxiliar para el uso de los laboratorios. En mayo, se incorporó V. Cantó Caño que participará en el desarrollo

de la cámara GRANCAIN, como parte del Proyecto GTCAO-LGS.

Dentro del proceso de estabilización de empleo, a partir del mes de febrero de este año, ocuparon una plaza fija en el Departamento de Óptica, M. Puga Antolín, L. Montoya Martínez y M. Insausti Múgica, que hasta entonces tenían un contrato temporal.

- Departamento de Software. J. Vaz Cedillo, proveniente del Departamento de Proyectos, se incorporó en julio, al Departamento de Software para trabajar en el Proyecto FRIDA. No obstante, en agosto dejó el Departamento para incorporarse a GRANTECAN S.A. También se incorporaron, en febrero, A. Prieto Antúnez, para trabajar en el Proyecto LRS y en agosto, Y. Rajaeitabrizi para el desarrollo de software del Proyecto CAMELOT2.

- Departamento de Proyectos. A final de año, se integró en el Departamento J.M. Delgado Hernández, proveniente del Departamento de Electrónica, para gestionar el instrumento GRANCAIN, parte de GTCAO-LGS. Igualmente, L. Calero Hernández, ingeniero senior, se incorporó al Departamento tras un breve paso por el Museo de La Ciencia y el Cosmos, y muchos años de trabajo dentro del IAC como gestora en la UC3 y en la OTRI, para trabajar en GTCAO y otras actividades del Área y del Departamento.

### Bajas

- Departamento de Electrónica. Este año dejaron el Departamento J. Villa Morales y A. Hernández Fernández en los meses de septiembre y octubre, respectivamente. J.M. Delgado Hernández ingeniero del Departamento de Electrónica dejó este Departamento y pasó a integrarse en el Departamento de Proyectos a final de 2021.

- Departamento de Mecánica. En el mes de octubre dejaron el Departamento, P.A. Fuerte Rodríguez y J. Bienes Pérez.

- Departamento de Software. J. Bru Agulló, que trabajaba en el Proyecto CAMELOT2, dejó el Departamento en el mes de marzo.

## EVOLUCIÓN DE LOS CONTRATOS

En el gráfico siguiente (Gráfico V) se muestra la evolución de los contratos de Ingeniería y los becarios desde el año 2011 en unidades de FTE (Equivalente a Dedicación Completa, en inglés). Puede apreciarse el aumento de la contratación en 2014, con la contribución significativa del programa Severo Ochoa y con la

financiación del Gobierno de Canarias. Entre 2014 y 2020 hay una cierta constancia de entre 52 y 58 personas en el Área y, en 2021 se aprecia el proceso de estabilización de empleo por el cual a final de 2020 y principios de 2021 muchas personas contratadas temporalmente pasaron a ser fijas.

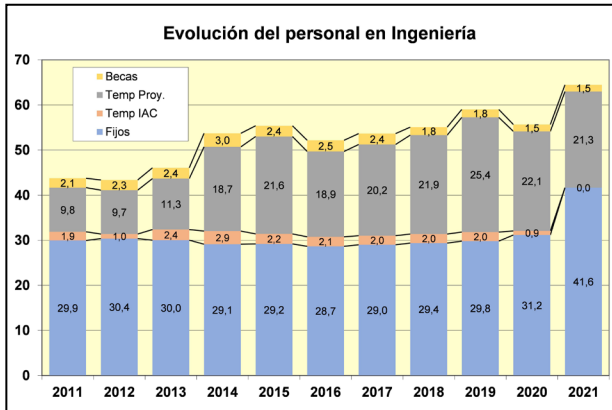


Gráfico V

Dentro del programa de becas de verano, y financiados por el Área de Instrumentación hemos recibido a seis estudiantes o recién titulados de diversas especialidades técnicas que también quedan reflejados en el gráfico anterior.

## ESTADÍSTICAS DE GÉNERO

La proporción entre hombres y mujeres en los departamentos de Ingeniería a finales de 2021 puede verse en el siguiente gráfico (Gráfico VI) (porcentajes y valores absolutos).

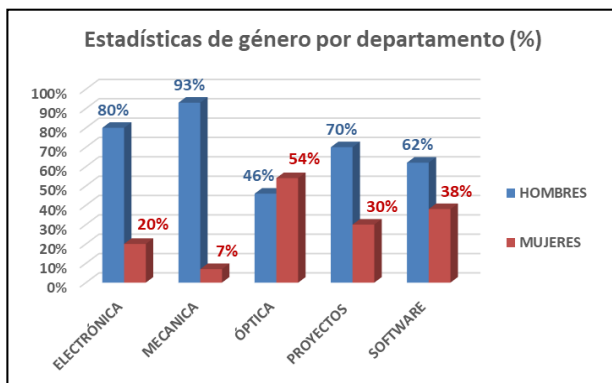


Gráfico VI

Aunque es un porcentaje que cambia ligeramente año a año, principalmente debido a la rotación de personal temporal, vemos que los valores son bastante dispares entre departamentos. En los departamentos de Electrónica y Mecánica hay proporcionalmente menos mujeres que en Proyectos y, especialmente, que en Software y Óptica. En el conjunto de toda la Ingeniería la proporción de género es de 29% mujeres frente a 71% hombres, valores

3 puntos superiores a los del año pasado, aunque todavía lejos de la paridad. Estos valores son un poco inferiores a los globales de todo el personal del IAC (35% mujeres, 65% hombres).

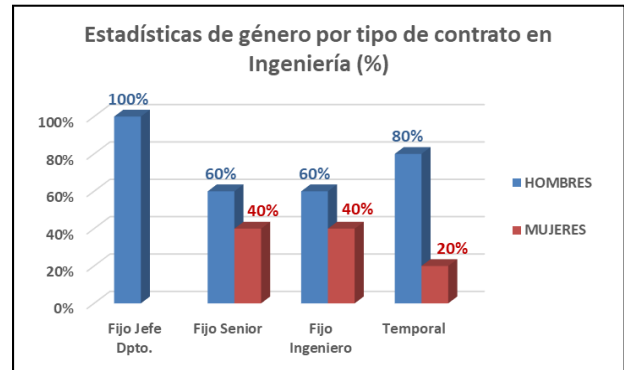


Gráfico VII

En cuanto al tipo de contrato, vemos que, exceptuando a los jefes de departamento, que son todos hombres, la proporción de mujeres es del 40% para el personal fijo y senior, pero del 20% para el temporal. Estos valores son entre 3 y 5 puntos superiores al año pasado.

## BECARIOS Y ESTUDIANTES

Este año al igual que otros se ha dado la oportunidad a varios estudiantes o recién licenciados de disfrutar de una beca para la realización de un estudio o trabajo en el Área de Instrumentación que, en algunos casos, ha servido para la realización posterior del proyecto Fin de Carrera.

### Becas de verano

El IAC organiza todos los años un Programa de Becas de Verano de iniciación a la investigación astrofísica y el desarrollo tecnológico. El Área de Instrumentación acoge a los becarios del programa de desarrollo de tecnológico que tiene lugar en el periodo de julio a octubre con una duración de 3 meses. En 2021 hubo 8 becas en Desarrollo Tecnológico, 6 de ellas directamente asociadas a Ingeniería y 2 en relación a proyectos de IACTec.

Este año se admitieron 73 solicitudes para las becas (47 hombres, 26 mujeres) y excepcionalmente todas las becas fueron a hombres, ya que en años anteriores se habían mantenido valores cercanos a la paridad (60%-40%). Por otro lado, 3 de las becas fueron para residentes en Canarias y 5 en la Península.

- D. Vázquez Enríquez (Estudiante de la Universidad Politécnica de Valencia).

Colaboró en el Proyecto de IACTec-Espacio en el "Análisis térmico y diseño térmico del detec-

tor CCD y electrónica asociada del instrumento IACSAT UV". Durante su estancia elaboró un modelo térmico mediante Matlab-Simulink del subsistema que conecta los CCD y los radiadores del instrumento TAJINASTE. P. González de Chávez y J. Alonso Bungal, Ingenieros de IACTec, fueron sus tutores.

**- R. Varas González (Graduado en Ing. Aeroespacial por la Universidad de León y estudiante del Máster en Space Science & Technology de la Universidad del País Vasco).**

Colaboró en el Proyecto LISA en la "Puesta en marcha del sistema termoeléctrico de enfriamiento para criogenia de detectores". Durante su estancia utilizó los equipos de caracterización optoelectrónica en las pruebas de detectores astronómicos en el rango visible y el equipamiento de vacío y criogenia en general, como bombas de vacío, criostatos, control térmico PID con electrónica dedicada y otros. Y, en particular, sistemas Peltier, monitorización con sensores de presión y temperatura, fuentes de alimentación, refrigeración por agua con control de caudal y temperatura. También realizó diseños mecánicos y modelado de cálculos térmicos. P. Fernández Izquierdo y E. Joven Álvarez de los Departamentos de Mecánica y de Electrónica, respectivamente, fueron sus tutores.

**- C. Benítez Valverde (Estudiante de la Universidad Complutense de Madrid).**

Colaboró en el Proyecto IACTEC-Espacio en el "Diseño óptico preliminar para el primer observatorio espacial astrofísico del IAC: observaciones en la banda VIS-NIR". Durante su estancia, sus tareas consistieron en la recopilación de requerimientos y determinación de las especificaciones científico-técnicas; el análisis de configuraciones, diseño y atermalización del sistema óptico, y en el análisis de tolerancias del diseño propuesto. El informe final forma parte de su TFM en el Máster de Tecnologías Ópticas y de la Imagen de la Universidad Complutense de Madrid. A.E. Peláez, Ingeniera de IACTEC-Espacio, y R. López López, Ingeniero del Departamento de Óptica, han sido sus tutores.

**- J.M. Laliena Martínez (Graduado en Ing. Tecnologías Industriales y estudiante de Máster en Ingeniería Industrial por la Universidad de La Rioja).**

Colaboró en el Proyecto EMIAC en el "Diseño, simulación y verificación con tecnología microelectrónica de una unidad de comunicación para el control de una interfaz con

aplicaciones en polarimetría". Durante su estancia dio apoyo a las tareas relacionadas con la puesta en marcha de la estación de puntas del Proyecto EMIAC. En concreto diseñó, utilizando un lenguaje de descripción hardware, la unidad de comunicaciones para ser implementada en un ASIC y simuló y verificó el correcto funcionamiento de la unidad con un software específico (Vivado). También llevó a cabo la implementación física de los diseños con placas de desarrollo electrónico (sistemas basados en FPGAs y microcontroladores), así como los tests necesarios para comprobar su correcto funcionamiento. H. García Vázquez, L.F. Rodríguez Ramos y J.J. Díaz García, del Departamento de Electrónica, fueron sus tutores.

**- N.A. Rodríguez Linares (Graduado en Ing. Ind. Electrónica por la Universidad de La Laguna y estudiante del doble Máster oficial de Ing Ind y Automática y Robótica por la UPC).**

Colaboró en el Proyecto HARMONI en las "Pruebas y verificación del banco de pruebas del rotador de HARMONI". Durante su estancia, se focalizó en el desarrollo de las comunicaciones entre los diferentes componentes de vacío del criostato de pruebas de la pre-óptica (POTEC) y el propio desarrollo de una interfaz de monitorización, utilizando un PLC Beckhoff y el entorno de programación TwinCAT 3. Entre esos equipos se encontraban distintos grupos de bombeo de vacío, válvulas motorizadas y sensores de presión. A su vez, realizó diferentes pruebas para el control de motores Kollmorgen desde PLC Beckhoff. T. Viera Curbelo, G. Delgado García y S. Menéndez Mendoza, ingenieros del Departamento de Electrónica, fueron sus tutores.

**- C. Magrasó Santa (Graduado en Ing. Tecnologías Industriales y estudiante del Máster en Ingeniería Industrial de la Universidad de Valencia).**

Colaboró en el Proyecto IACTec-Lab CC en el "Laboratorio de Comunicaciones en Espacio Libre". Durante su estancia sus tareas consistieron en una revisión de la literatura referente a las comunicaciones ópticas, al estudio detallado y al análisis mediante simulación del acoplamiento eficiente de luz desde el espacio libre a una fibra monomodo; al montaje en laboratorio de un sistema láser simulador de la propagación en espacio libre con y sin turbulencia atmosférica y a su acoplamiento a una fibra monomodo. L.F. Rodríguez Ramos, del Departamento de Electrónica, I. Montilla García, del Departamento de Óptica, y N. Mar-

tínez Rey, de la Universidad Nacional de Australia, han sido sus tutores.

- P. Estévez Alonso (Estudiante del máster de Astrofísica de la Universidad de La Laguna).

Colaboró dentro de la infraestructura LISA, en el "Desarrollo de un sistema de medida optoelectrónico para la caracterización de fotodetectores basado en monocromador". Durante su estancia llevó a cabo la automatización de un banco de calibración de cámaras y detectores en el rango visible en la infraestructura LISA, incorporando la adquisición de datos de los picoamperímetros y el monocromador que selecciona las longitudes de onda de trabajo en una interfaz escrita en lenguaje Python, con exportación de resultados a Excel. J. Villa Morales y E. Joven Álvarez, ingenieros del Departamento de Electrónica, fueron sus tutores.

- J. Villafañe Calvo (Estudiante de la Universidad de La Laguna).

Colaboró en el Proyecto OT SATRED en el "Impacto de la contaminación lumínica por LEOsats en detectores astronómicos". Durante su estancia realizó la generalización y paralelización del código SATRED para su aplicación a observaciones de LEOsats y la derivación de la magnitud aparente y la velocidad, realizando observaciones en el telescopio IAC-80. O. Zamora, Técnica Superior de Operaciones Telescópicas y M.F. Gómez Reñasco, ingeniera del Departamento de Software, fueron sus tutores.

### Estudiantes de doctorado

Este año, cinco estudiantes de doctorado han realizado o están realizando su tesis doctoral en el Área de Instrumentación. Son estudiantes del programa de Residentes del IAC o del programa de Formación de Personal Investigador.

- J.F. Hernández Cabrera (Residente del IAC).

Desde el mes de octubre de 2021 su tesis doctoral en el Departamento de Electrónica. El objeto de la tesis es el diseño, fabricación y pruebas de un haloscopio sintonizable para búsqueda y detección en banda ancha de axiones (posibles responsables de la materia oscura) por encima de los 25ueV. El haloscopio trabaja a temperaturas criogénicas y comprende un montaje de imanes permanentes junto con un conjunto de placas de Zirconia que conforman un resonador Fabry-Perot, además de una antena que envía la señal eléctrica a un radióme-

tro de tipo HEMT, junto con amplificadores de bajo ruido y filtros paso-banda. El trabajo implica el diseño optomecánico del instrumento, la electrónica -tanto de detección como el sistema de adquisición de datos-, el ensamblaje del conjunto así como la calibración para llevar a cabo barridos en la banda entre 6.5-8 GHz, con 20 sub-bandas de 50MHz. La tesis está dirigida por E. Joven Álvarez, ingeniero del Departamento de Electrónica y J. de Miguel Hernández, investigador en Riken (Japón).

- L. Marquis (Universidad Paris-Saclay- Universidad de La Laguna).

Está realizando su tesis desde el mes de septiembre de 2019, entre la Universidad Paris-Saclay y la Universidad de La Laguna. El tema central de su tesis es el estudio de estrategias de control de alto desempeño para el sistema de Óptica Adaptativa del telescopio GTC. Usando para el lazo de control un algoritmo LQG que combina la información obtenida del propio banco de GTC y los modelos teóricos, el objetivo es lograr un mejor desempeño del sistema en presencia de vibraciones o en condiciones de baja iluminación. La tesis esta codirigida por C. Kulcsár del Institut d'Optique Graduate School, e I. Montilla García, ingeniera del Departamento de Óptica.

- P. Sola La Serna (Residente del IAC y Graduada en Ciencias Físicas en la Univ. de La Laguna y máster en Tecnologías Ópticas y de la Imagen por la UCM).

Está realizando desde el mes de octubre de 2020 su tesis doctoral en el Departamento de Óptica. El objetivo es obtener conocimientos científicos y técnicos de los procesos adecuados de diseño, fabricación y validación de sistemas refractivos corregidos de aberración cromática que incorporan superficies sin simetría rotacional (*freeform*). Esta tesis persigue la mejora del comportamiento óptico en términos de eficiencia, equilibrio de aberraciones y presupuesto de errores. Los principales temas abordados son las técnicas y procedimientos de diseño óptico de sistemas esféricos y *freeform*, modelado numérico de procesos para lentes *freeform*, técnicas de fabricación y equipos vinculados, evaluación e integración de dichos elementos ópticos. Esta tesis está dirigida por J. Sánchez Capuchino, ingeniero del Departamento de Óptica.



- P. Alonso Arias (Residente del IAC e ingeniera de Telecomunicación por la Univ. de Oviedo).

Desde 2018 está realizando su tesis doctoral en el Departamento de Electrónica. El trabajo ha incluido el diseño óptico del TMS, una caracterización del espectrómetro escrito en Python, el diseño de la carga fría a 4K y el diseño de una OMT y un acoplador híbrido a 180° de banda ancha. El diseño óptico consiste en un conjunto de espejos (gregoriano) optimizado con los software GRASP y CST para obtener una respuesta mínima en polarización cruzada. Además, el conjunto incorpora el TMS dentro de su criostato y cabe en el espacio permitido por el entorno del telescopio. La caracterización del espectrómetro da la respuesta radiométrica y matemática del TMS ideal, por lo que más adelante se añadirán los elementos no-ideales para ver qué efectos podemos esperar. Por otro lado, los diseños de la carga a 4K, la OMT y el acoplador híbrido han sido optimizados mediante el software CST, y aseguran un comportamiento con bajas pérdidas de reflexión y mínima polarización cruzada con un factor de banda 2:1. La tesis está dirigida por iR. Hoyland, ingeniero del Departamento de Electrónica, es el director de este trabajo junto con el co-director J.A. Rubiño Martín.

- E. Soria Hernández (Graduada en Ingeniería Óptica por la Univ. de Zaragoza y Máster en Tecnologías Ópticas y de la Imagen por la UCM).

A través de un contrato predoctoral del Ministerio de Ciencia e Innovación (anterior FPI), está realizando desde 2019 su tesis doctoral en el Departamento de Óptica. La tesis tiene por objetivo el diseño y desarrollo de un sistema de óptica adaptativa para ser instalado en telescopios de tamaño intermedio. Además, este trabajo realiza de manera paralela un estudio comparativo de la respuesta de distintos sensores de frente de onda (SH, TP3, Pirámide) en función de las condiciones atmosféricas, el telescopio en que se acople o el instrumento y proyecto científico con que se utilice (fotometría, espectroscopía, etc.). R. López López, ingeniero del Departamento de Óptica, es el director de este trabajo.

## Prácticas de Grado

- J.L. Martínez Rodríguez (Estudiante de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de Ingeniería Industrial de la Univ. de La Laguna).

Llevó a cabo sus prácticas externas en el Departamento de Electrónica bajo la supervisión del H. García Vázquez. Durante sus prácticas participó en la puesta en marcha de la estación de puntas para medida de circuitos integrados sobre oblea del proyecto EMIAC, entendiendo el funcionamiento de la estación de puntas y la instrumentación asociada para la medida de circuitos integrados sobre oblea. Preparó el montaje de medida para la calibración de la estación de puntas, la calibración y extracción de parásitos procedentes de los cables y las puntas de medida para diferentes frecuencias por medio de un sustrato de calibración, así como otras medidas relacionadas con amplificadores de radiofrecuencia.

- T. Sacramento Padrón, (Estudiante de Ingeniería Industrial en la Univ. de La Laguna).

Realizó sus prácticas externas en el Departamento de Electrónica bajo la supervisión Ó. Tubío Araújo. Durante las prácticas llevó a cabo la caracterización de un sensor de desplazamiento LVDT, el acondicionamiento de señal, adquisición y representación en pantalla LCD de este sensor en una plataforma Arduino y, finalmente, el diseño y fabricación de una PCB para la alimentación del conjunto.

- H. Hilario Reyes (Estudiante de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de Ingeniería Industrial de la Univ. de La Laguna).

Realizó sus prácticas curriculares externas en el Departamento de Electrónica, bajo la tutoría L.F. Rodríguez Ramos. Su práctica consistió en ampliar el montaje realizado en la beca de verano de C. Magrasó, dotándole de un *beamsplitter* y una cámara para hacer imagen del haz colimado que se pretende acoplar a una fibra monomodo. Verificó que las imágenes obtenidas correspondían razonablemente con lo esperable desde el punto de vista teórico. También estudió la estabilidad en el tiempo del láser que se empleó en el montaje.

- I. Plasencia Castilla (Estudiante de Ingeniería Industrial en la Univ. de La Laguna).

Realizó de prácticas externas en el IAC, bajo la supervisión de F. Tenegi Sanginés y A. Vega Moreno, del Departamento de Mecánica. Durante su estancia realizó las pruebas mecánicas de los prototipos de espejos refrigerados generados en el seno del proyecto OPTICON H2020. Concretamente, realizó varios ensayos de compresión a varias de estas muestras obtenidas mediante técnicas de fabricación aditiva. Finalmente, completó estos ensayos con un conjunto de simulaciones en ANSYS con modelos equivalentes a algunas de las muestras.

### Trabajos Fin de Grado

- E. Jorge Paramio (Estudiante de Grado de Ingeniería Informática de la Univ. de La Laguna).

Realizó su trabajo Fin de Grado titulado “Monitorización de los controles y gráficas de un sistema de Óptica Adaptativa”, en el que desarrolló un módulo con interfaz gráfica para representar los gráficos e imágenes del proceso de control y que permiten verificar el funcionamiento de un sistema de Óptica Adaptativa.

- V. Montserrat Manrique Rolo (Estudiante de Grado de Ingeniería Informática de la Univ. de La Laguna).

Realizó su trabajo Fin de Grado titulado “Diseño e implementación de ficheros de inicialización y configuración para las Cámaras y el control del Espejo Deformable de un Sistema de Óptica Adaptativa”, desarrollando varias aplicaciones para manejar y generar los ficheros de configuración tanto para la cámara de control como para el espejo deformable y la calibración del mismo para un sistema de Óptica Adaptativa.

En ambos casos, los tutores de estos trabajos fueron R. López López y E. Soria del Departamento de Óptica y J. Tomás de la Univ. de La Laguna.

### Trabajos Fin de Máster

C. Benítez Valverde aprovechó su beca de verano en el Proyecto IACTEC-Espacio, centrada en el “Diseño óptico preliminar para el primer observatorio espacial astrofísico del IAC: observaciones en la banda VIS-NIR”, para realizar gran parte de su Trabajo Fin de Máster en el Máster de Tecnologías Ópticas y de la Imagen de la UCM. A.E. Peláez, Ingeniera de

IACTEC-Espacio, y R. López López, del Departamento de Óptica, han sido sus tutores.

E. Gómez Fenés, estudiante de Máster Tecnologías Ópticas y de la Imagen UCM, realizó su trabajo Fin de Máster titulado “Análisis de *stray light* en la Pre-óptica del instrumento HARMONI”. El tutor de este trabajo fue M.Á. Cagigas García, del Departamento de Óptica.

M. de la Cruz Ramírez Trujillo, estudiante del Máster Universitario en Inteligencia Artificial de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR), realizó su trabajo Fin de Máster titulado “AI4AO: *The inevitable future to see the stars*” presentando una metodología basada en Aprendizaje Automático para solventar la problemática de selección de las constantes de control para la corrección del cierre de lazo en sistemas de óptica adaptativa. El tutor del trabajo fue R. López López, del Departamento de Óptica.

### Prácticas FCT

A. Socas Hernández y F.K. Suárez Suarez, estudiantes del IES Virgen de la Candelaria, realizaron sus prácticas de formación profesional dual en el Taller de Mecánica del Área de Instrumentación, bajo la tutoría de H. Quintero Arocha.

## SEMINARIOS TECNOLÓGICOS

Siguiendo con la iniciativa creada en 2015 con el fin de incrementar la comunicación dentro del Área e intentar acercar el trabajo de cada uno al resto de compañeros, este año se han impartido numerosos seminarios tecnológicos. Después del parón de 2020 en el número de seminarios debido a la pandemia por COVID-19, este año se ha recuperado su frecuencia. Sin embargo, debido a las restricciones en las actividades grupales, la mayoría de los seminarios fueron impartidos por vía telemática.

Los seminarios tuvieron una duración de media hora, aproximadamente y, al igual que el año pasado, entraron a formar parte de los seminarios del IAC que son abiertos a toda la comunidad, se emiten por el canal de YouTube del IAC y son parte del archivo de charlas del IAC.

Los ponentes han sido en su gran mayoría miembros de los distintos departamentos y las charlas, algunas más formales y otras más distendidas, han sido un éxito. Esta es la relación de las charlas.

Fecha	Título	Ponente
29/01/2021	Estado actual del sistema de lanzamiento de la estrella guía láser de GTC	J. Sánchez-Capuchino
12/02/2021	High-performance control for adaptive optics	C. Kulcsár
19/02/2021	QUIJOTE: El estado de la instrumentación CMB en Canarias.	P. A. Fuerte
26/02/2021	Haciendo simple la gestión de documentos con la herramienta de gestión documental del EST.	N. A. Rodríguez
05/03/2021	Sistema de control de WEAVE: Un recorrido	J. M. Delgado
12/03/2021	La gestión de las dependencias planificando proyectos en organizaciones matriciales.	J. Vaz
26/03/2021	GTCAO. Instalaciones auxiliares y complementarias. Lo considerado como menos importante también es relevante.	E. D. González
09/04/2021	El software de Gris. Presente y futuro	J. Quintero
30/04/2021	Control TTNN: ¿Cómo vamos?	F. Hernández
07/05/2021	En la trastienda de la gestión de proyectos	J. Patrón
14/05/2021	The Gran Telescopio Canarias Adaptive Optics system: Getting ready for the sky	I. Montilla
21/05/2021	La idiosincrasia de la gestión de proyectos instrumentales en el IAC	Á. Pérez
04/06/2021	Alta Resolución Espectral (ARES): ¿Qué distingue a estos instrumentos?	M. Amate
18/06/2021	Retomando el control en óptica adaptativa diurna tras veinticinco años de pausa	H. Chulani
02/07/2021	Análisis de stray light en instrumentación astrofísica	M. Á. Cagigas
09/07/2021	LC80, la nueva pipeline en tiempo real para análisis de curvas de luz del telescopio IAC80	S. Cerezo y O. Zamora
16/07/2021	TMT Project status and overview	G. Trancho
23/07/2021	Sistemas de control para instrumentos de GTC	J. Rosich
30/07/2021	De lo que no se habla, no se conoce: La Comisión de Medioambiente y Sostenibilidad del IAC	J. Villa

## VISITAS AL ÁREA

Cada año se muestran las instalaciones del Área de Instrumentación a numerosas personas y grupos de procedencias muy distintas. Algunas de estas visitas son parte de una visita más general al IAC y otras exclusivas del Área. Este año 2021, al igual que el año pasado a partir de marzo de 2020, las visitas han estado suspendidas debido a la pandemia de COVID-19.

# PRODUCCIÓN

Componen Producción el Taller de Mecánica, el Gabinete de Delineación Técnica y el SIE de Instrumentación. No obstante, por operatividad, continuamos incluyendo el Taller de Electrónica dentro de esta Memoria. Recordemos que desde noviembre de 2016 el Jefe de Producción asumió las funciones de Jefe del Departamento de Mecánica y a raíz de esto el Taller de Electrónica pasó a depender del Departamento de Electrónica.

El SIE de Instrumentación, debido tipo de actividad que desarrolla, no entra en el sistema de solicitudes de trabajo y facturación. No obstante, el 1 de octubre de 2021 dejó de pertenecer al Área de Instrumentación y pasó a formar parte de la plantilla del SI. El trabajo desarrollado durante todos estos años en el Área de Instrumentación ha sido intachable y le estamos altamente agradecidos por ello.

En 2021 se tramitaron 403 solicitudes de trabajo, un 53,23% más que el año anterior, es decir se ha vuelto al nivel que de antes de la pandemia (el pasado año las solicitudes descendieron 56,68%) De estas solicitudes 100 fueron solicitadas a Delineación, 246 al Taller de Mecánica y 57 al Taller de Electrónica. 27 fueron canceladas por los peticionarios (2 en Delineación, 17 en el Taller de Mecánica y 8 en el Taller de Electrónica). El Taller de Mecánica rechazó 6 y Delineación 1. Las causas de estos rechazos son, o bien por no corresponderle el tipo de trabajo solicitado o bien por falta de información o documentación para poder ejecutarla.

Las horas invertidas para realizar estos trabajos fueron 13.494,70 h.

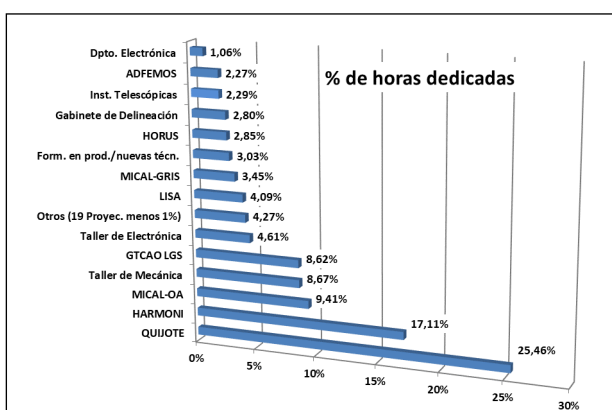


Gráfico VIII

En el siguiente gráfico (Gráfico VIII) podemos ver los porcentajes de dedicación de horas a los distintos proyectos:

A continuación, se detalla la dedicación de cada uno de los talleres y servicios que componen Producción.

## TALLER DE MECÁNICA

### Mejoras en infraestructura

En 2021 el Taller de Mecánica se sumó al gran reto de la actualización y mejora de sus instalaciones y máquinas, gracias a los Fondos del Plan de Recuperación y Resiliencia, con el objetivo de mejorar las técnicas de fabricación de cara a la precisión y el cuidado del medio ambiente.

La actualización y mejora del Taller de Mecánica iniciadas en 2021 comienza por las siguientes actuaciones:

- Renovación de la actual planta de anodizado, obsoleta y de capacidades reducidas, por una nueva planta de anodizado duro negro mate, para piezas de hasta 900x900x300mm y 500kg. Se adjudicó la obra civil de adecuación del local y se inició su ejecución, así como la publicación de la licitación del suministro e instalación de la maquinaria.
- Renovación del parque de maquinaria manual de fabricación por arranque de viruta, con la adquisición de un torno manual de precisión de 1000mm de longitud entre puntos.
- Adquisición de un estabilizador de tensiones internas para las piezas y estructuras mecanizadas y/o soldadas.
- Adquisición de un medidor de herramientas láser para el Centro de Mecanizado Mazak Variax i-500, mejorando notablemente la precisión de la fabricación.
- Adquisición de post-procesadores para la fabricación asistida por ordenador, CAM, en los centros de mecanizado de 4 y 5 ejes Lagun L-850 y Mazak Variax i-500.

- Contratación del suministro de una máquina de soldadura láser para micro-conectores de 1500W de potencia.
- Publicación de la licitación para la adquisición de una máquina de corte por chorro de agua para materiales de dimensiones máximas de 2000\*1000\*200mm. Esta máquina nos permitirá reducir las horas de mecanizado por arranque de viruta y el consumo de herramientas de corte.

A partir de la auditoría de seguridad realizada por parte de la empresa Caracena Consultoría y Formación S.L., se ha continuado actualizando todos los aspectos del Taller para cumplir con todos los aspectos normativos de seguridad y medioambiente.

Por parte de Gerencia Operacional se han ejecutado los vestíbulos de entrada al Almacén de Mecánica y entrada principal del Taller, necesarios para cumplir el aislamiento en la sectorización de incendios y se ha aplicado protección ignífuga a los pilares y vigas del almacén de materiales para proporcionar la resistencia al fuego necesaria.

Adicionalmente se han llevado a cabo importantes mejoras desde el punto de vista técnico. Resumimos a continuación dichas mejoras:

- En la Sección de Soldadura se adquirieron accesorios para la sujeción de estructuras y piezas a la mesa de soldadura profesional adquirida en 2017 y una máquina de soldadura TIG HF de 300A, para mejorar los trabajos de soldadura en aluminio.
- En el Laboratorio de Metrología Dimensional se compraron nuevos calibres y micrómetros específicos.
- En la Zona de máquinas CNC, se ha encargado la actualización de proyecto de climatización de la zona realizado en el 2018, el cual se prevé ejecutar en el 2022. Esto mejorará enormemente la precisión de fabricación de estas máquinas.
- En máquinas manuales de fabricación por arranque de viruta se ha llevado a cabo la reubicación de la fresadora F-3 y el torno Microtor-1 para dejar espacio disponible a la nueva zona de preparación de piezas y pinturas frente a la cabina de pintura, a la nueva soldadura láser, frente al acceso a la sala AIV y al nuevo torno de 1000mm.
- En el almacén de materiales se ha continuado con la reorganización del espacio, preparando para incorporar nuevas estanterías el próximo año.
- En cuanto al almacenamiento de productos químicos se han actualizado ubicaciones y

fichas de seguridad de los productos disponibles al nuevo contenedor y armarios específicos.

- Respecto a la gestión de residuos, queda pendiente dar un impulso para ejecutar la obra del almacén de residuos, pendiente por parte de Gerencia Operacional.

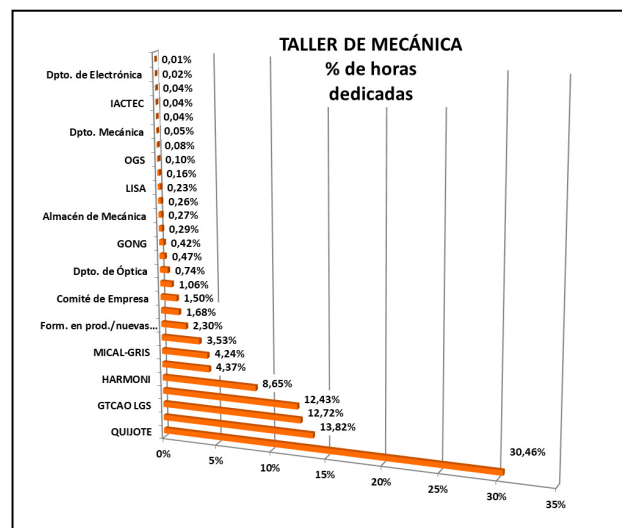
**Actividad**

Se facturaron 7.273,4 h. El mayor porcentaje de estas horas, el 30,46%, se dedicó al Proyecto QUIJOTE. Le sigue el propio Taller de Mecánica con un 13,82%. No hay más que ver el apartado anterior para justificar este hecho. La mayoría de las acciones descritas conlleva soporte del propio personal del Taller. También hay que tener en cuenta que salvo puestas apunto realizadas por especialistas de las empresas suministradoras de las máquinas, todo el mantenimiento, tanto preventivo como curativo, es realizado por personal del Taller. Le siguen GTCAO-LGS y MICAL-OA con un 12,72% y un 12,43% respectivamente.

Con una dedicación menor del 10% están HARMONI (8,65%), HORuS (4,37%), MICAL GRIS (4,24%), Instalaciones Telescópicas (3,53%), Formación (2,3%), ADFEMOS (1,68%), Comité de Empresa (1,5 %) y Desmontaje VSA (1,06%).

El resto de proyectos no llegan a una dedicación del 1%.

El porcentaje de dedicación de horas podemos verlo en el siguiente gráfico (Gráfico IX):



**Gráfico IX**

Desde el 1 de septiembre de 2020 el puesto de Jefe de Taller de Mecánica quedó sin cubrirse hasta el 1 de abril de este año. Fue ocupado de nuevo por H. Quintero Arocha.

En mayo de este año nos dejó el operario P. González Gómez, una vez finalizó su periodo



de funcionario en prácticas, después de haber aprobado unas oposiciones. Se le agradece su buen trabajo realizado durante todos estos años deseándole lo mejor.

**Formación**

La formación recibida por el personal del Taller de Mecánica fue:

- Asistencia de 2 miembros del Taller de Mecánica al curso de Homologación de Soldadores en soldadura TIG para aluminio.
- Asistencia de 4 miembros del Taller de Mecánica al curso de Mecanizado CAM mediante software ESPRIT para Variaxis I-500 y Lagun L-850.

**GABINETE DE DELINEACIÓN TÉCNICA**

**Actividad**

Durante 2021 el Gabinete de Delineación Técnica dedicó 1.775,5 h. en atender los trabajos solicitados. Es un 62,74% más que el pasado 2020, debido a la incorporación de J.C. Díaz Pérez. La alta dedicación al propio Gabinete de Delineación es debido a la parte de gestión y organización de documentación específica de proyectos dentro y fuera de Windchill.

El Gabinete de Delineación Técnica ha concentrado su actividad en la realización de planos de fabricación, generación de conjunto en 3D y algunos diseños.

En el siguiente gráfico se puede ver la distribución de proyectos y su porcentaje del tiempo invertido.

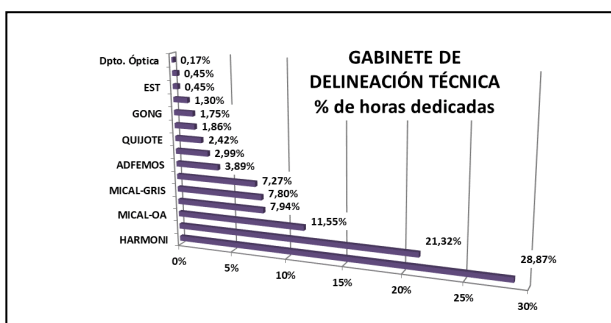


Gráfico X

**TALLER DE ELECTRÓNICA**

**Mejoras en infraestructura**

En el año 2021 el Taller de Electrónica llevó a cabo las siguientes mejoras en sus infraestructuras:

- Adquisición de nuevo mobiliario ESD para los puestos de Desarrollo y Simulación de PLC's y Montajes Armarios y Subracks. Se adquirieron mobiliario del fabricante TRESTON, configurados con las necesidades específicas de cada puesto, y con ajuste en altura motorizado o a manivela, para favorecer la adaptación ergonómica según el técnico que estuviese trabajando.
- Adquisición de lupas-luminarias, con categoría ESD, para trabajos de electrónica y micro-electrónica. Se adquieren del fabricante Waldmann, mod. TVISIO, con aumentos de 3.5 dioptrías + 8 dioptrías e iluminación 48 LED Premium, de forma que se mejoran las capacidades de iluminación en las exigentes tareas de soldadura SMD/SMT e inspección.
- Se ha dotado al Taller de un programador universal de memorias y microcontroladores, adaptado a las tecnologías actuales. Se adquirió del fabricante ELNEC, mod. Beeprog 2, el cual soporta la programación de más de 120.000 dispositivos de 393 marcas. Además, se ha seleccionado un conjunto de accesorios y adaptadores universales para los formatos de chips de memorias más frecuentes. Este equipo se puede emplear tanto para desarrollo como para la reparación.
- Mejora de las prestaciones y capacidades técnicas en los trabajos de Verificaciones y Medidas, mediante la adquisición de dos micro-sondas de corriente AC/DC. Se adquieren del fabricante Chauvin-Arnoux, modelos de la serie K. Con estas sondas se añade la funcionalidad de medición de alta precisión de corrientes muy bajas, a instrumentos adquiridos con anterioridad.

**Actividad**

El Taller de Electrónica facturó 4.444,7 h. de trabajo en 2021. Los proyectos QUIJOTE y HARMONI fueron a los que se les dedicó más tiempo, 26,46% y 26,24% respectivamente. Es importante decir que los trabajos realizados en el Proyecto QUIJOTE son realizados por personal específicamente contratado por dicho Proyecto. A estos le siguen el propio Taller (13,94%), LISA (11,84%), el dedicado a la propia formación del personal del taller (5,44%), MICAL-OA (6,63%), Depto. de Electrónica (3,18%), ADFEMOS (2,59%), GTCAL LGS (2,46%) y EMIR (1,49%).

El resto de proyectos no llega a una dedicación del 1%.

En el siguiente gráfico (Gráfico XI) se puede ver porcentualmente las horas facturadas a los diferentes proyectos:

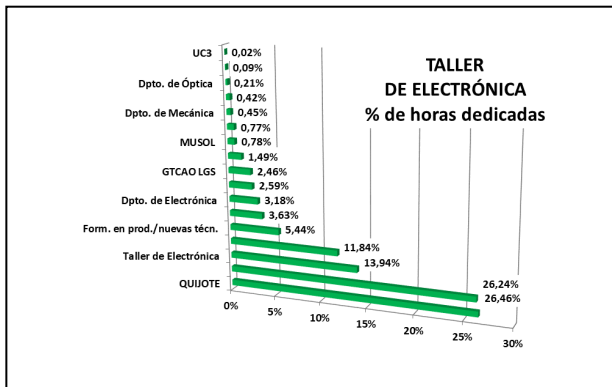


Gráfico XI

### Formación

La formación recibida por el personal del Taller de Electrónica fue:

- Formación Eplan EP8, según Estándar IAC + ePULSE. (40 h.)
- Formación Pro Panel + Process Wiring. (40 h.)

### SIE DE INSTRUMENTACIÓN

El SIE de Instrumentación tiene como objetivo principal instalar, mantener y actualizar todos los paquetes de software específicos usados por los distintos Departamentos, Talleres y Servicios pertenecientes al Área de Instrumentación, así como ofrecer información, ayuda y soporte sobre determinado hardware de uso no común.

#### Actividad

Las principales actividades realizadas durante 2020, además de dar soporte al personal y distintos proyectos, renovación de equipos de sobremesa y portátiles, gestión de compras de material, gestión de préstamos de material, etc. fueron:

- Mantenimiento de las licencias del software de Instrumentación.
- Gestión de compras de nuevos equipos y material accesorio.
- Actualización de equipos obsoletos.
- Gestión de los accesos a los laboratorios del Área.
- Mantenimiento de la web interna y externa del Área.
- Equipamiento y preparación de equipos para nuevo personal.
- Gestión personal en prácticas FCT asignado al SIE.

- Generación de nueva imagen de Windows con el software actualizado.
- Actualización a Windows 10 de varios equipos.
- Instalación de discos SSD en varios equipos del Área.
- Instaurada la opción de instalar imágenes de Windows en modo UEFI.
- Preparación de equipos portátiles para los técnicos y soporte remoto debido al confinamiento.

El 1 de octubre de 2021 H.D. Rodríguez Rodríguez dejó de pertenecer al Área de Instrumentación y pasó a formar parte de la plantilla del SI. El trabajo desarrollado durante todos estos años en el Área de Instrumentación ha sido intachable y estamos altamente agradecidos por ello.

### COLABORACIÓN CON EMPRESAS

Para la empresa WOOPTIX se le realizó un trabajo consistente en pintar unas piezas con Netel.

### CONCIERTO ESPECÍFICO DE COLABORACIÓN IAC – CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTES DEL GOBIERNO DE CANARIAS

Este año son ya 22 los años que llevamos acogiendo alumnos en prácticas.

En 2020 se incorporó el Proyecto de Formación Profesional DUAL, que pretende generar una bolsa de técnicos con una formación específica en fabricación mecánica de cara a la posterior renovación generacional del Taller.

Este año han realizado sus prácticas y formación DUAL en el IAC:

#### En Centros de Trabajo

J. Rodríguez Hernández del IES Tacoronte-Óscar Domínguez

Del 12/04 al 18/06/21

#### En el Taller Mecánica – Responsable H. Quintero Arocha

Módulos desarrollados: Mecanizado Por Control Numérico y Ejecución de Procesos de Fabricación

*Formación DUAL*

A. Socas Hernández y F. Kevin Suárez Suárez,  
del IES Virgen de la Candelaria

Del 10/02 al 09/06/21

En el Taller Mecánica – Responsable H. Quintero Arocha





# IACTEC





IACTEC, el espacio de colaboración tecnológico empresarial del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), se puso en marcha en 2016 en gran medida gracias a la aportación económica al IAC del Cabildo Insular de Tenerife (ECIT) a través del “Programa de Capacitación de IACTEC” (que, a fecha de hoy, suma contribuciones en torno a 2.6 M€).

El número de ingenieros adscrito a este programa fue de 8 en 2017, 9 en 2018, 12 en 2019, 14 en 2020 con expectativas de alcanzar la cota de 16 efectivos a finales de 2021. Dedicados a tres programas, Espacio, Tecnología Médica, y Centro de Fabricación Óptica Avanzada, el equipo de Capacitación cuenta con el apoyo del Área de Instrumentación del IAC, que aporta dedicación horaria parcial de cuatro tutores. Además del equipo de Capacitación, en IACTEC se integran, dentro del programa de Grandes Telescopios, el Proyecto CTA (5 efectivos), el EST (20) y el NRT (8).

### **Programa de Espacio**

Este programa se divide en:

- Micro-satélites: dedicado a desarrollar cargas útiles para pequeños satélites astrofísicos y de observación de la Tierra (7 ingenieros de Capacitación más 2 ingenieros de NextGeneration EU en la actualidad, previsto incorporar 2 ingenieros más a inicios de 2022).

- Teledetección: busca nichos de oportunidad identificando qué datos de observación de la Tierra no están disponibles y justificarían la construcción de un satélite dedicado.

- Comunicaciones ópticas con el espacio: 1 ingeniero de Capacitación y 1 ingeniero financiado por el Programa Severo Ochoa.

### **Programa de Tecnología Médica**

Centrado en el desarrollo de dispositivos para imagen médica (4 ingenieros).

### **Centro de Fabricación Óptica Avanzada**

Los objetivos de este Centro de fabricación son el desarrollo de nuevos conceptos de pulido óptico, el desarrollo conceptual de un gran telescopio de bajo coste con un espejo primario anular segmentado de 25 m y el desarrollo

de espejos deformables que, siendo fabricados de forma industrial, permitan obtener calidades ópticas adecuadas para la observación astronómica. Cuenta con 1 ingeniera.

### **Programa de grandes telescopios**

Telescopios CTA, EST y NRT.

Las actividades transversales realizadas en IACTEC en el periodo noviembre de 2020 hasta noviembre de 2021 han sido:

- Seguimiento, evaluación del desempeño y justificación del Programa de Capacitación 2020, así como la redacción de la memoria para la dotación 2021.

- La gestión de la contratación de la infraestructura dotada por el Ministerio de Ciencia e Innovación, que supone casi 1 M€, para la creación del LIFEM, “Laboratorio Integrado de Fotónica opto-Electrónica y opto-Mecánica de IACTEC”.

- La puesta a punto del edificio IACTEC de forma progresiva desde la mudanza del personal al edificio en agosto de 2020.

- La justificación de los fondos públicos ejecutados (Interreg) y la preparación de propuestas nuevas (Incubadora de Alta Tecnología en Astrofísica y Espacio -IATAE, con la Fundación INCYDE). La IATAE comenzará su andadura a final de 2021.

- Investigación, implantación y desarrollo de instrumentos económico-jurídicos que faciliten la colaboración público-privada entre el IAC/IACTEC y empresas privadas, de forma alineada con la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027. Se sigue avanzando con seguridad jurídica, explorando nuevas vías de financiación privada y ejecución pública o privada de ciencia, con objetivos públicos establecidos desde el IAC. Entre otros:

- Proyecto TTT, Proyecto RICNRT. Financiación de I+D pública con financiación privada, no distorsionadora de la competencia, basando las fuentes de valor privado en los incentivos fiscales nacionales, el REF canario, el mecenazgo y la co-creación de nuevos mercados.

- Desarrollo de una línea de convenios tipo para la colaboración público-privado con sociedades mercantiles, sin contraprestaciones económicas.
- Desarrollo de una nueva línea de negocios jurídicos que faciliten la contratación del IAC en proyectos de I+D en áreas de ciencia astrofísica, más allá de la Asistencia Técnica en ingeniería.
- Investigación y ejecución de vías de colaboración público-privada referentes al personal investigador, con pleno respeto de la normativa actual de compatibilidades establecida en la Ley de la Ciencia (Art. 13, 17 y 18) y la legislación de empleados públicos.
- Presentación de propuesta de normativa del IAC para la creación de *spin-offs*. La propuesta define un marco jurídico seguro para la creación o reconocimiento de *spin-offs* o Empresas de Base Tecnológica (EBTs) por el IAC. Se reconocen las características diferenciadoras del IAC como Organismo Público de Investigación y como Consorcio Público y se plantea un procedimiento para la participación de personal propio o adscrito del IAC en dichas *spin-offs*, dentro del actual marco normativo y las necesidades de servicio del IAC.
- Firma en el mes de julio de 2021 de la Adenda al Convenio entre el IAC, el Cabildo Insular de Tenerife, INtech y la Universidad de La Laguna para la promoción de I+D+i, la actividad empresarial y la transferencia de conocimiento en los sectores de astrofísica y espacio. El Convenio (de junio de 2020) permite la explotación científica y tecnológica del conocimiento del IAC y del edificio IACTEC, sentando las bases para la colaboración interadministrativa en la creación de empresas de base tecnológica (*start-ups* y *spin-offs*) y puestos de trabajo de calidad en Canarias. La Adenda traslada la gestión del edificio al IAC, antes a cargo de INtech Tenerife.

## ACTIVIDADES REALIZADAS DENTRO DE LOS PROGRAMAS PRINCIPALES

### PROGRAMA DE MICRO-SATÉLITES

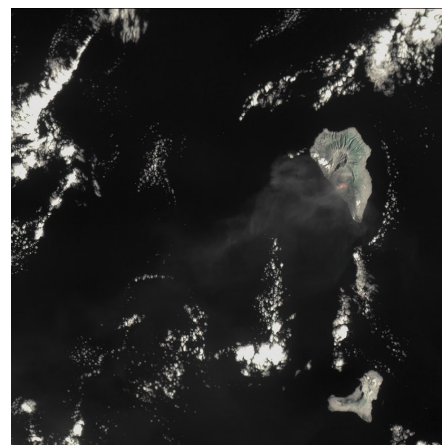
El Proyecto ha experimentado un enorme avance en los últimos 12 meses, con resultados muy interesantes y con desarrollos en 5 programas, fundamentalmente.

*DRAGO - Demonstrator for Remote Analysis of Ground Observations*

El 24 de enero de 2021, la cámara infrarroja DRAGO, el primer instrumento desarrollado íntegramente por IACTEC-Espacio e integrada dentro del portador de satélites ION de la empresa italiana D-Orbit (misión PULSE), fue lanzada con éxito al espacio a bordo de un cohete Falcon 9 de Space X.

DRAGO obtiene simultáneamente imágenes infrarrojas de la Tierra en dos longitudes de onda del rango SWIR (1,1 y 1,6 micras). La cámara también incluye hardware y software de alto rendimiento para la adquisición de imágenes de alta velocidad (hasta 160 fps). Esta electrónica permite el procesamiento a bordo de las imágenes, incluyendo características como súper-resolución, compresión y cifrado. DRAGO es, además, el único instrumento que existe para pequeños satélites usando detectores infrarrojos no refrigerados, mediante una aleación de arseniuro de indio y galio.

Una vez en órbita, el primer contacto ocurrió el 8 de febrero, cuando se comprobó su supervivencia al lanzamiento y el buen funcionamiento de las comunicaciones entre el instrumento y los equipos en tierra. Posteriormente, se probaron los distintos subsistemas de la cámara. El 15 de abril, DRAGO obtuvo sus primeras imágenes desde el espacio. Estas bandas, no visibles al ojo humano ni a las cámaras convencionales, permiten realizar estudios relati-



Primeras imágenes de Canarias obtenidas con DRAGO, el 28 de mayo.



**Asistentes al 72nd International Astronautical Congress en Dubai delante del Pabellón de España.**

vos a la humedad, la desertificación, la salud de la vegetación y la prevención de incendios, entre otros. Las primeras imágenes de prueba corresponden a las regiones de Bangladés y la India, incluyendo la desembocadura del río Meghna en el delta del Ganges. Posteriormente, el 28 de mayo, se tomaron las primeras imágenes de Canarias.

A partir de ese momento, se han realizado numerosas observaciones de distintas zonas del planeta para comprobar las capacidades de DRAGO: detección de incendios en Canadá, inundaciones en la India, volcán de La Palma, etc.

Estos resultados han sido presentados en numerosos foros, destacando lo realizado en el 72nd International Astronautical Congress, en Dubai, donde se acudió con un stand propio dentro del pabellón de España promocionado por ICEX.

Parte de los desarrollos llevados a cabo para DRAGO están pendientes de una patente.

### **ALISIO-1 y DRAGO-2**

Como continuación de los desarrollos anteriores, y en línea con los objetivos del Plan de Recuperación IAC, el equipo del proyecto está diseñando una nueva versión de DRAGO. DRAGO-2, disponible en marzo de 2022, incorpora una óptica mejorada que incrementará significativamente la resolución en tierra, ampliando las aplicaciones y capacitando al equipo en el desarrollo de sistemas ópticos de alta resolución. Además, se incluirán modificaciones en el software de control que permitirán un mayor procesamiento de las imágenes a bordo del satélite. DRAGO-2 está diseñado para su inclusión en una plataforma 6U+.

Otro de los objetivos incluidos en el Plan de Recuperación es el posicionamiento en el sector de las comunicaciones ópticas Tierra-Espacio.

Por ello, se pretende adquirir e integrar en el satélite un dispositivo de comunicaciones ópticas que permita realizar enlaces ópticos con un telescopio terrestre.

Por tanto, el conjunto de la plataforma, el instrumento DRAGO-2 y el sistema de comunicaciones ópticas conformarán el satélite ALISIO-1 (Advanced Land-Imaging Satellite for Infrared Observations), que será puesto en órbita para comenzar su misión en el año 2023.

### *Estación de control de satélites*

El IAC ha tomado la decisión estratégica de instalar una estación propia de control de satélites en el centro. Para ello, se consiguió la financiación necesaria y, desde IACTEC-Espacio, se inició un proyecto asociado.

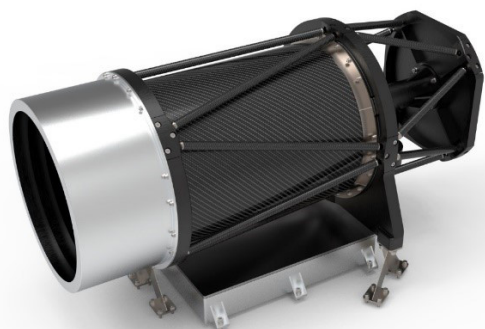
La primera fase ha consistido en un estudio externo de viabilidad técnica que abordase tanto la parte radioeléctrica como la estructural, además de realizarse el estudio de servidumbres aeronáuticas solicitado por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, AESA. Se trata de una estación con capacidad de establecer enlaces ascendentes (TX) y descendentes (RX) en la banda S para el seguimiento de satélites en órbita LEO (Low Earth Orbit). La Estación Terrena estará operativa a lo largo de 2022.

### **IACSAT-1 - TAJINASTE**

El proyecto de mini-satélite IACSAT-1 persigue dotar al IAC de un telescopio de pequeño diámetro para la realización de observación astronómica desde el Espacio. El IAC ha asumido el reto estratégico de crear un estándar de observatorio espacial (IACSAT) que sirva para la observación de fenómenos astronómicos que no se pueden caracterizar apropiadamente desde la Tierra y también como demostración tecnológica para futuros programas de monitorización de la superficie terrestre.

En concreto, se pretende desarrollar un mini-satélite en órbita LEO con un telescopio e instrumentación que posea adecuada calidad de apuntado y de seguimiento de fuentes con el fin de realizar investigaciones astronómicas, y en particular, realizar medidas de precisión fotométrica mejor que el 0.1%. Investigadores del IAC han mostrado su interés en montar instrumentación a bordo con la que obtendrían resultados para sus proyectos científicos. Tras consulta a los investigadores del centro, estos han presentado diversas propuestas científicas de las que el Comité de Dirección del centro seleccionó las más adecuadas.





IACSAT-1 incluirá una carga útil denominada temporalmente TAJINASTE (Telescope for an Astronomical Journey Involving Near-earth Asteroids, Stars, Transients and Exoplanets), un instrumento astrofísico NUV y VNIR con objetivos científicos enfocados hacia exoplanetas, asteroides primitivos, cuásares y actividad magnética en estrellas, entre otros.

El proyecto, que cuenta con fondos Recuperación IAC para las fases A y B, superó con éxito el Preliminary Requirements Review (PRR) el pasado mes de octubre.

#### **IACSAT-2 – VINIS**

El Proyecto IACSAT-VINIS tiene como finalidad el diseño de un microsatélite de alta resolución para observación de la Tierra en las bandas del visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (VIS-NIR-SWIR). La propuesta combina desarrollos y tecnologías de nueva generación, capaces de trabajar en el infrarrojo sin necesidad de criogenia, con un consumo mínimo de energía y un diseño óptico compacto, permitiendo una implementación más eficiente, viable y de menor coste que las soluciones tradicionales.

El IAC ha firmado un convenio con CDTI para llegar a la Fase 1 del desarrollo, esto es, obtener un diseño preliminar del instrumento VIS-NIR-SWIR y construir un prototipo funcional que permitirá validar las tecnologías críticas de dicho diseño. La introducción del rango SWIR es clave en esta propuesta, dado el reducido número de soluciones que cubren esta banda con satélites de pequeño tamaño. Asimismo, proporciona información imposible de obtener en otros rangos, siendo además esta información esencial para abordar con éxito retos sociales tan críticos en la actualidad como son la lucha contra los incendios, la desertificación, los vertidos de hidrocarburos en el mar, el control de inundaciones, la presencia de grandes cantidades de algas en el mar o la conservación del ecosistema y la biodiversidad de los territorios.

Este proyecto resulta también estratégico como parte de la apuesta de IACTEC de contribuir a fortalecer la industria local en Canarias con un nuevo modelo económico más diversificado y que fomente la creación de empresas de base tecnológica. Además, las iniciativas presentadas en esta propuesta están totalmente alineadas con los objetivos de la EECTI y con los propios de las estrategias de desarrollo tecnológico y socioeconómico de Canarias (RIS3 y S4).

### **COMUNICACIONES ÓPTICAS**

El equipo de IACTEC-FSOC (Free Space Optical Communications), en colaboración con el Área de Instrumentación del IAC, está llevando a cabo los primeros pasos para la creación de una gran colaboración española para el desarrollo de estándares en tierra y espacio para comunicaciones ópticas, clásicas y cuánticas.

Nuestra área de investigación principal se centra en el desarrollo e investigación del equipamiento para comunicaciones ópticas cuánticas en espacio libre, tanto en tierra como en el espacio, así como en óptica adaptativa y distribución de claves cuánticas.

#### ***Participante del Proyecto Caramuel***

El Proyecto Caramuel consiste en el desarrollo completo de una solución de Distribución de Claves Cuánticas QKD, basado en una carga útil alojada que será transportada en un satélite geoestacionario. El Proyecto está formado por un consorcio de empresas de primer nivel como Hispasat, Thales Alenia Space, Cellnex, GMV, Telefónica, Sener, entre otras y entre las que se encuentra IACTEC-FSOC.

Dentro del Proyecto, IACTEC-FSOC, se encuentra enclavado en varios paquetes de trabajo, y es el encargado de desarrollar la Óptica Adaptativa del sistema, que compensará la turbulencia atmosférica entre la estación de tierra y el satélite geoestacionario. Adicionalmente se está dando soporte al análisis del cálculo de pérdidas del enlace y al telescopio de tierra.



Este Proyecto será financiado por el CDTI y la ESA y se encuentra en fase de entrega de la propuesta final.

#### **Cooperante del Proyecto StarShot**

Esta iniciativa intenta construir el láser más poderoso del mundo y dirigirlo para enviar una sonda a nuestra estrella más cercana, Alpha Centauri, en sólo 20 años, lo que se convertiría en el primer lanzamiento interestelar de la humanidad.

En el aspecto científico, Starshot está dirigido por el astrofísico Pete Worden y cuenta con Avi Loeb, astrofísico de la Universidad de Harvard y Stephen Chun, premio nobel de física en 1997 entre otros.

El papel de IACTEC-FSOC en el Proyecto es la simulación de las comunicaciones ópticas en espacio libre mediante una matriz de telescopios.

#### **Propuesta para el Proyecto SunSet**

En colaboración con Sener Aeroespacial, LuxQuanta, Cellnex, Sateliot, Qside e ICFO, se presentó propuesta al CDTI, con la idea de impulsar la seguridad de la información, la privacidad y la ciberseguridad en la economía y sociedad española del siglo XXI.

El objetivo general del Proyecto Sunset es el desarrollo de una plataforma tecnológica de distribución cuántica de claves QKD desde satélites de órbita baja LEO que permita la implementación de métodos de encriptación ultra-seguros entre nodos lejanos de redes de comunicación terrestre.

En este Proyecto IACTEC-FSOC contribuye con un estudio respecto a la necesidad y eventual diseño de óptica adaptativa en la recepción de la señal cuántica o de la baliza y en la modelización del medio turbulento. Adicionalmente contribuye al diseño respecto a las tecnologías para el establecimiento y mantenimiento del apuntamiento en comunicaciones ópticas por satélite.

#### **Alianza de colaboración con CT Ingenieros**

Colaboración inter-empresas en el desarrollo de una estación portable para comunicaciones ópticas cuánticas, entre edificios, inter islas y con satélites.

La colaboración recoge el diseño de una solución de sistema de comunicaciones con encriptación cuántica y la implementación de una solución diseñada en un sistema embarcable, por ejemplo, un vehículo.

#### **Módulo de comunicaciones ópticas embarcado en el satélite ALISIO-1**

En estado actual de “en estudio”, se ha sacado a licitación la incorporación de carga útil para el módulo de comunicaciones ópticas Espacio-Tierra en el satélite ALISIO-1, basado en el estándar CCSDS 141.0 que describe como realizar la comunicación óptica en su capa física.

Este módulo servirá para realizar comunicaciones a alta velocidad entre el satélite y la Tierra, dando un canal de bajada para los datos de telemetría.

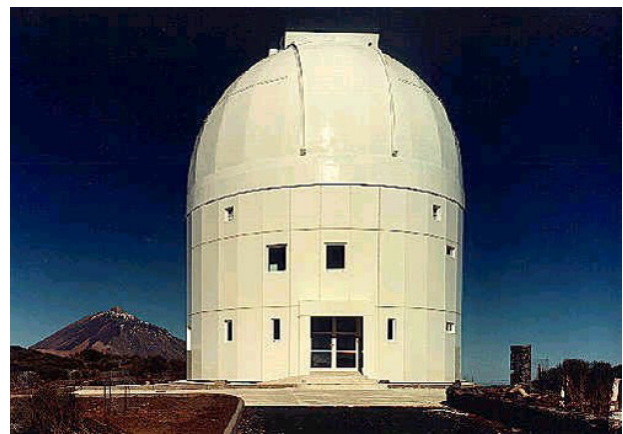


#### **Propuesta de participación en el proyecto Cloud Combat Eurofighter**

Dentro del programa FCAS (Future Combat Air System), liderado por Indra como coordinador nacional Industrial, IACTEC-FSOC ha sido postulado para trabajar en el desarrollo de las comunicaciones ópticas, dentro del sistema de “cloud combat” que incorpore el futuro avión Eurofighter. El proyecto, cuenta con una fase de análisis de aproximadamente 10 años.

#### **Colaboración interempresas Spire**

Empresa de origen americano, cuyo roadmap de cara al año 2022 incluye los enlaces ópticos entre Espacio y la Tierra y su establecimiento en Europa. Se mantuvo reuniones de cara a posibles colaboraciones y utilización por parte de la empresa la estación OGS perteneciente





a IAC. La idea sería que, en caso de establecerse en Europa, Tenerife y concretamente IAC-TEC fuesen su nodo de establecimiento para el control de satélites LEO.

### *SPIE Photonics West*

Spie West es el mayor congreso internacional de tecnología fotónica en el mundo. Organizado por la sociedad internacional SPIE (International Society for Optics and Photonics), se ha propuesto al IACTEC-FSOC para participar en tres conferencias con sus papers asociados:

1) La cámara plenóptica como sensor de frente de ondas en comunicaciones ópticas del espacio libre; 2) *QKD con Óptica Adaptativa* y 3) Estación portable de tierra multifunción para comunicaciones QKD utilizando óptica adaptativa.

El congreso tendrá lugar en San Francisco (California, EEUU), del 22 al 27 de enero de 2022.



### *Formación Keysight UX0164A*

Formación de la empresa Keysight acerca del osciloscopio UX0164A con rango de medida de hasta 16 GHz, extensible a todo el Departamento de Electrónica de IAC.



## TECNOLOGÍA MÉDICA

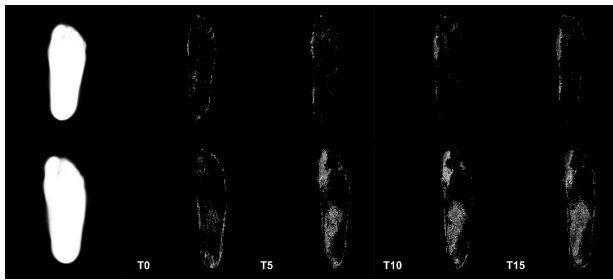
### *Laboratorio de Fotónica y Electrónica*

Durante esta anualidad el equipo de Tecnología Médica ha estado involucrado de manera muy activa en la dotación de infraestructura al edificio IACTEC. En este sentido, se ha gestionado la dotación de equipamiento de altas prestaciones técnicas para los Laboratorios de Fotónica y Electrónica, asociados a los fondos de Infraestructura 2019 y al Plan de Recuperación. Por un lado, se ha continuado con la adquisición de cámaras en distintas bandas del espectro electromagnético, cubriendo desde el ultravioleta hasta el infrarrojo térmico. De otro lado, se ha adquirido equipamiento avanzado para dotar al laboratorio con instrumentación en el rango de microondas.

### *PINRELL (Prototype for INfraRED analysis of Lower Limbs)*

El prototipo PINRELL permite la adquisición de imágenes multicanal: infrarrojo térmico (IR), visible (RGB) y profundidad (D). En el pasado año se han realizado dos campañas de adquisición de imágenes de sujetos sanos, dando lugar a la creación de dos bases de datos de imágenes multicanal (IR-RGB-D). Esto ha permitido la implementación de algoritmos destinados a la mejora y optimización del prototipo PINRELL. Particularmente, se ha perfeccionado el registrado temporal y espacial entre los distintos canales [DOI: 10.3390/s21072264], y se ha desarrollado un sistema eficiente de segmentación automática (Deep Learning) tras considerar varios modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) [DOI: 10.3390/s21030934]. Por otra parte, se ha creado un modelo morfológico de pie sano para cada género. Estos modelos se han utilizado en combinación con métodos estadísticos clásicos para detectar las regiones de la planta del pie en la que mayor variabilidad puede observarse [DOI: 10.3390/app11167396].

De manera paralela, se está desarrollando una nueva aplicación de ensayo clínico flexible y versátil, implementada en Python y que incluye una interfaz gráfica. Está previsto añadir a dicha aplicación nuevos sensores adquiridos como infraestructura para el laboratorio de fotónica y electrónica, que operan a distintas longitudes de onda. La aplicación permitirá la adquisición de imágenes multimodales, así como el procesamiento de datos atendiendo a los algoritmos previamente desarrollados. Esta aplicación permitirá crear una base de datos para monitorizar longitudinalmente anomalías del pie diabético.



**Modelo de pie morfológico (columna 1) al que se han superpuesto las imágenes de todos los sujetos. Las columnas sucesivas indican las regiones en las que se han detectado cambios significativos en los distintos periodos de tiempo considerados: 0, 5, 10, y 15 minutos. La fila superior está asociada al modelo femenino y la inferior al masculino.**

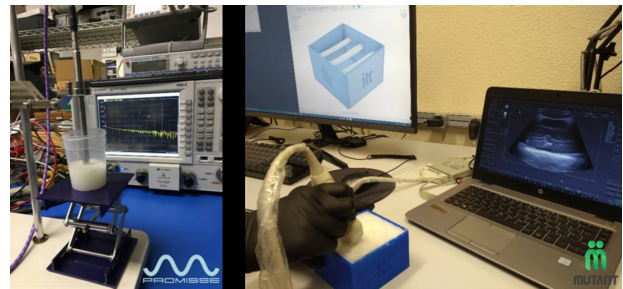
### *PROMISSE (PROtotype for Microwave System for Subcutaneous anomaliEs)*

Dentro de las tareas asociadas a PROMISSE con el desarrollo de sensores de microondas para la medida en profundidad de anomalías térmicas, se ha llevado a cabo el diseño de una nueva topología de receptor que permite realizar una auto calibración en tiempo real del sistema, proporcionando herramientas para evaluar si es necesario una calibración externa [DOI: 10.3390/electronics10121427]. La configuración desarrollada está basada en reducir el ruido aportado por el receptor en la medida y, a su vez, tras una calibración externa con fuentes conocidas, proporcionar un conjunto de señales de salida que permiten corregir la respuesta del sistema por las variaciones que se producen en el propio receptor debido a su funcionamiento (como puede ser cambios de temperatura, derivas temporales, etc.), así como evaluar si esas variaciones requieren realizar una nueva calibración externa.

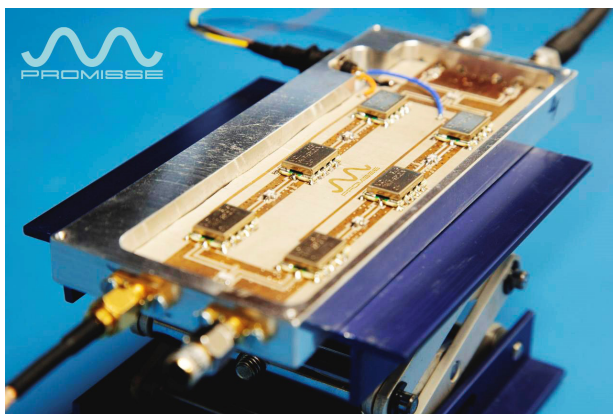
### *MUTANT (Multimodal Tissue phANToms)*

Se ha continuado con la línea de investigación dedicada a la creación de fantasmas pseudo-antropomórficos que simulen tejido pulmonar y la superficie torácica para ser uti-

lizados en la práctica clínica como herramienta de aprendizaje, particularmente relevante dadas las circunstancias actuales respecto a la crisis sanitaria originada por la COVID-19. Los fantasmas desarrollados son bimodales, están adaptados para ser usados tanto en el rango de las microondas como en imagen de ultrasonido (ecografía). De esta forma, la imagen ecográfica podría usarse para el guiado del prototipo PROMISSE. Asimismo, se ha contribuido al 54º Congreso de la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica SEPAR [<https://www.archbronconeumol.org/es-pdf-X0300289621010220>].



**Figura 3: Caracterización experimental de algunos de los fantasmas fabricados en las modalidades de microondas (izquierda) y ultrasonido (derecha).**



**Imagen del radiómetro a la frecuencia de 3.5 GHz, diseñado y fabricado por el equipo de Tecnología Médica.**

# ÁREA DE ENSEÑANZA SUPERIOR



Corresponde al Área de Enseñanza Superior organizar y coordinar las actividades del Instituto para la difusión de los conocimientos astronómicos, la colaboración con la enseñanza universitaria especializada en Física y Astronomía y la formación y capacitación del personal científico y técnico en todos los campos relacionados con la Astrofísica. La formación de nuevos doctores en Astrofísica es uno de los cometidos fundamentales del Área. El Área de Enseñanza Superior organiza, en particular, los programas de Formación de Doctores en Astrofísica (Astrofísicos Residentes propios del IAC, Astrofísicos Residentes del programa de colaboración con La Caixa, doctorandos internacionales y parte de los programas de FPI, FPU y ayudas del Gobierno de Canarias), el programa de Becas de Verano de Iniciación a la Investigación Astrofísica y la “Canary Islands Winter School of Astrophysics”, este año se organizó la XXXII edición. También acoge a estudiantes en formación de redes internacionales, y de doctorados en cotutela con varias universidades europeas. El IAC también participa en los estudios de posgrado (Máster y doctorado) que han obtenido las menciones de “Excelencia” o “Hacia la Excelencia” en todas las convocatorias Ministeriales. Dentro de la actividad docente correspondiente a 2021 se impartieron los cursos que se relacionan a continuación:



## CURSOS DE DOCTORADO

### CURSOS IMPARTIDOS DENTRO DEL MÁSTER DE ASTROFÍSICA

Segundo cuatrimestre del curso académico 2020-21 (febrero a junio de 2021)

#### I Curso:

##### “Instrumentación básica”

Prof. R.J. García López (IAC-ULL)

##### “Cosmología”

Prof. J. Cepa Nogué (IAC-ULL)

##### “Técnicas de Espectroscopía”

Profs.: C. Lázaro Hernando y J. Becerra González (IAC-ULL); J.A. Acosta Pulido, N. Caon, M.J. Martínez González y J.C. Trelles Arjona (IAC)

##### “Nebulosas Ionizadas”

Prof. C. Esteban López (IAC-ULL)

##### “Exoplanetas y Exobiología”

Profs.: V. Sánchez Bejar, R. Alonso Sobrino, J.A. Belmonte Avilés, H. Pariainen y E. Pallé Bagó (IAC)

##### “Radioastronomía”

Prof. J. Betancort Rijo (IAC-ULL)

##### “Astrofísica de Altas Energías y Astropartículas”

Profs.: R.J. García López, P. Rodríguez Gil y J. Becerra González (IAC-ULL)

##### “Técnicas de simulación numérica”

Profs.: C. Brook (IAC-ULL) e I. Alonso Asensio (IAC)

##### “Astrofísica Computacional”

Profs.: E. Mediavilla Gradolph y C. Brook (IAC-ULL)

##### “Física del plasma cósmico”

Prof. M. Collados Vera (IAC-ULL)

##### “Física de objetos compactos y procesos de acreción”

Profs.: I. González Martínez-Pais y P. Rodríguez Gil (IAC-ULL)

##### “Estructura del Universo a Gran Escala”

Profs.: J. Betancort Rijo (IAC-ULL) y F.S. Kitaura Joyanes (IAC)

Primer cuatrimestre del curso académico 2021- 22 (septiembre de 2021- enero de 2022):

#### I Curso:

##### “Estructura y Evolución Estelar”

Profs.: S. Comerón Limbourg (IAC-ULL); S. Simón Díaz (IAC)

##### “Atmósferas Estelares”

Prof. A. Herrero Davó (IAC-ULL)

##### “Física Galáctica”

Profs.: A. Aparicio Juan (IAC-ULL); J. Méndez Abreu (Univ. Granada)

##### “Física Extragaláctica”

Profs.: A. Di Cintio (IAC-ULL); J. Méndez Abreu (Univ. Granada)

##### “Técnicas Computacionales Básicas”

Profs.: S. Comerón Limbourg y F.S. Kitaura Joyanes (IAC-ULL); A. Kovacs (IAC)

##### “Técnicas Observacionales Básicas”

Profs.: C. Lázaro Hernando (IAC-ULL); N. Caon (IAC)

#### II Curso:

##### “Técnicas Astrofísicas de Objetos Extensos”

Prof. I. Pérez Fournón (IAC-ULL)



**“Actividades Complementarias a la Investigación**

Profs.: M.J. Arévalo Morales y J. Becerra González (IAC-ULL)

**“Espectropolarimetría en Astrofísica”**

Profs.: J.A. Rubiño Martín y T. del Pino Alemán (IAC)

**“Técnicas de programación”**

Prof. A. Sukhorukov (IAC)

**“Instrumentación Avanzada”**

Profs.: F. Garzón López (IAC-ULL); R.T. Génova Santos (IAC); P. Hammersley (ESO)

**“Física Solar y Clima Espacial”**

Profs.: F. Moreno Insertis y M. Collados Vera (IAC-ULL)

**CURSOS IMPARTIDOS EN LA LICENCIATURA DE FÍSICA**

**Segundo cuatrimestre curso 2020-21 (febrero a junio de 2021)**

**GRADO EN FÍSICA:****I Curso:****“Física Básica II”**

Profs.: M.J. Arévalo Morales, J. Cepa Nogué y A. Di Cintio (IAC-ULL)

**“Computación Científica II”**

Profs.: I. González Martínez-Pais y S. Comerón Limbourg (IAC-ULL); F.S. Kitaura Joyanes (IAC)

**III Curso:****“Dinámica de Fluidos Astrofísicos”**

Prof. F. Moreno Insertis (IAC-ULL)

**Optativas:****“Electrónica y Óptica en Astrofísica”**

Profs.: M. Collados Vera, F. Garzón López y R.J. García López (IAC-ULL)

**“Técnicas Astrofísicas”**

Profs.: E. Mediavilla Gradolph, P. Rodríguez Gil y J. Becerra González (IAC-ULL)

**Primer cuatrimestre curso 2021-22**

**(septiembre de 2021 a enero de 2022)**

**I Curso:****“Computación Científica I”**

Profs.: C. Esteban López (IAC-ULL); C. Westerdorp Plaza y J. García Rojas (IAC)

**II Curso:****“MM4: Ecuaciones Diferenciales y Variable Compleja”**

Profs.: T. Roca Cortés e I. González Martínez-Pais (IAC-ULL); J. Martín Camalich (IAC)

**III Curso:****“Astrofísica y Cosmología”**

Profs.: A. Aparicio Juan y B. Ruiz Cobo (IAC-ULL)

**IV Curso:****“Relatividad General”**

Prof. F. Pérez Hernández (IAC-ULL)

**“Prácticas Externas”**

Profs.: I. Pérez Fournon (IAC-ULL); F. Poidevin (IAC)

**GRADO EN MATEMÁTICAS:**

**Segundo cuatrimestre curso 2020-21 (febrero a mayo de 2021)**

**IV Curso:****“Análisis Espectral de Datos”**

Prof. Carlos Lázaro Hernando (IAC-ULL)

**Primer cuatrimestre curso 2020-21**

**(septiembre de 2021 - enero de 2022)**

**I Curso:****“Fundamentos de Física”**

Profs.: J. Cepa Nogué y M.J. Arévalo Morales (IAC-ULL)

**CURSO DE ACCESO A LA UNIVERSIDAD PARA MAYORES DE 25 AÑOS (CAM-25)**

**Primer cuatrimestre curso 2020-21 (octubre de 2021 - marzo de 2022)**

**“Física”**

Profs.: M.J. Arévalo Morales y B. Ruiz Cobo (IAC-ULL)

## SEMINARIOS CIENTÍFICOS

Siguiendo el programa de seminarios-charlas informativas para el personal del Instituto iniciado en 1995, cada semana y con cierto carácter informal, vienen dándose en el IAC, bajo el título de “Seminarios”, una serie de breves charlas informativas sobre el trabajo científico individual del personal del Instituto y visitantes. En 2021 han tenido lugar los siguientes seminarios:

**“Smack 8: Advanced Git”**

Dr. Ángel de Vicente Garrido (IAC)  
28 enero

**“Estado actual del sistema de lanzamiento de la estrella guía láser de GTC”**

Dr. Jorge Sánchez-Capuchino Revuelta (IAC)  
29 enero

**“High-performance control for adaptive optics”**

Prof. Caroline Kulcsár (Institut d’Optique Graduate School, Francia)  
12 febrero

**“QUIJOTE: el estado de la instrumentación CMB en Canarias”**

D. Pablo Alberto Fuerte Rodríguez (IAC)  
19 febrero

**“The evolution of massive contact binaries: model predictions for the Magellanic Clouds and the Milky Way”**

Dr. Athira Menon (Univ. de Amsterdam, Países Bajos)  
23 febrero

**“Haciendo simple la gestión de documentos con la herramienta de gestión documental del EST”**

D. Noé A. Rodríguez González (IAC- EST PO)  
26 febrero

**“Hunting exoplanets with the ESPRESSO spectrograph”**

Dr. Pedro Figueira (ESO)  
2 marzo

**“A Potpourri of Polar Crown Filaments - Physical Environment of High-latitude and Polar Crown Filaments”**

D. Andrea Diercke (Inst. de Astrofísica de Potsdam, Alemania)  
4 Marzo

**“Sistema de control de WEAVE: un recorrido”**

D. José Miguel Delgado Hernández (IAC)  
5 marzo

**“Rossby waves and solar activity variations”**

Dr. Teimuraz Zaqarashvili (Univ. de Graz, Austria)  
9 marzo

**“Hertzsprung-Russell Diagram: from massive Wolf-Rayet stars to stripped helium stars”**

Dr. Tomer Shenar (KULeuven)  
11 marzo

**“La gestión de las dependencias planificando proyectos en organizaciones matriciales”**

D. Txinto Vaz (IAC)  
12 marzo

**“Light in the dark: GW190521 as a boson star merge”**

Dr. Nicolás Sanchís-Gual (Dpto. de Matemática, Univ. de Aveiro - Centre for Research and Development in Mathematics and Applications CIDMA, Portugal)  
16 marzo

**“SMACK 9: The Python Ecosystem for Astronomy”**

D. Jorge A. Pérez Prieto (IAC)  
18 Marzo

**“GTCAO. Instalaciones auxiliares y complementarias. Lo considerado como menos importante también es relevante”**

D. Eduardo David González (IAC)  
26 marzo

**“The diversity of building up the quiescent sequence at redshift  $z \sim 1$ ”**

Dr. Sandro Tacchella (CfA Harvard, Massachusetts, EEUU)  
8 abril

**“El software de Gris. Presente y futuro”**

D. Jorge Quintero Nehrkorn (IAC)  
9 abril

**“Gas, stars, and globular clusters in the local Universe as tracers of galaxy formation and evolution, and the nature of dark matter”**

Dr. Sebastián Trujillo Gómez (Univ. de Heidelberg, Alemania)  
20 abril

**“The evolutionary history of the Milky Way disk(s) and halo from Gaia colour-magnitude diagram fitting”**

Dra. Carme Gallart Gallart (IAC)  
23 abril

**“SMACK 10: Introduction to Pandas”**

Dr. Diego Tuccillo (IAC)  
23 abril

**“Where feedback fails: clues from the dynamics of massive galaxies?”**

Dr. Lorenzo Posti (Obs. Astron. de Strasbourg, Francia)  
27 abril

**“What causes the accelerated expansion of the Universe?”**

Prof. Steen Hansen (Univ. de Copenhagen - DARK Cosmology Center, Dinamarca)  
29 abril

**“Control TTNN: ¿Cómo vamos?”**

D. Francisco Hernández Hernández (IAC)  
30 abril

**“Turbulence and Particle Acceleration in Solar Flares”**

Prof. Lyndsay Fletcher (Univ. de Glasgow, Escocia – Univ. de Oslo, Noruega)  
4 mayo

**“En la trastienda de la gestión de proyectos”**

Dr. Jesús Patrón Recio (IAC)  
7 mayo

**“Matter-antimatter sourced dark matter”**

Prof. Rodrigo Alonso (Univ. de Durham, Reino Unido)  
11 mayo

**“Constraints on Ultra-Light Dark Matter from Galactic Rotation Curves”**

Prof. Diego Blas (Imperial College, Londres, Reino Unido)  
13 mayo

**“The Gran Telescopio Canarias Adaptive Optics system: getting ready for the sky”**

Dra. Iciar Montilla García (IAC)  
14 mayo

**“1st IAU-GST seminar: The revolution of task-based computing, applied to stellar and planetary atmospheres”**

Prof. Aake Nordlund (Niehls Bohr Institute, Univ. de Copenhagen, Dinamarca)  
18 mayo

**“Reconstructing the history of the Milky Way and probing the dark matter nature in WEAVE and LSST era”**

Dr. Guillaume Thomas (IAC)  
20 mayo

**“La idiosincracia de la gestión de proyectos instrumentales en el IAC”**

Dña. Ángeles Pérez de Taoro (IAC)  
21 mayo

**“The Cosmic NeuTRIVIA game”**

Dra. Olga Mena (Inst. de Física Corpuscular IFIC)  
25 mayo

**“A multiwavelength look into the common evolution of luminous quasars and their host-galaxies”**

Dra. Manuela Bischetti (INAF, Trieste, Italia)  
27 mayo

**“The quest for axions”**

Dr. Javier Redondo (Univ. de Zaragoza)  
3 junio

**“Alta Resolución Espectral (ARES): ¿Qué distingue a estos instrumentos?”**

D. Manuel Amate Plasencia (IAC)  
4 junio

**“Mapping the Sun’s upper photosphere with artificial neural networks”**

Dr. Héctor Socas-Navarro (IAC)  
8 junio

**“Photoionized Herbig-Haro objects in the Orion Nebula. Laboratories to better understand ionized nebulae”**

D. José Eduardo Méndez Delgado (IAC)  
17 junio

**“Retomando el control en Óptica Adaptativa diurna, tras veinticinco años de pausa”**

Dr. Hareesh M. Chulani (IAC)  
18 junio

**“Using Machine learning in interstellar médium”**

Dr. Christophe Morisset (UNAM, México)  
22 junio

**“Cosmology with a new observable: Angular Redshift Fluctuations (ARF)”**

Dr. Carlos Hernández-Monteagudo (IAC)  
24 junio

**“El criostato de pruebas de la Preóptica de Harmoni”**

Dr. Ángel Alonso Sánchez (IAC)  
25 Junio

**“Charla SMACK: Introduction to LaTeX”**

Dr. Nicola Caon (IAC)  
1 julio

**“Análisis de stray light en instrumentación astrofísica”**

Dr. Miguel Ángel Cagigas García (IAC)  
2 julio

**“The rotation of massive stars with and without compact companions”**

Prof. Norbert Langer (Univ. de Bonn, Alemania)  
6 julio

**“The interplay between local and global properties in galaxies”**

Dr. Sebastián F. Sánchez (UNAM, México)  
8 julio

**“Ic80, la nueva pipeline en tiempo real para análisis de curvas de luz del telescopio IAC80”**

Dr. Sergio Cerezo (Univ. de La Laguna) y Dra. Olga Zamora Sánchez (IAC)  
9 julio

**“Intensity Interferometry using the MAGIC telescopes”**

Dr. Thomas Schweizer (Max Planck Inst. fuer Physik, Múnich, Alemania)  
13 julio

**“TMT Project Status and Overview”**

Dra. Gelys Trancho (TMT)  
16 julio

**“Sistemas de Control para instrumentos de GTC”**

Dña. Josefina Rosich Minguell (IAC)  
16 Julio

**“G5T: ExoMoIHD: Precision spectroscopic data for studies of exoplanets and other hot atmospheres”**

Dr. Sergey Yurchenko (University College, Londres, Reino Unido)  
20 julio

**“Sistemas de Control para instrumentos de GTC”**

Dña. Josefina Rosich Minguell (IAC)  
23 julio

**“De lo que no se habla, no se conoce:**

**La Comisión de Medioambiente y Sostenibilidad del IAC”**

Dr. Juan Villa Morales (IAC)

30 julio

**“Pushing automated classifications to their limits: the largest galaxy morphological catalog up to date”**

Dr. Jesús Vega-Ferrero (IAC)

7 septiembre

**“Cosmology with a new observable: Angular Redshift Fluctuations (ARF)”**

Dr. Carlos Hernández-Monteagudo (IAC)

9 septiembre

**“Application of simulation-based inference to problems in astrophysics”**

Dr. Siddharth Mishra-Sharme (Univ. de Nueva York, NYU, EEUU)

16 septiembre

**“G5T: Exoplanetary Atmospheres”**

Dr. Nikku Madhusudhan (Inst. of Astronomy, Univ. de Cambridge, Reino Unido)

21 septiembre

**“Un IAC más sostenible”**

Dr. Antonio Mampaso Recio (IAC)

30 septiembre

**“Puesta en marcha del sistema termoeléctrico de enfriamiento para criogenia de detectores / Diseño, simulación y verificación con tecnología microelectrónica de una unidad de comunicación para el control de una interfaz con aplicaciones en polarimetría”**

D. Roberto Varas González y Jesús Miguel Laliena Martínez (IAC)

1 octubre

**“Seeing the ghostly galactic halos”**

Dr. Noraiz Tahir (Univ. de Salento, Italia)

7 octubre

**“IACTEC a corto y medio plazo”**

Dr. Pablo Redondo Caicoa (IAC/IACTEC)

8 octubre

**“(Re)solving Reionization with Lyman-alpha emission”**

Dr. Jorryt Matthee (ETH, Suiza)

14 octubre

**“Comunicaciones ópticas en el espacio libre: rendimiento en el acoplamiento a una fibra óptica ante perturbaciones atmosféricas y necesidad de Óptica Adaptativa”**

D. Carlos Masagro Santa (IAC)

15 octubre

**“Galaxy evolution and cosmology using gamma rays observed with Fermi-LAT”**

Dr. Alberto Dominguez (UCM)

19 octubre

**“El IAC y los láseres para comunicaciones en el espacio y óptica adaptativa”**

D. Marcos Reyes García Talavera (IAC)

22 octubre

**“Using the Visible Spectral Reflectance Properties to Probe Aqueous Alteration in the Solar System”**

Dra. Faith Vilas (Planetary Space Inst., Arizona, EEUU)

26 noviembre

**“Magnetic reconnection in partially ionized plasmas”**

Dr. Slava Lukin (NSF)

28 noviembre

**“The high-energy view of Galactic particle accelerators”**

Dr. Fabio Acero (AIM, CEA, Saclay, Francia)

2 Noviembre

**“How well does galaxy clustering constrain cosmology?”**

D. Sergio Contreras (DIPC)

4 noviembre

**“Do it faster! Simple ways to use all those cores (and GPUs) efficiently”**

Drs. Andrea Negri y Carlos Allende Prieto (IAC)

16 noviembre



**“Academic freedom: what it is, how we protect it”**

Prof. Erik J. Olsson (Univ.de Lund, Suecia)  
18 noviembre

**” Frame grabber en FPGA: espectropolarimetría en SUNRISE III”**

D. David Hernandez Expósito (IAC)  
19 noviembre

**“Planetary Pieces: Putting the clues together using whited dwarfs”**

Dra. Eva Villaver (CAB)  
23 noviembre

**“IAU G5: Extreme Precision Stellar Spectroscopy”**

Dr. Dainis Dravins (Lund Obs., Suecia)  
23 noviembre

**“What happened to the Milky Way 8 billion years ago?”**

Dr. Florent Renaud (Lund Obs., Suecia)  
25 noviembre

**“Patrimonios desconocidos: la colección gráfica del Instituto de Astrofísica de Canarias”**

Prof. Elisa Díaz González (Univ. de La Laguna)  
25 noviembre

**“Catástrofes y accidentes astronómicos”**

Dr. Carlos Martín Díaz (IAC)  
26 noviembre

**“Mark I: an astronomer’s lifetime experiment”**

Prof. Teodoro Roca Cortes (IAC)  
30 noviembre

**“¿Hacemos diseños seguros?”**

Dr. Oscar Tubío Araujo (IAC)  
3 diciembre

**“Introduction to Containers (Docker and Singularity)”**

Dres. Ángel de Vicente Garrido y  
Mohammad Akhlaghi  
9 diciembre

**“The first year of science with the James Webb Space Telescope”**

Dra. Macarena García Marín (STScI)  
13 diciembre

**“Galactic Globular Clusters: Why should we care about them?”**

Dr. Santi Cassisi (INAF)  
14 diciembre

## COLOQUIOS IAC

Siguiendo el programa iniciado en 1991, el IAC organiza una serie de conferencias de especial relevancia a las que asiste como invitado un científico de prestigio internacional. Con ello se pretende que los distintos grupos de Investigación tengan una oportunidad complementaria de establecer relaciones con personalidades científicamente relevantes, activas y en vanguardia a nivel mundial. Durante el 2021 tuvieron lugar los siguientes coloquios:

**“Multiple stellar populations in globular clusters: Properties, origin, unsolved questions”**

Prof. Corinne Charbonnel (Univ. de Ginebra, Suiza).

21 enero

**“The multiple routes of galaxy transformation across the cosmic epochs”**

Prof. Roberto Maiolino (Kavli Institute, Cambridge, Reino Unido)

02 diciembre

## BECAS

### ESTUDIANTES DE DOCTORADO

#### Becas de iniciación a la investigación en Astrofísica

El Programa de Verano 2021 (15 de julio - 15 de septiembre) ha ofrecido 6 becas a estudiantes de Máster, para integrarse en grupos de investigación del IAC como iniciación a la investigación en Astrofísica. La convocatoria tiene carácter internacional.

En el 2021 se concedieron becas de verano a los siguientes estudiantes:

**- Jorge Sarrato Alós (Univ. de La Laguna)**

Proyecto: "Morpho-kinematic analysis of the host galaxies of AGN"

Directora Dra. Begoña García Lorenzo y Co-directora Dra. Adriana de Lorenzo Cáceres

**- Amanda Aguilar Álvarez (Univ. de La Laguna)**

Proyecto: "The impact of satellite constellations on radio astronomy"

Director Dr. Mike Peel

**- Paul Geyer (Univ. de Graz, Austria)**

Proyecto: "Natural Night Sky Brightness during solar minimum"

Directores Dres. Miquel Serra Ricart y Javier Licandro Goldaracena

**- Pablo Daniel Contreras Guerra (Univ. de La Laguna)**

Proyecto: "Looking for the widest binaries"

Directores Dr. Ricardo Dorda Laforet y Dra. Patricia Chinchilla Gallego

**- Junyan Zhang (Univ. de Cantabria)**

Proyecto: "Laboratory spectra of gas mixtures of relevance for ultracool atmospheres"

Directores Dres. Eduardo Martín Guerrero de Escalante y José Luis Rasilla Piñeiro

**- Carlos Martínez Sebastián (Univ. de La Laguna)**

Proyecto: "Empirical assessment of proposed mechanisms to explain the presence of He and CNO processed material in the surface of slowly rotating"

Directores Dres. Sergio Simón Díaz y Abel de Burgos Sierra

### Nuevos Astrofísicos Residentes

Dentro del programa de Astrofísicos Residentes para realizar la tesis doctoral en el IAC, se han concedido nuevos contratos predoctorales a los siguientes estudiantes:

**- Juan Francisco Hernández Cabrera (Univ. de Las Palmas de Gran Canaria)**

Proyecto: "A tunable haloscope for a broad band search for axion dark matter above 25  $\mu\text{eV}$ "

Director Dr. Enrique Joven Álvarez y Co-director Dr. Javier de Miguel Hernández.

**- Miguel Rodríguez Alarcón (Univ. de La Laguna)**

Proyecto: "Compositional studies of asteroid families using Deep Learning"

Director Dr. Javier Licandro Goldaracena y Co-director Dr. Miquel Serra-Ricart

**- Junyan Zhang (Univ. de Cantabria)**

Proyecto: "The halo mass function and the search for metal-poor brown dwarfs"

Director Dr. Nicolas Lodieu y Co-director Dr. Eduardo Martín Guerrero de Escalante

**- Andrés Bañares Hernández (Imperial College, Londres, Reino Unido)**

Proyecto: "Searching for ultralight dark matter with stellar cooling"

Director Dr. Jorge Martín Camalich y Co-director Dr. Paul Beck

**- Eirini Angeloudi (Univ. de Peloponnese, Grecia)**

Proyecto: "Unveiling the mass assembly of galaxies coupling artificial intelligence and orbital decomposition methods"

Director Dr. Jesús Falcón Barroso y Co-director Dr. Marc Huertas-Portocarrero Company

**- Manuel Sánchez Benavente (Univ. de La Laguna)**

Proyecto: "Unravelling the Local Group evolution with variable stars"

Director Dr. Matteo Monelli y Co-directora Dra. Carme Gallart Gallart

**Estudiantes de doctorado con otras fuentes de financiación**

Dentro del programa de Formación del Personal Investigador financiadas por el Ministerio de Economía y Competitividad, han iniciado la tesis doctoral en el IAC los estudiantes:

**- Emma Esparza Borges – FPI-SO (Univ. de La Laguna)**

Proyecto de I+D: CEX2019-000920-S-20-2 "Studying exoplanetary atmospheres using the chromatic line-profile tomography technique"

Director Dr. Enric Pallé Bagó y Co-director Dr. Mahmoudreza Oshagh

**- Giulia Golini – FPI-SO (Univ. de Padova, Italia)**

Proyecto de I+D: CEX2019-000920-S-20-5 "Formación y Evolución de Galaxias Computacional"

Director Dr. Ignacio Trujillo Cabrera

**- Maren Brauner – FPI-SO (Univ. de La Laguna)**

Proyecto de I+D: CEX2019-000920-S-20-3 "Identifying chemically peculiar stars in large spectroscopic databases with machine learning algorithms"

Director Dr. Aníbal García Hernández y Co-director Dr. Thomas Masseron

**- Martín Manuel Gómez Miguez – FPI-SO (Univ. de La Laguna)**

Proyecto de I+D: CEX2019-000920-S-20-1 "Heating of the solar chromosphere by means of magneto-acoustic waves"

Directora Dra. Elena Khomenko y Co-director Dr. David Martínez Gómez

**- Elena Arjona Gálvez – FPI-SO (Univ. de La Laguna)**

Proyecto de I+D: CEX2019-000920-S-20-4 "Local Group simulations with Black Holes feedback: detailed analysis and comparison with ongoing and upcoming surveys"

Directora Dra. Arianna Di Cintio y Co-director Dr. Robert Grand

**- Nataliya Ramos Chernenko – FPI (Univ. de Granada)**

Proyecto de I+D: PID2019-110614GB-C21 "Unveiling the first epochs of structure formation in the era of Euclid"

Director Dr. Carlos M. Gutiérrez de La Cruz y Co-director Dr. Helmut Dannerbauer

**- Pablo Manuel Sánchez Alarcón – FPI (Univ. Autónoma de Madrid)**

Proyecto de I+D: PID2019-105602GB-I00 "La Estructura y Evolución de las Galaxias y sus Regiones Centrales"

Director Dr. Johan Knapen y Co-director Simón Díaz García

**- Zahra Sardaf – FPI (Univ. de Yazd, Irán)**

Proyecto de I+D: PID2019-104788GB-I00 "Análisis multivariable de espectros de galaxias"

Director Dr. Ignacio A. Ferreras Páez

**TESIS DOCTORALES**

En el 2021 se leyeron 15 tesis doctorales. (Ver PRODUCCION CIENTIFICA)

## XXXII ESCUELA DE INVIERNO: “Formación y Evolución de Cúmulos de Galaxias a lo largo del Tiempo Cósmico”



Este año tuvo lugar la XXXII edición de la Escuela Invierno de Astrofísica de las Islas Canarias, que no pudo celebrarse en 2020, debido a la pandemia mundial provocada por el COVID-19. El título de la Escuela fue “Formation and Evolution of Galaxy Clusters Across Cosmic Time” (Formación y Evolución de Cúmulos de Galaxias a lo largo del Tiempo Cósmico). Se celebró del 23 al 1 de diciembre, en la sala multimedios del edificio de IACTEC en La Laguna.

En esta edición, los cursos fueron impartidos por siete profesores expertos en distintos

campos de la Astrofísica relacionados con los cúmulos de galaxias. Durante los 6 cursos y las sesiones de tutorías los expertos compartieron con los alumnos los resultados más importantes sobre el tema, así como los retos futuros que afrontarán proyectos de instrumentación y ciencia en los próximos años, especialmente aquellos relacionados con el IAC como EUCLID, WEAVE o el LSST. Los estudiantes quedaron impresionados con la calidad de las clases y la interacción con otros investigadores para la realización de proyectos futuros. Muchos de los estudiantes resaltaron que, “debido a la pandemia de COVID-19, éste había sido su primer congreso presencial y les había dado la oportunidad de compartir sus resultados científicos con otros investigadores internacionales”.

Se impartieron un total de 40 horas de clase, a las que asistieron un total de 55 participantes presenciales y 10 a través de una plataforma de streaming. Estos participantes procedían de 15 países diferentes situados en 4 continen-



Foto de grupo de la XXXII Canary Islands Winter School of Astrophysics. Crédito: Iván Jiménez (IAC)



tes y fueron seleccionados entre un total de más de 100 solicitudes de participación en la Escuela. Entre los estudiantes seleccionados, la participación de mujeres fue superior al 40%. La organización concedió un total de 10 ayudas a participantes presenciales.

Como en las ediciones anteriores se organizaron una serie de actividades paralelas a la Escuela en las que los estudiantes tuvieron la oportunidad de visitar el Museo de la Ciencia y el Cosmos y el Observatorio del Teide (Tenerife). En esta edición se tuvo que cancelar la visita al Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) debido a que el aeropuerto de dicha isla estaba cerrado por la erupción del volcán de Cumbre Vieja. En su lugar los participantes pudieron disfrutar de una excursión por algunos lugares emblemáticos del norte de Tenerife. Además, se organizó una charla pública, impartida el viernes 26 de noviembre en el Museo de la Ciencia y el Cosmos por el Prof. José Alberto Rubiño Martín (IAC) con el título "Formación y evolución de las grandes estructuras de nuestro Universo: Los cúmulos de galaxias".

La dirección y organización de la escuela estuvo a cargo de los doctores José A. López Aguerri, Helmut Dannerbauer, Basilio Ruiz Cobo y Rafael Rebolo López.



Izquierda: Rafael Rebolo, director del IAC, durante la inauguración de la Winter School 2021 en la sala de usos múltiples de IACTEC en La Laguna. Derecha: Helmut Dannerbauer, investigador del IAC, durante la charla introductoria. Crédito: Iván Jiménez (IAC)

La relación de profesores y programa es la siguiente:

#### **"GALAXY CLUSTERS IN THE LOCAL UNIVERSE"**

Dr. Andrea Biviano, INAF-Obs. Astronómico de Trieste, Italia

#### **"EVOLUTION OF DWARF GALAXIES IN HIGH-DENSITY FIELDS"**

Dr. Alexandre Boselli, Lab. d'Astrophysique de Marsella, Francia

#### **"EVOLUTION OF MASSIVE GALAXIES IN HIGH-DENSITY FIELDS"**

Dr. Emmanuele Daddi, SEA Saclay, Francia

#### **"NUMERICAL SIMULATIONS OF PHYSICAL PROCESSES DRIVING GALAXIES EVOLUTION"**

Dra. Rhea-Silvia Remus, University Observatory Munich, Alemania

#### **"GALAXY CLUSTERS (IN FORMATION) IN THE HIGH-REDSHIFT UNIVERSE"**

Dra. Nicha Hatch, School of Physics & Astronomy, Univ. de Nottingham, Reino Unido

#### **"SEARCHES FOR GALAXY (PROTO) CLUSTERS THROUGH CURRENT/FUTURE INSTRUMENTS/MISSIONS"**

Prof. Giulia Rodighiero, Univ. de Padova, Italia

#### **"TUTORIALS"**

Dr. Claudio Dalla Vecchia (IAC)

#### **Charla pública:**

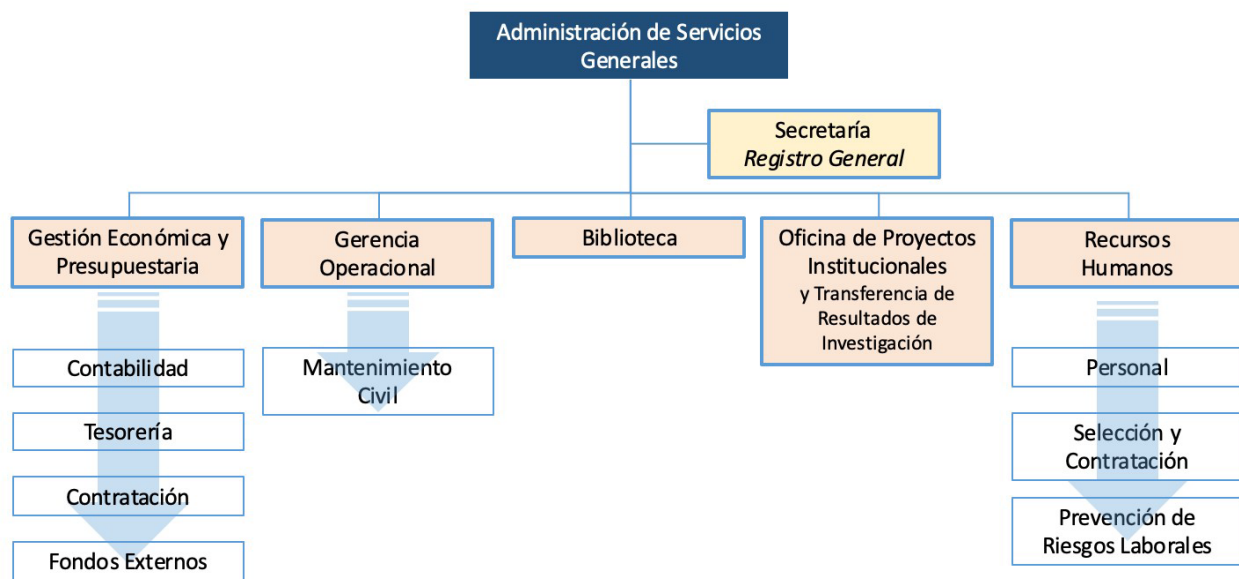
#### **"FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS GRANDES ESTRUCTURAS DE NUESTRO UNIVERSO: LOS CÚMULOS DE GALAXIAS"**

Prof. José Alberto Rubiño Martín (IAC)

# ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS GENERALES



La Unidad de Administración de Servicios Generales tiene a su cargo las funciones administrativas, operacionales, de recursos humanos, biblioteca, gestión documental, gestión de proyectos institucionales y transferencia de tecnología, para dar soporte a la actividad del IAC y a la Dirección.



Los objetivos específicos durante el 2021, además de los propios relacionados con las funciones de sus distintas Unidades y que se expondrán seguidamente, fueron los siguientes:

Objetivos específicos durante el 2021, además de los propios relacionados con las funciones de sus distintas Unidades y que se expondrán seguidamente, fueron los siguientes:

- Seguimiento de las actuaciones a ejecutar bajo el Plan de Recuperación en el IAC.
- Seguimiento del Proceso de Gestión de Fondos Externos. Revisión grado de cumplimiento.
- Elaboración y seguimiento del Plan de Contratación Administrativa y de Personal 2021.
- Mejoras en contratación administrativa: Anticipo de caja y adquisición de equipamiento informático por subvenciones.
- Evaluación del desempeño. Impulso del grupo de trabajo y aprobación del procedimiento.
- Seguimiento del Plan de Acciones Correctoras en materia de seguridad laboral.
- Apoyo al desarrollo del soporte administrativo, infraestructuras y servicios para IAC-TEC.
- Nuevas mejoras en Sede Electrónica.
- Plan de Transformación Digital. Puesta en marcha del Plan de Acción 2021-2023.
- Plan de Igualdad. Arranque del III Plan 2021-2023.
- Participación en el Comité de Administración y Finanzas de CTAO GmbH.
- Contribuir a la actualización de contenidos y secciones de la Intranet

Además, en 2021, las actividades de coordinación y gestión relacionadas con la alarma sanitaria por COVID-19 han seguido representando, como ocurriera en el ejercicio anterior, una importante carga de trabajo. Desde Administración de Servicios Generales se coordina la Subcomisión responsable de elaborar e implementar los diferentes protocolos y planes de actuación, de dar seguimiento y actuar frente a las incidencias que se venían produciendo, e informar a Comité de Dirección para una adecuada toma de decisiones.

En la consecución de estos objetivos, tanto para este año como para los siguientes, y para todos sus ámbitos de actuación, la actividad se desarrolla en torno a cuatro pilares fundamentales: (1) orientación a usuario; (2) optimización de todos los procesos implicados; (3) eficiencia de los recursos disponibles, humanos y económicos; y (4) adaptación de procesos y relación con usuarios hacia una gestión telemática y administración electrónica.

## ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS GENERALES en grandes cifras

### GESTION ECONÓMICA Y PRESUPUESTARIA

Contabilidad	Nº	Variación respecto 2020	Valor k€	Variación respecto 2020
Facturas tramitadas	4.744	+26%	24.795	+79%
Altas de inventario	878	+32%	15.009	+153%
Bajas de inventario	237	-	7.447	-
Ingresos	820	-	55.814	-
Expedientes de viajes	584	-2%	349	-5%

\* Crecimiento significativo del número de facturas y del número de altas de inventario tramitadas. Tras la crisis sanitaria del COVID-19, en 2021 el número de viajes se ha mantenido bastante bajo en relación con años anteriores a 2020. En esta memoria se incluye por primera vez el dato de bajas de inventario y de los ingresos tramitados.

Tesorería	Nº	Variación respecto 2020	Importe k€	Variación respecto 2020
Órdenes de pago tramitadas	4.956	9%	41.286	+28%
Pagos en efectivo	340	22%	10	0%

Compras Generales	Nº	Variación respecto 2020	Importe k€	Variación respecto 2020
No informáticas	1.213	+19%	6.009	+58%
Informáticas	239	98%	131	-8%
Biblioteca	46	+28%	120	0%
Dir. Gral. de Racionalización y CC	17	0%	2.130	+87%
Certificados exención - Sede Electrónica	482	+69%	N/A	N/A
Expedientes de transporte de mercancías	506	+48%	343	N/A

Licitaciones	Nº	Variación respecto 2020	Importe k€	Variación respecto 2020
Mesas de contratación celebradas	95	+25%	N/A	N/A

Licitaciones por procedimiento adjudicación	Nº	Variación respecto 2020	Importe k€	Variación respecto 2020
Negociado sin publicidad	0	-100%	0	+100%
Procedimiento abierto	34	+100%	7.282	+50%
Procedimiento abierto simplificado	6	+500%	240	+275%
Prórrogas	10	+400%	926	+1.242%
Modificados	3	+50%	0	-100%

\* El incremento en la actividad de contratación administración pública viene motivada especialmente por la ejecución de los fondos provenientes del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la UE.

Fondos Externos	Nº	Variación respecto 2020	Importe k€	Variación respecto 2020
Requerimientos tramitados	99	+65%	-	N/A
Auditorías	15	+400%	-	N/A
Subvenciones justificadas	134	+5%	13.986	+28%

\* La actividad en 2021 ha aumentado, sobre todo en el número de requerimientos y auditorías gestionadas, pasando de 60 a 99 requerimientos (+65%), y de 3 a 15 auditoría (+400%)s.



## GERENCIA OPERACIONAL

Operaciones	Nº	Variación respecto 2020	Importe k€	Variación respecto 2020
Nuevas obras e instalaciones	29	+190%	136	+172%
Seguimiento de servicios externos	20	0%	500	0%
Act. específicas en mantenimiento civil	1436	+80%	231	+28%
Act. específicas mantenimiento vehículos	52	-13%	57	-43%
Actuaciones específicas en seguridad	8	-11%	29	-3%
Act. específicas gestión medioambiental	4	+33%	15	-81%
Compra de vehículos	1	0%	39,5	-67%
Compra de mobiliario y equipamiento	1	-75%	12,7	-37%

## RECURSOS HUMANOS

Selección y Contratación	Nº	Variación respecto 2020	Valor k€	Variación respecto 2020
Proc. selectivos de personal funcionario	4	0%	-	-
Proc. selectivos iniciados personal laboral	149	+23%	-	-
Contratación temporal financiación interna	45	-12%	-	-
Contratación temporal financ. externa	104	+42%	-	-
Contratación temporal predocs y POP	7	-50%	-	-
Proc. selectivos de promoción interna	0	0%	-	-

Prevención de Riesgos Laborales	Nº	Variación respecto 2020	Valor k€	Variación respecto 2020
Puestos de trabajadores evaluados	9	6	1.8	0
Reuniones del CSS	5	0	-	-
Reconocimiento médico periódico	313	234	10	0
Reconocimiento médico inicial	55	35	N.B.	-
Reconocimiento caso sospechoso o contacto COVID19	17	12	N.B.	-
Accidentes de trabajo con baja	1	0	-	-
Accidentes de trabajo sin baja	8	5	-	-
Enfermedades profesionales con baja	0	0	-	-
Simulacros de emergencia	0	0	-	-
Formación	167	-647	4.2	0

N.B.: El valor económico de los reconocimientos médicos está englobado en apartado de "Reconocimiento médico periódico"

Formación, Acción Social e Igualdad	Nº	Variación respecto 2020	Valor k€	Variación respecto 2020
Acciones Formación financiadas.	70	+20%	72,8	+6%
Becas de formación convocadas	17	0%	-	-
Plan Acción Social: Solicitudes financiadas	196	-31%	20,2	0%

### OFICINA DE PROYECTOS INSTITUCIONALES Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

Financiación externa y gestión expedientes y proyectos	Nº	Variación respecto 2020	Valor k€	Variación respecto 2019
Solicitudes de financiación tramitadas <sup>1</sup>	83	+73%	47.000	+77%

### BIBLIOTECA

Colecciones / Suscripciones	Nº adquiridos 2021	Variación respecto 2020	Nº total	Variación respecto 2020
<b>Libros</b>	<b>541</b>	<b>-65%</b>	<b>21.720</b>	<b>+3%</b>
Soporte papel	44	+42%	14.226	0%
Soporte digital	497	-67%	7.879	+7%
<b>Suscripciones a revistas</b>	<b>108</b>	<b>+14%</b>	<b>108</b>	<b>+14%</b>
Soporte papel sólo	22	-12%	22	-12%
On-line o combinada	86	-23%	86	+23%

### REGISTRO GENERAL

	Nº	Variación respecto 2020	Valor k€	Variación respecto 2020
Entradas IAC	4.391	+72%	-	-
Salidas IAC	1.564	+31%	-	-
Emisión Certificados FNMT	74	-16%	-	-

## GERENCIA ADMINISTRATIVA

### Gestión Económica y Presupuestaria

La Gerencia Administrativa es responsable de la gestión contable, financiera, económica, administrativa y presupuestaria de la Administración de Servicios Generales, dando soporte a la actividad general del IAC. Para llevar a cabo sus fines se estructura en las unidades de contabilidad y tesorería, presupuesto e inventario, contratación y fondos externos. Entre las actividades que son propias de esta Gerencia están las de impulsar y participar en la elaboración de los presupuestos anuales, asesorar al resto de Áreas del Instituto en los procesos de gestión y control de los fondos internos y externos, y mantener actualizada la información contable y presupuestaria. Por la naturaleza de las competencias que tiene atribuidas sirve de enlace en las relaciones con otras administraciones públicas, como la IGAE, AEAT, Tribunal de Cuentas y otras.

Durante el pasado 2021 ha seguido operando como vínculo con el Instituto Nacional de Estadística y resto de entidades que solicitan datos para la elaboración de informes estadísticos.

En relación con la cartera de seguros del IAC, la Gerencia Administrativa actúa como enlace con las aseguradoras contratadas para coordinar las acciones de seguimiento, mejora y nuevas propuestas de aseguramiento.

En lo que se refiere a la gestión de procesos, en diciembre se terminó de desarrollar un procedimiento de tramitación de gastos menores para la adquisición de material fungible y servicios de bajo importe, que permitirá agilizar los tiempos y reducir la carga de trabajo relacionada con la tramitación de estos gastos del IAC. Este nuevo procedimiento ha sido aprobado y se pondrá en marcha en el primer trimestre del ejercicio 2022.

Se sigue avanzando en la estandarización de los formularios para solicitudes por parte de los usuarios a los que presta servicios la Administración del IAC y se ha hecho un esfuerzo en trasladar todos estos formularios a la nueva web interna. En cuanto a formación, se han or-

ganizado las acciones formativas previstas en el plan de actuación para este año.

En 2021 el IAC recibió 9 millones de euros del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la Unión Europea, para la ejecución e implementación de varias medidas. Esto ha supuesto pasar de 16 expedientes de licitación tramitados en 2020 a 40 en el año 2021, y la celebración de casi 100 mesas de contratación en el transcurso del ejercicio.

Durante el ejercicio 2021 se ha conseguido mantener una gestión eficiente de las facturas con el fin de dar cumplimiento a la obligación de hacer efectivo el pago a los proveedores dentro del período de 30 días que marca la ley. En el año 2021 dicho período medio de pago a proveedores ha sido de 21 días (mejora muy significativa respecto de los 32,7 días en 2020).

Como en años anteriores, y gracias a la implicación de todo el personal del Departamento de Contabilidad, se ha conseguido finalizar el proceso de cierre contable para cerrar el año a fecha 31 de enero de 2021, con el fin de iniciar las labores de formulación de cuentas anuales durante el mes de febrero. Las cuentas anuales del ejercicio 2020 formuladas y presentadas en 2021, obtuvieron una opinión favorable en nuestra auditoría financiera anual, fruto de la buena gestión de todas las unidades de Administración.

Asimismo, en el 2021, impulsados también en este aspecto por la crisis del COVID-19, se ha conseguido eliminar casi la totalidad de facturas en papel. Los proveedores nos facilitan las mismas a través del sistema FACE de la Administración General del Estado o por correo electrónico, firmadas electrónicamente.

Este año, desde Contabilidad se ha puesto en marcha un nuevo gestor de expedientes de ingresos, con el que se centraliza así toda la información de los mismos, tanto documentos como información contable, al alcance de todos los implicados en su tramitación. Es posible así analizar el estado del expediente, su aplicación presupuestaria y el documento de compromiso del que procede.

En lo que respecta a Tesorería, y tras una parametrización de nuestro sistema de gestión

ERP con la asistencia de los Servicios Informáticos, se ha implantado la operativa telemática en las operaciones con el Banco de España.

También se ha realizado en este período una revisión específica del área de Tesorería por la Intervención General de la Administración del Estado (IGAE), que ha concluido que la gestión de la tesorería en el IAC es satisfactoria, siendo necesario la actualización de las instrucciones internas. A raíz de esta actuación, se actualizó el Procedimiento de Gestión de la Tesorería del centro, en el que se definen las modalidades de pago, las funciones y el sistema de control de dicha gestión.

Adicionalmente, este año se han aprobado unas instrucciones para el uso de una tarjeta bancaria prepago (de recarga) con el objetivo de poder pagar determinados suministros y/o servicios cuyos proveedores sólo aceptan este medio de pago, como es el caso de algunas licencias web.

Una vez más, se ha mantenido la política de transparencia, fidelidad y claridad en los informes periódicos de la situación de las cuentas bancarias, traspasos realizados, solicitudes de fondos, etc.

En relación con la gestión de los fondos externos, una consultora externa contratada para tal fin, ha realizado un análisis y revisión del proceso de financiación externa. A raíz del mismo, se han identificado algunas posibles mejoras operativas, algunas de las cuales serán puestas en marcha en el ejercicio 2022 con el fin de optimizar la eficiencia de este proceso.

En 2021 se han visto incrementadas de manera notable las auditorías recibidas sobre fuentes de financiación externa, dado que es un nuevo requisito en las condiciones de justificación de las ayudas de I+D concedidas por el Gobierno de Canarias, y en las ayudas del Plan Estatal. Por lo tanto, se estima un crecimiento futuro aún mayor de las mismas.

## GERENCIA OPERACIONAL

La Gerencia Operacional está estructurada como una Unidad de la que dependen la infraestructura, el mantenimiento y los servicios de la sede central del IAC y cuyas principales actividades son:

- Gestión de obras civiles y nuevas Instalaciones, desde la definición del alcance, la contratación y supervisión de los proyectos y la contratación y el control de ejecución de los trabajos para garantizar que se cumplan alcance, presupuesto y plazo.
- Gestión de servicios externos, incluyendo la definición de los pliegos de prescripciones técnicas y el seguimiento y control de operación de las más de 20 empresas externas que prestan servicios para el funcionamiento de la Sede Central.
- Supervisión del mantenimiento civil del edificio, incluyendo sus más de 15 instalaciones generales, siendo el responsable directo el Jefe de Mantenimiento Civil, quien es el encargado de la planificación y control de su equipo de técnicos y de las subcontratas que realizan los mantenimientos especializados.
- Gestión del parque móvil del IAC, incluyendo las compras de nuevos vehículos, las bajas de vehículos y la supervisión del mantenimiento de los vehículos asignados a la sede central y a los desplazamientos hacia el observatorio del Teide, cuyo responsable directo es también el Jefe de Mantenimiento Civil.
- Coordinación de Actividades Empresariales de los contratistas bajo su responsabilidad, en estrecha colaboración con la Unidad de Prevención de Riesgos Laborales.
- Participación activa en la Gestión Medioambiental y la Gestión Energética del edificio, figurando como responsable de ésta última ante el Ministerio de Economía y Competitividad y el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía).
- Adquisición del mobiliario y del equipamiento general de los más de 300 puestos de trabajo existentes en la Sede Central.
- Relaciones y gestiones con las empresas de suministro eléctrico, agua y telefonía. Y

las relaciones y gestiones con las administraciones locales: Ayuntamiento de La Laguna y Cabildo de Tenerife en las Áreas de su competencia.

- Gerencia Operacional también colabora puntualmente con las demás sedes en la definición y ejecución de algunas de sus infraestructuras y servicios generales.

Durante 2021 se realizó en la sede central del IAC varias actuaciones relacionadas con obras nuevas e instalaciones; entre ellas destacan:

- Instalación pararrayos en la Sede Central del IAC.
- Obra de subdivisión del despacho de administración en Dirección.
- Reforma en sala de reuniones Omega.
- Ampliación de puestos de trabajo en sala de revista de la Biblioteca.
- Impermeabilización de la cubierta del taller de mecánica.
- Instalación de equipos de climatización en cuartos de UPS. Sede Central y Casa Madeira.
- Desmontaje de grupo electrógeno antiguo y sustitución del cuadro general de baja tensión de la Sede Central.
- Mejoras en el sistema de protección contra incendios: sectorización del taller de mecánica, protección pasiva de las estructuras metálicas de la Sala AIV y del taller de mecánica.
- Mejoras diversas en la carpintería del centro y en las instalaciones de fontanería.

En el área medioambiental, durante 2021 se realizaron las siguientes actuaciones:

- Redacción de proyecto para la ejecución de pérgola fotovoltaica para vehículos del centro.
- Sustitución de luminarias convencionales por tecnología LED.
- Redacción de estudio técnico de viabilidad para el desarrollo de instalaciones fotovoltaicas en la Sede Central del IAC.
- Gestión de residuos del centro.



- La gestión de obras civiles y nuevas Instalaciones, desde la definición del alcance, la contratación y supervisión de los proyectos y la contratación y el control de ejecución de los trabajos para garantizar que se cumplan alcance, presupuesto y plazo.
- La gestión de servicios externos, incluyendo la definición de los pliegos de prescripciones técnicas y el seguimiento y control de operación de las más de 20 empresas externas que prestan servicios para el funcionamiento de la Sede Central.
- La supervisión del mantenimiento civil del edificio, incluyendo sus más de 15 instalaciones generales, siendo el responsable directo el Jefe de Mantenimiento civil, quien es el encargado de la planificación y control de su equipo de técnicos y de las subcontratas que realizan los mantenimientos especializados.
- La gestión del parque móvil del IAC, incluyendo las compras de nuevos vehículos, las bajas de vehículos y la supervisión del mantenimiento de los vehículos asignados a la sede central y a los desplazamientos hacia el observatorio del Teide, cuyo responsable directo es también el Jefe de Mantenimiento civil
- La Coordinación de las Actividades Empresariales de los contratistas bajo su responsabilidad, en estrecha colaboración con la Unidad de Prevención de Riesgos Laborales.
- La participación activa en la Gestión Medioambiental y la Gestión Energética del edificio, figurando como responsable de ésta última ante el Ministerio de Economía y Competitividad y el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía).
- La adquisición del mobiliario y del equipamiento general de los más de 300 puestos de trabajo existentes en la Sede Central.
- Las relaciones y gestiones con las empresas de suministro eléctrico, agua y telefonía. Y las relaciones y gestiones con las administraciones locales: Ayuntamiento de La Laguna y Cabildo de Tenerife en las Áreas de su competencia.
- La Gerencia Operacional también colabora puntualmente con las demás sedes en la definición y ejecución de algunas de sus infraestructuras y servicios generales.
- Proyecto para la remodelación de despachos en el departamento de recursos humanos.
- Ejecución de dos marquesinas para el aparcamiento de motos y bicicletas.
- Obras generales tales como: impermeabilizaciones de cubierta, canalizaciones e imbornales en el exterior y cierre del anillo de agua de abasto.
- Sustitución del equipo de climatización del laboratorio de metrología
- Instalación de pantalla acústica para la minimización de molestias por ruido en los despachos del servicio de informática.
- Mejoras en el sistema de protección contra incendios.

En el área medioambiental, durante 2020 se realizaron las siguientes actuaciones:

- Instalación de sistema de climatización con apoyo energético de energía solar fotovoltaica en módulo MOB.
- Proyecto y dirección climatización con energía solar fotovoltaica para módulo MOC
- Gestión de residuos del centro.
- Compra de 4 vehículos Mitsubishi Outlander PHEV (híbridos enchufables).

A pesar de lo difícil que fue el año 2020 por razones derivadas de la pandemia por Covid-19, en la sede central del IAC se realizaron varias actuaciones relacionadas con obras nuevas e instalaciones, entre ellas:

**EJECUCIÓN DEL PRESUPUESTO 2021**

(SEGÚN CUENTAS EN PROCESO DE FORMULACIÓN)

<b>FINANCIACIÓN GENERADA</b>		
<b>ORIGEN FONDOS PRESUPUESTARIOS</b>	<b>(Miles de €)</b>	
<b>DE LAS ADMINISTRACIONES CONSORCIADAS</b>		<b>24.570,00</b>
- Administración del Estado	20.010,00	
- Comunidad Autónoma	4.560,00	
<b>OTROS *</b>		<b>49.813,23</b>
- Otros Ministerios	27.724,00	
- Contratos, acuerdos, etc., con financiación externa	20.297,78	
- Venta de servicios y otros	1.791,45	
<b>TOTAL FINANCIACION</b>		<b>74.383,23</b>

<b>GASTOS REALIZADOS</b>		
<b>DESTINO FONDOS</b>	<b>(Miles de €)</b>	
- Personal	19.134,30	
- Funcionamiento (suministros y m. fungible)	4.243,04	
- Financieros	62,64	
- Transferencias corrientes	824,99	
- Inversiones reales	14.751,58	
- Activos financieros	62,70	
- Pasivos financieros	0,00	
- Compras	1.924,29	
<b>TOTAL GASTOS</b>		<b>41.003,54</b>
<b>FONDO DE MANIOBRA POSITIVO **</b>		<b>33.379,69</b>

\* En "OTROS" se recogen derechos reconocidos tanto para el ejercicio presente como para ejercicios futuros.

\*\* El "FONDO DE MANIOBRA POSITIVO" contempla el remanente que sufragará gastos de anualidades futuras.

## FONDOS ESTRUCTURALES Y FONDO SOCIAL EUROPEO

A lo largo del año 2020 la actividad del centro ha contado con cofinanciación procedente de Fondos Europeos.

### FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL (FEDER)

Estos fondos se han recibido en el marco de diferentes programas de financiación.

- Correspondiente a la convocatoria del Gobierno de Canarias de subvenciones destinadas a la realización de proyectos de I+D por Organismos de Investigación y Empresas en las áreas prioritarias de la Estrategia de Especialización Inteligente de Canarias, cofinanciadas por el Programa Operativo FEDER Canarias 2014-2020. Apoyo a la investigación María del Carmen Betancourt y Molina.

### CONVOCATORIA 2020

Referencia externa	Denominación de la subvención
PROID2020010059	Detección de regiones activas en el hemisferio solar no visible con Deep Learning
PROID2020010129	Detección y caracterización de planetas análogos a la Tierra en estrellas cercanas
PROID2020010060	Desarrollo de software de control de FRIDA durante las fases de integración
PROID2020010048	Tecnologías criogénicas para instrumentación de grandes dimensiones
PROID2020010051	Nano estructuras moleculares de fullereno y grafeno en envolturas circunestelares
PROID2020010128	TEchincal INvestigation and DEvelopment to SATellites
PROID2020010061	Desviaciones del equilibrio termodinámico local en atmósferas estelares
PROID2020010057	DEEP-ASTRONOMALY
PROID2020010052	Catálogo de cúmulos abiertos con parámetros físicos de Gaia
PROID2020010108	Investigando la física de la inflación a través de observaciones del fondo cósmico
PROID2020010054	Descubriendo la diversidad exoplanetaria de nuestra galaxia
PROID2020010105	Retroalimentación y reservas de gas molecular en cúasares
PROID2020010016	Resolviendo el eterno misterio de las estrellas supergigantes masivas azules
PROID2020010106	El explorador LSST para ciencia de sistemas estelares compactos
PROID2020010107	SHARKS Estudio profundo de la formación y evolución de galaxias lejanas
PROID2020010104	Caracterización e impacto de los vientos producidos por agujeros negros de masa
PROID2020010050	Primera detección y caracterización del gas que alimenta la formación estelar

**CONVOCATORIA 2021**

Referencia externa	Denominación de la subvención
PROID2021010044	Análisis científico de imágenes astronómicas ultra-profundas
PROID2021010134	Caracterización Mineralógica de Asteroides y Exploración Espacial 2
PROID2021010080	Agujeros Negros y la Evolución de las Galaxias más masivas del Universo
PROID2021010074	Espectroscopia 2D en nebulosas planetarias con alta discrepancia de abundancias
PROID2021010126	Mapeando el Universo con Gravedad Modificada
PROID2021010132	Búsqueda, propiedades e impacto de las binarias de rayos X ultra compactas
PROID2021010075	Desarrollo de herramientas BigData para el estudio de estrellas variables galaxy
PROID2021010130	Star formation scaling-laws at parsecs scale
PROID2021010128	Mejorando listas de líneas para estudios de planetas extrasolares y estrellas mu
PROID2021010078	Búsqueda y caracterización de aminoácidos en regiones de formación estelar
PROID2021010079	Modelos de poblaciones estelares con abundancias relativas de elementos variable
PROID2021010077	La Reionización del Universo

- Con motivo del Convenio firmado entre el Ministerio de Ciencia e Innovación y el IAC para la Contribución española a los primeros cinco Medium Size Telescopes de CTA Norte, relacionado con las infraestructuras ESFRI, cofinanciado con fondos FEDER del Programa Operativo Plurirregional de España 2014-2020.

- Convenio suscrito entre la Fundación Instituto Cameral para la Creación y Desarrollo de la Empresa y el IAC, por el que se regula la ayuda concedida al IAC de Creación y puesta en marcha de la Incubadora de Alta Tecnología especializada en Astrofísica y en el Espacio en Canarias, actuación cofinanciada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) dentro del Programa Operativo Plurirregional de España FEDER 2014-2020 PO.

- Tres Convenios firmados entre el CDTI y el IAC para las iniciativas científico-tecnológicas cofinanciadas a través de fondos FEDER del Programa Operativo Plurirregional de España 2014-2020, siguientes:

- “IACSAT-VINIS -Microsatélite de Altas Prestaciones para Observación de la Tierra en VIS-NIR-SWIR-Fase 1”
- “Estudio conceptual y de viabilidad del sistema de lectura y control de la termometría de los Telescopios MHFT de la misión LITE-BIRD”
- “Construcción de la unidad MEU-PSU de la misión espacial PLATO”

**FONDO SOCIAL EUROPEO (FSE)**

En el marco del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2017-2020, se le ha concedido al IAC, ayudas cofinanciación por el Fondo Social Europeo, del Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad, en I+D Subprograma Estatal de Formación, convocatoria de 2020.

En concreto las Ayudas para contratos predoctorales para la formación de doctores, siguientes:

Referencia predoctoral	Investigador/a
PRE2020-093107	Emma Esparza
PRE2020-093897	Giulia Golini
PRE2020-095531	Maren Brauner
PRE2020-094118	Martín Gómez
PRE2020-095880	Natalia Ramos
PRE2020-093690	Pablo Sánchez
PRE2020-096352	Zahra Sharbaf
PRE2020-096361	Elena Arjona

Ayuda Ramón y Cajal siguiente:

Referencia ayuda	Investigador
RYC2020-030307-I	Tobías Felipe García



## OTRAS ACTUACIONES DESDE SERVICIOS GENERALES

### GESTIÓN Y TRAMITACIÓN DE CONVENIOS Y OTROS ACUERDOS

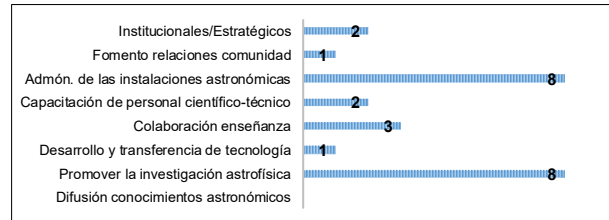
Desde Administración de Servicios Generales se ofrece asesoramiento para la elaboración y tramitación de convenios, de forma que cumplan con lo previsto por toda la normativa que es de aplicación, y que tengan los contenidos mínimos como para adquirir la naturaleza jurídica que se desea. Asimismo, se ofrece el asesoramiento necesario para garantizar que los derechos y obligaciones del IAC en el acuerdo se corresponden con el propósito a perseguir. Posteriormente, con la conformidad del CD, o una vez se han implementado las propuestas de mejora pertinentes, se tramita el documento para la obtención de las correspondientes autorizaciones previas a su firma, y posterior publicación.

En total, se han firmado 25 acuerdos de diferente tipología y gestionado una decena de convenios más que no han finalizado su tramitación en 2021 pero que incrementan el volumen de trabajo sin que su resultado se refleje en cifras. Además, se ha tramitado un modelo normalizado de borrador de convenio para la difusión de conocimientos astronómicos que se espera que reciba la autorización final a principios de 2022.

Convenios firmados 2021				
		Régimen jurídico de aplicación		
		Ley 40/2015	Ley 25/2014	Otros
Ámbito	Internacional	6	1	7
	Nacional	7	0	4

**Tabla 1. Tipología de los convenios firmados en 2021 según el Régimen jurídico de aplicación y ámbito de los mismos.**

En 2021 ha habido un incremento de los convenios firmados al amparo de la Ley 40/2015 de RJSP debido a un mayor conocimiento y eficiencia en la aplicación de la misma y de los requisitos necesarios para que los informes preceptivos no contengan observaciones que supongan un retraso en su autorización por los organismos correspondientes, poniendo



**Tabla 2. Tipología de los convenios firmados en 2021 según su finalidad principal de colaboración.**

especial atención en la redacción de la memoria justificativa, que ha ampliado uno de sus apartados con el fin de confirmar que el convenio se ajusta a lo establecido en dicha ley.

Asimismo, cabe destacar que a finales del año 2021 se ha iniciado un proyecto para optimizar la tramitación y seguimiento de los convenios. Se pretende mejorar el seguimiento de todos los acuerdos en vigor, establecer las bases para la renegociación de los convenios que deben permanecer vigentes, revisar y ampliar el procedimiento, impulsar aún más la gestión documental, elaborar y definir los procesos de seguimiento y cumplimiento de las obligaciones económicas y compromisos del IAC, y establecer pautas clave para el correcto seguimiento de las actuaciones previstas en los convenios.

### PLAN DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL

En febrero de 2019 arrancó el proyecto Plan de Transformación Digital en el IAC, cuyo objetivo principal es elaborar y poner en marcha un Plan de Acción para adecuar la realidad digital del IAC a las disposiciones de la Administración General del Estado. Para ello, se están siguiendo en todo momento las indicaciones dispuestas por la AGE, y el documento de directrices publicado por la Secretaría General de Administración Digital para elaborar un plan de acción específico.

Se ha trabajado en la identificación, estimación y priorización de diferentes medidas, con la finalidad de abordarlas de forma organizada y coherente en los próximos años.

El Plan de Acción para la Transformación Digital en el IAC 2021 se presentó y aprobó for-

malmente en la última reunión de Comité de Dirección del IAC en diciembre de 2020. En él se establecieron diferentes acciones y actuaciones para llevar a cabo durante este periodo, destacando: formación, actualización del catálogo de procedimientos y servicios, implantación de nuevas herramientas, firma digital, gestión documental, automatización de indicadores y el reto del teletrabajo.

A principios de 2021 se pusieron en marcha las actuaciones previstas según la planificación propuesta en el Plan de Acción.

Por un lado, se ha preparado un conjunto de cursos de formación en Administración Electrónica, abarcando desde los conceptos básicos y herramientas para la transformación digital de las administraciones públicas; la identificación y firma digital; la seguridad de la información; hasta cuestiones específicas para el personal con funciones de atención a la ciudadanía. Las distintas acciones formativas se han puesto a disposición del personal en la plataforma de aprendizaje del IAC habilitada en septiembre de 2021, para que puedan ser realizados de forma auto dirigida y en modalidad 100% online.

También se ha recopilado la información necesaria y se han realizado diferentes pruebas para implantar algunas herramientas esenciales ofrecidas por la AGE como la Plataforma de Intermediación y Verificación de Datos, para consultar información directamente con otros organismos y minimizar la documentación aportada por la ciudadanía; o Notific@, para impulsar de forma definitiva la práctica de notificaciones electrónicas.

Por otro lado, se han incorporado y actualizado los trámites ofrecidos por el IAC a través de la Sede Electrónica en SIA (Sistema de Información Administrativa), el catálogo de la AGE en el que se recogen todos los procedimientos administrativos y servicios dirigidos a la ciudadanía y también los propios de las Administraciones Públicas.

Una de las actuaciones clave es la Mejora y Actualización del Catálogo de Procedimientos, de la que dependen otras como la de Tramitación interna de los procedimientos, Gestión Documental o la Automatización de indicadores.

Se han elaborado el Protocolo de presencia y publicación en redes sociales y portales web y el Manual de Identidad Corporativa del IAC, que se encuentran actualmente en proceso de revisión y aprobación para su difusión y aplicación.

La Transformación Digital es un proceso continuo y los organismos requieren de una actualización constante. Con las acciones que se han ido desarrollando hasta ahora, se pretende sentar las bases para ser un organismo consolidado digitalmente y poder seguir incorporando los avances tecnológicos planteados por la AGE a corto y a medio plazo, como la automatización de los procesos, la aplicación de la Inteligencia Artificial o la robotización.

## **IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LITOGRAFÍAS Y OTRAS OBRAS DE ARTE**

En colaboración con el Servicio de Análisis y Documentación de Obras de Arte del SEGAI de la Universidad de La Laguna (SADOA-SEGAI) se ha procedido durante 2021 a la identificación, clasificación, valoración y propuesta de medidas para la conservación de litografías y otras obras de arte del IAC.

La colección incluye 235 obras, compuesta mayoritariamente por obra gráfica de autores nacionales e internacionales de gran interés y trayectoria profesional. El resto de la colección se compone de pinturas, esculturas y tapices de autores canarios de renombre. Se trata de litografías de gran tamaño, 4 cuadros, 5 esculturas, 2 tapices y 1 libro; todo ello repartido entre la Sede de La Laguna (66), el ORM (167) y el OT (2).

Se ha realizado una ficha por cada una de las obras, así como una memoria resumen en la que se recogen las obras por artista y la valoración de las mismas. Se muestra uno de los ejemplos de esas fichas técnicas, en este caso, en relación con una litografía de Josep Guinovart i Bertran.

Si bien la estimación económica de este patrimonio, en su conjunto, no es de gran cuantía, (alrededor de los 125 k€), se trata de una colección importante con un número elevado y variado de autores nacionales e internacionales. Destacan, entre otras obras, dos tapices de Manuel Millares, una lámina de Eduardo Chillida, un cuadro de Francisco Concepción, una escultura de Martín Chirino, un cuadro de J. Dámaso, otro cuadro de Francisco Concepción, y un libro de Charles Piazzi Smyth.

Se ha procedido a dar convenientemente de alta esta colección en el inventario del IAC, y se potenciará su difusión y su conservación.

Nº registro		086-ORM					
							
086-A	086-R						
<b>Autor</b>	Josep Guinovart i Bertran						
<b>Firma</b>	Guinovart 74 / EID						
<b>Tiraje</b>	90/99 EII						
<b>Año</b>	1974						
<b>Título</b>							
<b>Técnica</b>	Estampación planográfica						
<b>Descripción técnica</b>	Litografía a 3 tintas.						
<b>Descripción soporte</b>	Papel semimecánico; vitela. Filigrana Guarro. Bordes del papel cortados.						
<b>Dimensiones con marco</b>	<b>Dimensiones estampa</b>	<b>Dimensiones mancha</b>					
87,5 x 67,5 cm	75,8 x 55,8 cm	A sangre					
<b>Estado de conservación</b>							
BUENO	Oxidación acusada en el reverso con diferentes intensidades por contacto. Principio de oxidación del adhesivo en la zona de las cintas adhesivas que penetra en el papel proporcionando transparencia.						
<b>Observaciones</b>							
Posible orden de estampación: naranja, rojo y negro. El sistema de montaje en passepartout y marco impiden la descripción del soporte pegado a la trasera con cinta de papel.							
<b>Obras relacionadas</b>							
001-IAC-SC	006-IAC-SC	013-IAC-SC	014-IAC-SC	017-IAC-SC	024-IAC-SC	025-IAC-SC	029-IAC-SC
032-IAC-SC	041-IAC-SC	043-IAC-SC	044-IAC-SC	051-IAC-SC	056-IAC-SC	059-IAC-SC	060-IAC-SC
061-IAC-SC	065-IAC-SC	070-ORM	078-ORM	080-ORM	082-ORM	085-ORM	087-ORM
089-ORM	091-ORM	093-ORM	094-ORM	111-ORM	133-ORM	140-ORM	143-ORM
151-ORM	160-ORM	162-ORM	163-ORM	173-ORM	174-ORM	175-ORM	193-ORM
194-ORM	197-ORM	207-ORM	208-ORM	209-ORM	233-ORM	234-ORM	235-ORM
<b>Código fotográfico</b>							
086_A.jpg	086_A.tif	086_R.jpg	086_R.tif				

## COORDINACIÓN DEL GRUPO DE PROCESOS

Se mantiene la actividad de seguimiento de las acciones del Grupo de Procesos, así como de los correspondientes Grupos de Seguimiento y Mejora. Las acciones llevadas a cabo se centran fundamentalmente en optimizar los procesos y, sobre todo, en el periodo 2021-2023,

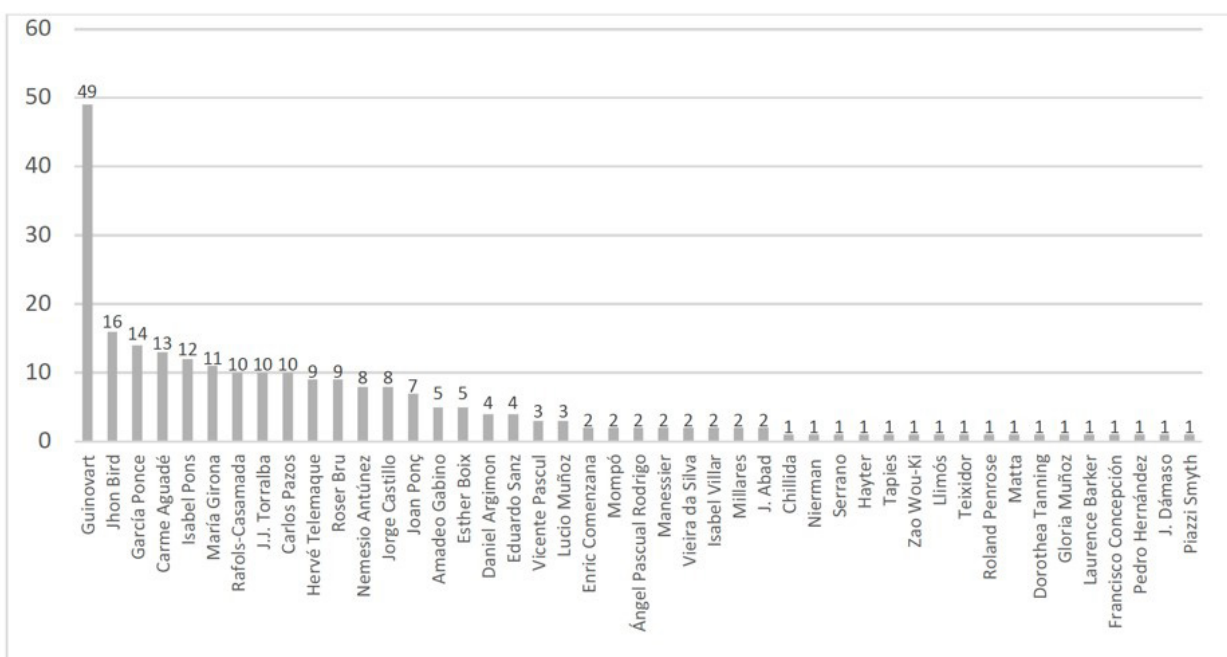
en procurar su adaptación a lo previsto por la Administración Digital. De hecho, este grupo da seguimiento a las actuaciones bajo el Plan de Transformación Digital para el que se aprobó el plan plurianual en la última reunión de Comité de Dirección de 2020 (CD48/20), expuesto anteriormente.

Asimismo, se siguen impulsando acciones específicas: Sede Electrónica, Transparencia, nuevo proceso de Prevención de Riesgos Laborales, nuevo procedimiento de trámite de gastos menores, etc.

En su última reunión del año, el 16 de diciembre, el Grupo de Procesos hizo un balance del estado de los diferentes procesos y se propusieron mejoras específicas para 2022. En concreto, se quiere completar la migración de todos los procesos, documentación y aplicaciones informáticas a la nueva plataforma de Intranet.

## COORDINACIÓN Y GESTIÓN DE LAS ACTUACIONES POR COVID-19

Durante 2021 se han seguido manteniendo las actuaciones en materia de protección de los centros de trabajo y de los propios trabajadores frente a la pandemia de la COVID-19. La Subcomisión COVID-19 del IAC, compuesta por representantes de las diferentes áreas y colectivos, y coordinada por el Administrador de Servicios Generales, se ha seguido reuniendo este año, con periodicidad algo inferior a la de 2020, pero revisando constantemente el estado de la situación, y adaptando las instrucciones y el plan de contingencia conforme



En el gráfico se representa la colección por número de obras y autores.

al avance de la situación: Protocolos de limpieza de instalaciones y vehículos, actuaciones constantes de comunicación, actualización de contenidos de la web específica, etc.

Creemos que las medidas han sido adecuadas y proporcionales a los diferentes niveles estipulados por las autoridades sanitarias. Esto, sumado al comportamiento ejemplar del personal, tanto dentro como fuera de nuestras instalaciones, ha llevado a que las cifras de positivos fueran de sólo 3 casos en 2020 y otros 3 hasta noviembre de 2021.

En diciembre de 2021 esperábamos un aumento significativo de contagios, como consecuencia de lo previsto para la sexta ola de esta pandemia, y de los encuentros familiares del puente de diciembre y de las fiestas navideñas. En este caso, los principales esfuerzos han ido a procurar una mínima o nula propagación del virus dentro de las instalaciones. En diciembre se detectaron 15 casos positivos, y durante el mes de enero, hasta la fecha de preparación de este informe, 35 casos más. Sólo en un par de casos parece que la persona contagiada ha podido transmitir el virus dentro de nuestras instalaciones. Las medidas preventivas para indicar trabajo no presencial a personas de contacto estrecho o con síntomas, se han demostrado eficaces en este sentido.

Si en 2020 se celebraron un total de 56 reuniones de la Subcomisión COVID-19 (periodicidad media semanal), en 2021 se celebraron un total de 20 reuniones (cada dos semanas). Durante 2022 está previsto, salvo circunstancias especiales, reducir la periodicidad de estas reuniones a una mensual.

## BIBLIOTECA

Desde 2019, la Biblioteca del IAC tiene un doble cometido. Por un lado, ofrecer servicios de información científica de soporte para la actividad investigadora y de desarrollo tecnológico del centro y, por otro lado, participar en proyectos de archivos y de gestión documental.

Debe, por lo tanto, gestionar los servicios de adquisición de bibliografía, préstamo de libros, préstamo interbibliotecario y atención a usuarios para cubrir las necesidades de información del personal y visitantes invitados.

La Biblioteca facilita el acceso a sus recursos bibliográficos a través de la web externa que permite consultar el catálogo de libros y revistas, acceder a e-books y revistas online, así como a servicios de bases de datos bibliográficos especializadas suscritas.

En 2021, a causa de la pandemia COVID-19, se mantuvieron cerradas las salas de lectura, y de reuniones de la Biblioteca hasta mediados de mayo. Cuando se pudieron abrir de nuevo, el aforo en las salas ha estado condicionado en todo momento por la evolución de la pandemia, aumentando o disminuyendo según las nuevas olas de contagios.

El personal de la Biblioteca ha estado trabajando presencialmente el 80% del tiempo y el 20% restante, en modalidad de trabajo a distancia, coordinando turnos para asegurar que haya al menos una persona presencialmente cada día.

A pesar de los inconvenientes de la situación, en 2021, se han seguido ofreciendo todos sus servicios realizando las siguientes actividades.

### Adquisición de bibliografía y préstamo

Se ha mantenido la política de adquisiciones de años anteriores, centrándola en las adquisiciones de libros de Astrofísica y materias relacionadas con el desarrollo de instrumentación astronómica e ingeniería.

También, se ha seguido con la política de comprar preferentemente colecciones digitales versus papel. Por ello, desde hace años, se adquieren en formato electrónico, las series de libros más relevantes para el campo de la Astrofísica: Proceedings of the International Astronomical Union Symposia and Colloquia,

Proceedings of the Astronomical Society of the Pacific, SPIE Digital Library, así como la colección de libros de Física y Astronomía de la editorial Springer de 2021.

Se han comprado también libros a petición de los usuarios, dejándoles escoger el formato, papel o electrónico según su preferencia, aunque animando a comprar el formato digital.

En 2021, la Biblioteca renovó sus suscripciones a revistas científicas y técnicas, la mayoría en versión solo online y únicamente se han renovado en papel aquellas revistas que no ofrecen versión digital o que la ofrecen a un precio demasiado alto. El 90% de las revistas son online. Se renovó también la suscripción a la colección completa de normas de AENOR que incluye normas europeas y algunas normas ISO.

Se ha mantenido la colaboración con la biblioteca del Isaac Newton Group of Telescopes (ING) renovando las suscripciones conjuntas IAC-ING a varias revistas de astrofísica.

El servicio de préstamo de libros en papel ha seguido prestándose con reserva previa mientras la biblioteca estuvo cerrada para los usuarios y, a partir de la reapertura, volvió a ser en libre servicio como antes de la pandemia.

Este año, se han recibido bastantes solicitudes de artículos por parte de los usuarios bien porque no podían acceder a las colecciones online al trabajar remotamente, bien por no estamos suscritos. En ambos casos, el personal ha gestionado las solicitudes descargando los artículos requeridos o solicitándolos a través del préstamo interbibliotecario.

Se ha renovado la participación del IAC en la licencia nacional gestionada por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), para el acceso a las bases de datos bibliográficos de Web of Science. Dichas bases de datos permiten a la biblioteca, elaborar informes periódicos o puntuales, con los indicadores de calidad que otras áreas o departamentos utilizan para la evaluación de la producción científica.

La Biblioteca sigue colaborando en la actualización de la base de datos de la producción



científica del IAC, IACPub mantenida por el Área de Investigación.

### **Web de la Biblioteca y Catálogo online (OPAC)**

A mediados de año, se contrató una reconfiguración del interfaz del Catálogo on-line para facilitar la búsqueda de libros e integrar el acceso a los recursos electrónicos (revistas, ebooks y bases de datos). Además, se ha creado e interfaz para móviles: [https://i10326uk.eos-intl.eu/i10326UK/OPAC\\_IAC\\_new2/Index.aspx](https://i10326uk.eos-intl.eu/i10326UK/OPAC_IAC_new2/Index.aspx)

### **Reestructuración de la sala de revistas**

En el segundo semestre de 2021, ante la falta de despachos y la previsible llegada de más investigadores postdoctorales, la dirección del IAC acordó reestructurar una parte de la sala de revistas para colocar 12 puestos de trabajo, como solución temporal.

Se ha mantenido una zona de lectura para los usuarios y el resto de zonas de lectura ha sido equipada con el mobiliario e infraestructura necesaria para los nuevos puestos de trabajo.

### **Formación del personal**

Este año, el personal ha asistido al Seminario Open Access Horizonte Europa, 6 workshops sobre las bases de datos Web of Science y al Curso IV del Convenio Único para el Personal Laboral de la Administración General del Estado y ha realizado los cursos de administración electrónica en la plataforma moodle del IAC, en el marco del Plan de Transformación Digital que se está implantando. También, ha participado en el congreso LISA IX (Library and Information Services in Astronomy), organizado por la Royal Astronomical Society, del 14 al 18 de junio. Debido a la pandemia por COVID-19, el evento fue virtual lo cual favoreció la asistencia un mayor número de participantes que en anteriores ediciones.

### **Comité de Biblioteca**

El Comité de Biblioteca mantuvo 2 reuniones este año en las que se hizo un repaso a las actividades en tiempos de pandemia, se trató el tema de la reestructuración de la sala de revistas aprobada por el Comité de Dirección (CD) en junio. Al considerar que la sala de revistas no es un espacio adecuado para puestos de trabajo habituales, el Comité de Biblioteca redactó un escrito al CD con propuestas sobre el uso que se debería dar a dicha sala en el futuro.

### **Participación en otros proyectos, comisiones o grupos de trabajo**

El personal ha continuado participando en grupos de trabajo como el Grupo de Evaluación del Desempeño y el de estudio del Convenio Único, así como, en proyectos transversales del IAC relacionadas con la aplicación de la ley de transparencia, la Igualdad de género, el nuevo portal Web del IAC interno y externo, la protección de datos personales y el Plan de Transformación Digital.

# OFICINA DE PROYECTOS INSTITUCIONALES Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN (OTRI)

La OTRI, que pasará a denominarse Oficina de Transferencia y Acciones Institucionales (OTAI) a partir del 1 de enero de 2022, desarrolla su actividad desde hace más de 30 años, y se centra actualmente en el fortalecimiento institucional del Instituto a través del impulso y gestión de proyectos estratégicos que el IAC mantiene con el entorno nacional e internacional para el desarrollo de grandes infraestructuras científicas, la potenciación de los observatorios, la financiación de la actividad investigadora, la explotación industrial de los desarrollos tecnológicos y una mayor coordinación con la comunidad científica y tecnológica.

Las actuaciones más relevantes llevadas a cabo durante el 2021 se muestran a continuación.

Línea de actuación y tipo de servicio	Actuaciones más relevantes a resaltar en el 2019
<b>1.- Financiación I+D+i.</b> Información, gestión y coordinación de solicitudes de financiación externa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollo de nueva herramienta Web de la OTRI (Service Desk), a través de la cual se realiza todo el proceso de información de convocatorias y de propuestas y solicitudes de financiación del IAC</li> <li>- Asesoramiento especializado sobre propuestas de I+D enviadas a programas regionales, nacionales y europeos de financiación externa.</li> <li>- 83 nuevas propuestas en 2021 (47 M€): 21 concedidas, 8 en lista de reserva, 38 en evaluación y 16 denegadas. Entre las actuaciones aprobadas se incluyen: Optical RadioNet Pilot, MACBioIDI2 o La Integración del OT en la Red ATLAS entre otros.</li> <li>- Participación en reuniones virtuales a nivel nacional y europeo en relación con programas presentes y futuros de financiación de I+D+i.</li> <li>- Organización de seminario sobre Programas de financiación y actividad de la Oficina.</li> </ul>
<b>2.- Actividad de I+D+i del IAC y sus capacidades tecnológicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Participación en mesas de trabajo para la Definición de la nueva Estrategia de Especialización de Canarias, el Plan Director de Innovación del Cabildo de Tenerife y el Plan Canario de I+D+i.</li> <li>- Memoria de Actividades de I+D+i e información específica para distintas entidades regionales (Cabildos, Clúster empresariales), nacionales (CDTI, MCIU, ICTS) e internacionales (consorcios de proyectos y CE).</li> <li>- Participación en foros nacionales e internacionales (100XCIENCIA 5, ESFRI, ERIC FORUM, ICRI) y otros encuentros en relación con las capacidades tecnológicas del IAC.</li> </ul>
<b>3.- Proyectos Institucionales.</b> Infraestructuras I+D+i y otras actuaciones de carácter internacional	Entre otros la OTRI se encarga de la gestión de los siguientes proyectos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proyecto "IAC - Centro de Excelencia Severo Ochoa 2020-2023".</li> <li>- Plan de Recuperación, Transformación, y Resiliencia del IAC.</li> <li>- EST (PRE-EST, Oficina de Proyecto, SOLARNET); Cherenkov Telescope Array (CTA); New Robotic Telescope; Equipamiento científico y tecnológico FEDER; SC-WHT; 4LST, 5MST, GTCAR-LS; OPTICON-H2020, FORWARD, POLMAG, PI2FA, EUROCC, COALF, WHOLESUN, SUNDIAL, MICAL, MNLPRES, PLATO, LITEBIRD, IACSAT-VINIS, INSIDE-OCC.</li> <li>- Apoyo en la implementación del Plan Estratégico IAC 2018-2021 y del Plan Estratégico de los Observatorios de Canarias 2017-2021, Centro de Sistemas Ópticos Avanzados (CSOA).</li> <li>- PILAR-IAC-Europa.</li> </ul>
<b>4.- Transferencia de Tecnología</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IACTEC. Apoyo a la actividad del centro de colaboración tecnológico-empresarial del IAC.</li> <li>- Apoyo a la participación del IAC en el CIDIHUB.</li> <li>- Tramitación del NDAs y apoyo a la solicitud de patentes.</li> </ul>
<b>5.- Otras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Representación institucional en diversos eventos.</li> <li>- Actuaciones de formación del personal de la Oficina.</li> </ul>

## HITOS Y RESUMEN DE ACTIVIDADES

### 1.- Proyectos de I+D+i de financiación externa. Información, asesoramiento y gestión

Durante el 2021, se presentaron un total de 83 actuaciones, por una cuantía global de algo más de 47 millones de euros. Del total, 17 se han presentado al programa HE (Horizonte Europa) y otras 4 a convocatorias de otros programas de la Comisión Europea e Internacionales. Las 62 restantes se han presentado de forma distribuida a la Agencia Estatal de Investigación y Subdirecciones del Ministerio de Ciencia e Innovación y al Gobierno de Canarias, así como a otros programas específicos de financiación. Hasta la fecha, un total de 21 propuestas han sido concedidas y gran parte de éstas han comenzado a ejecutarse.

En el ámbito comunitario cabe destacar el apoyo continuado de la OTRI a la preparación de propuestas en HE y otros programas europeos, y el apoyo específico prestado a la negociación de contratos y gestión de diversos proyectos colaborativos de HE: Optical Radionet Pilot, MACBioIDI2, entre otros. Asimismo, se ha participado también muy activamente en diversas actividades organizadas por la Comisión Europea y por nuestros representantes nacionales en relación con el nuevo Programa Marco HE.

La OTRI ha realizado labores de gestión e intermediación con el Ministerio de Ciencia e Innovación en la ejecución del proyecto de equipamiento científico y técnico aprobado al IAC con un total de 2 actuaciones por un importe de 1,7 millones de euros. Asimismo, hay que destacar el apoyo de la OTRI en el seguimiento de los convenios ICTS a favor de los proyectos CTA, WEAVE, EST, Nodo de Supercomputación La Palma y servicios comunes en el ORM por valor próximo a 28 M€ (con FEDER de 23,67 M€) así como en los convenios FEDER con CDTI para los proyectos PLATO, Lintebird e IACSAT Vinis.

En el ámbito regional, se continúa prestando el seguimiento al convenio de colaboración entre GTC, IAC y ACIISI, para financiar el desarrollo del Sistema de Estrella Láser Guía para la óptica adaptativa de GTC. La financiación representa alrededor de los 2,7 millones de euros, con una cofinanciación al 85% de Fondos Estructurales de la Unión Europea. Igualmente, se continúa está prestando el asesoramiento para la gestión de las dos subvenciones directas aprobadas para el establecimiento de

la Oficina del Proyecto EST (4,5 M€), y la construcción del Nuevo Telescopio Robótico de 4 metros (2 M€). Por otra parte, se han aprobado 2 solicitudes de Expresiones de Interés para la convocatoria de Infraestructuras del Gobierno de Canarias, también financiados con fondos FEDER, y se continúa prestando apoyo a unos 30 proyectos de I+D financiados por la ACIISI.

Asimismo, la OTRI se encargó de la organización de sesiones virtuales informativas y talleres prácticos sobre oportunidades de financiación. Igualmente mantuvo diversas reuniones de trabajo con el personal investigador interesado en presentar propuestas de financiación y procedió a realizar revisiones técnicas y administrativas de las propuestas presentadas. En su apuesta por el fortalecimiento digital de su actividad, presentó al personal investigador el OTRI SERVICE DESK, una nueva herramienta interna para la gestión documental de expedientes y de financiación externa, basada en DRUPAL y habilitada a través de la Intranet de la Web del IAC.

Por último, ha de remarcarse la labor de asesoramiento y coordinación realizada desde la OTRI para la participación del IAC en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España, en el que se incluye la I+D+i como elemento clave de fomento de la productividad y el empleo, entre otros aspectos. En este sentido, el IAC ha conseguido financiación para dos medidas estratégicas propuestas con una inversión prevista de 22 M€, cuya ejecución ha sido gestionada desde la OTRI: (1) Tecnologías de vanguardia para la instrumentación astrofísica; y (2) nuevas tecnologías para sistemas ópticos avanzados.

### 2.- Actividades de I+D+i y sus capacidades tecnológicas

En relación con la difusión de las capacidades científicas y tecnológicas del IAC, buena parte de las actividades de este tipo se han llevado a cabo en el marco de los proyectos institucionales que se exponen más adelante.

Por otra parte, se han preparado más de una decena de informes sobre la actividad del IAC y sus capacidades, intereses y relaciones bilaterales, para entidades de diversa naturaleza.

### 3.- Proyectos institucionales. Proyectos de infraestructura científica y técnica y actuaciones similares de carácter internacional

Durante el 2021 cabe destacar las siguientes actividades de carácter institucional gestionadas

das desde la OTRI del IAC o en las que se ha participado muy activamente.

### 3.a. IAC - Centro de Excelencia (SEVERO OCHOA)

Durante 2021 se consolidó la organización del programa SO a partir de la contratación de los 12 Advanced Fellows convocados a finales del año anterior, los que están contribuyendo al trabajo de las seis líneas de investigación del programa. Se hicieron, además, dos llamadas internas para apoyar con financiación el programa de investigación.

Por otro lado, con objeto de reforzar los grupos de investigación dentro de las líneas prioritarias antes mencionadas, a los cinco predocs SO del año anterior se suma la propuesta de otros cuatro candidatos para 2021, cuya resolución aún no se ha comunicado por el ministerio.

El programa de movilidad SO, no fue posible desplegarlo en su totalidad, solo dos visitantes estuvieron en el IAC en 2021 y ninguno de nuestros investigadores salieron a otros centros extranjeros, debido a la situación pandémica. Se espera que en 2022 se pueda reactivar el mismo.

Se ha continuado la participación en la Alianza de Centros Severo Ochoa y Unidades María de Maeztu (SOMMa), cuya actividad principal en el año, además de la actividad en los grupos de transferencia de tecnología y gestión, fue la asistencia al congreso 100XCIENCIA.5.

### 3.b. Plan de Recuperación, Transformación, y Resiliencia del IAC

El Proyecto, Nuevas capacidades para las tecnologías ópticas avanzadas e instrumentación de vanguardia en Astrofísica en el Área de Instrumentación e IACTEC, tiene por objeto fortalecer las capacidades en tecnologías de vanguardia para la instrumentación astrofísica y en tecnologías ópticas avanzadas, incluido el desarrollo de un centro de óptica avanzada. En este entorno de innovación el IAC considera clave fortalecer su actividad en ámbitos para los que ya se dispone de capacidades estratégicas como la óptica, la electrónica, el desarrollo de aplicaciones de software específico y la mecánica de precisión. De forma complementaria se reforzarán las capacidades del IAC en tecnologías avanzadas para sistemas: mecánicos y opto-mecánicos, Sistemas criogénicos y de vacío, Mecánica de precisión, sistemas de Óptica adaptativa, Fibra óptica, Sistemas de control, Caracterización de sensores, Sistemas electrónicos y Diseño de software, entre otros.



Desde la OTRI se está llevando la gestión del proyecto en estrecha colaboración con otras unidades del IAC, garantizando el cumplimiento de los requisitos específicos del mismo marcado por las directrices europeas, como por ejemplo la elaboración de un Plan Antifraude para el centro.

### 3.c. Telescopio Solar Europeo (EST): PRE-EST, SOLARNET, MICAL y Oficina EST

Proyecto ESFRI desde 2016, EST está liderado por el IAC en colaboración con la Asociación Europea de Telescopios Solares (EAST), con el objetivo principal de culminar su diseño, construcción y operación de EST en uno de los Observatorios de Canarias. La OTRI presta apoyo y asesoramiento continuo a este proyecto de infraestructura científica, que busca su viabilidad financiera en el ámbito nacional e internacional, de manera que sea factible culminar su fase de diseño y construcción.

EST supone una inversión de unos 220 M€. Diversos proyectos vinculados a esta iniciativa transnacional están propiciando la consecución de las fases previas a la construcción del telescopio, la cual se espera que comience en 2024 y que dure 6 años. Se estima una vida útil de 30 años con un coste de operación anual de 12 M€.

La OTRI continúa desempeñado un papel decisivo en la gestión de los proyectos aso-



ciados al Telescopio Solar Europeo, contando para ello con dos personas a tiempo completo, contribuyendo no solo al control sistemático de los mismos sino incidiendo también en acciones estratégicas en relación con la futura implementación de EST.

### 3.c. Cherenkov Telescope Array (CTA)



El Proyecto Cherenkov Telescope Array (CTA) es la apuesta europea para la investigación de fuentes cósmicas de rayos gamma de las próximas décadas, con participación también de terceros países, para el estudio del Universo a muy altas energías. Con un presupuesto para construcción estimado en unos 300 M€, CTA constará de dos observatorios, uno en el Hemisferio Norte y otro en el Hemisferio Sur, que albergarán en su conjunto alrededor de 100 telescopios de tres diferentes tamaños. Un total de 9 telescopios será la configuración actual conocida como Pathfinder para el CTA-Norte y el resto en el Hemisferio Sur.

La OTRI del IAC ha colaborado activamente para la gestión, seguimiento y control, y justificación de las financiaciones recibidas tanto de fondos FEDER como del Gobierno de Canarias. Asimismo ha prestado asesoramiento en las labores de comunicación y publicidad del Proyecto, y ha colaborado en la preparación de nuevas solicitudes de financiación para garantizar las inversiones necesarias que configurarán CTA-Norte.

### 3.d. New Robotic Telescope (NRT)

El NRT será un nuevo telescopio robótico de clase 4 m en el Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM), diseñado para sacar el máximo provecho de casos científicos que necesiten un seguimiento en el tiempo a gran escala y respuesta rápida de observación ante el aviso de otros telescopios, convirtiéndolo en una infraestructura clave a nivel mundial para el estudio de fenómenos astronómicos de transición (explosiones, atenuaciones rápidas, etc.).

Actualmente, el equipo de trabajo está formado por 5 ingenieros y un gestor. Durante este año se ha llevado a cabo una actividad muy intensa con la mirada puesta en el Preliminary

Design Review (PDR) del telescopio previsto para septiembre de 2021. De forma paralela se están adelantando pasos en cuanto a la ubicación del telescopio en el Observatorio del Roque de los Muchachos en la Palma.

Desde la OTRI se continúa prestando asesoramiento al IP y a la Dirección del IAC en relación con la gestión y justificación de la financiación recibida del Gobierno de Canarias, y de acciones vinculadas a la puesta en marcha del NRT, así como en las posibles estructuras de gestión y gobernanza previstas para el proyecto NRT. Durante 2021 se han celebrado 8 reuniones de coordinación por parte de los socios del proyecto.

### 3.e. FORWARD - Fomento de la excelencia investigadora en las regiones ultraperiféricas de la UE

El objetivo general del Proyecto FORWARD es mejorar la excelencia de RUP en la investigación y su potencial de innovación para mejorar su participación en proyectos de investigación e innovación financiados por la UE y vincular las actividades de investigación con el desarrollo territorial.

FORWARD realizará un análisis inicial de los ecosistemas I+i y, basándose en estos resultados, pondrá en práctica acciones personalizadas incluyendo la definición de la estrategia conjunta y los planes de acción temáticos, la creación de capacidades y actividades de networking, y enfoques para conectar a investigadores y legisladores.

Durante este año, se han continuado los progresos planificados en los distintos paquetes de trabajo. El Proyecto se ha prorrogado con el objeto de poder alcanzar los objetivos establecidos en un inicio con la intención de superar el impacto producido por la pandemia COVID-19.

### 3.f. PILAR-IAC-Europa

El Proyecto Nacional PILAR-IAC-Europa persigue la creación, consolidación y capacitación de una estructura de apoyo especializada en Programas Europeos dentro de la OTRI, con lo que lograr así un aumento significativo de la participación del IAC y de sus entidades asociadas en proyectos y programas europeos, así como la formación de investigadores en la elaboración de proyectos internacionales.

Este Proyecto se inició en 2021 y en su contexto se han desarrollado actividades de difusión de convocatorias como las Acciones Marie Skłodowska Curie (MSCA), las del Consejo Superior



de Investigación (ERC) y del programa WIDENING, entre otras. Además, gracias a esta financiación, la plantilla encargada del asesoramiento de propuestas cuenta con una nueva gestora para incrementar el apoyo prestado a los investigadores e investigadoras del IAC en la solicitud de propuestas europeas, además de en la labor de asesoramiento a los grupos del IAC responsables de los actuales proyectos, en lo que concierne a las condiciones técnicas y económicas que implica la cofinanciación de estas actividades.

### **3.g. Apoyo al establecimiento del Centro de Sistema Ópticos Avanzados (CSOA)**

El CSOA se concibe con el objetivo de atender la demanda de elementos ópticos de calidad como valor en alza para las próximas décadas. Desde la OTRI se ha dado el apoyo técnico al área de Instrumentación e IACTEC para la captación de financiación, la elaboración de propuestas, la realización de un dossier y otro material promocional para la difusión de este nuevo centro. El CSOA será un aval clave en la participación relevante en cualquier proyecto que requiera la fabricación de elementos ópticos al disponer de las capacidades necesarias para su fabricación y por tanto asegurar un retorno científico y tecnológico de primer orden.

### **3.h. Planes Estratégicos**

Desde la OTRI se ha continuado prestando el apoyo que requieren las áreas del IAC en la implementación de las acciones prioritarias del Plan Estratégico del IAC 2018-2021, articulado en torno a tres objetivos fundamentales, relacionados con la excelencia en I+D+i y nuestro potencial, la colaboración internacional como marco de trabajo y el compromiso con la sociedad. Se ha contribuido a la preparación de informes específicos y presentaciones para la Comisión Asesora de Investigación, el Consejo Rector y su Comisión Delegada.

Además, se continúa dando soporte a la Subdirección en la implementación del Plan Estratégico de los Observatorios de Canarias 2017-2021 que incluye tres grandes objetivos desglosados en 33 acciones específicas con un presupuesto total de 92 millones de euros y una financiación necesaria de unos 40 millones de euros. Estas acciones se centran en torno a 5 estrategias que se complementan entre sí para proporcionar y apoyar instalaciones de vanguardia para realizar investigaciones de frontera en Astrofísica y Espacio, fomentando un marco fructífero de colaboración internacional.

Asimismo, se da soporte a la Dirección y Subdirección para la elaboración de los nuevos planes estratégicos del IAC y de sus Observatorios.

### **3.i. Equipamiento científico-tecnológico cofinanciado por FEDER. IACA19, EQC2021**

La OTRI ha continuado la labor de seguimiento y control de las 8 actuaciones de equipamiento científico-técnico financiado con FEDER (85%) con periodo de ejecución 2019-2021, que se han prorrogado debido al impacto de la pandemia. Estas diferentes actuaciones tienen como objetivo la incorporación de equipamiento científico-tecnológico que refuerce las instalaciones técnicas tanto del IAC como de IACTEC (equipamiento LIFEM), lo que permitirá incrementar la participación del centro en actuaciones tecnológicas con un papel determinante. alguna de estas actuaciones está orientada al fortalecimiento y consolidación del CSOA. Por otra parte, durante 2021, se aprobaron 2 actuaciones de la convocatoria de infraestructuras orientadas a la mejora de CSOA (Ion Beam Figuring) y a la incorporación de la Red de Telescopios ATLAS al Observatorio del Teide.

## **4.- Transferencia de Tecnología**

### **4.a. IACTEC. Apoyo a la actividad del centro de colaboración tecnológico - empresarial del IAC**

La OTRI del IAC ha continuado prestando apoyo a la Dirección del centro en la implementación de los proyectos en IACTEC, actuando el gerente como Secretario del Comité de coordinación de IACTEC. Además, se ha continuado con el respaldo institucional para potenciar la colaboración con la industria de la ciencia, el fomento de la innovación y la diversificación de la economía, además de colaborar en la implantación de la incubadora de Alta Tecnología en Astrofísica y Espacio.

### **4.b. Tramitación de acuerdos de confidencialidad sobre intercambio de información tecnológica para dinamizar la colaboración con las empresas**

El IAC promueve la cooperación científica y tecnológica a través de la tramitación de acuerdos para el intercambio de información confidencial, incluidas ideas para la explotación de resultados de investigación, llevar a cabo contactos con personas de otras organizaciones para desarrollar nuevas ideas o proyectos, valorar futuras colaboraciones en relación a un determinado objetivo, o con carácter general,

la preservación en el ámbito confidencial de determinada información que se comparta en el marco de un proyecto de colaboración, entre otros. La OTRI es la responsable del procedimiento asociado a la firma de los NDAs, intermediando entre la Unidad Organizativa o proyecto del IAC y la otra parte o partes, para perfilar los términos y condiciones del mismo.

Durante el año 2021, la OTRI ha tramitado más de una docena de nuevos acuerdos de confidencialidad. Hay que resaltar que la puesta en marcha de IACTEC ha propiciado un aumento importante de los acuerdos de confidencialidad firmados debido esencialmente a la propia misión de IACTEC de colaborar con el tejido empresarial para el desarrollo de tecnología. Por otra parte, se han tramitado fórmulas de protección para dos resultados de investigación, mediante una patente Internacional PCT y de una patente europea.

## RECURSOS HUMANOS

Bajo este Departamento se encuentran las unidades y servicios de Personal, de Selección y Contratación y Prevención de Riesgos Laborales.

Las novedades y actividad más destacadas durante 2021 son las siguientes:

### PERSONAL

#### Personal funcionario

La Oferta de Empleo Público 2021 fue la siguiente:

- 3 plazas ordinarias en la Escala de Científicos Titulares de los OPI's.

#### Personal laboral

La Tasa de Reposición autorizada en 2021 fue de tres plazas: 1 especialista para el ORM (FC), 1 administrativo (DC) y 1 jefe administrativo (DC).

En aplicación de lo dispuesto en la Ley 6/2018, de Presupuestos Generales del Estado para el año 2018, las Direcciones Generales de Costes de Personal y Pensiones Públicas y de la Función Pública autorizaron 16 contrataciones en el marco de los procesos de estabilización del personal laboral temporal, en 2021 se adjudicaron los 5 contratos Titulados/as Superiores pendientes de dicho proceso.

Se procedió a la contratación como laboral fijo y correspondiente a la Tasa de Reposición 2020, de dos plazas de administrativo y dos plazas de investigadores distinguidos correspondientes a la OEP 2017/18.

<b>ALTA DIRECCIÓN</b>	<b>1</b> (1H/0M)
<b>DIRECTIVOS</b>	<b>1</b> (1H/0M)
<b>FUNCIONARIOS</b>	<b>41</b> (34H/7M)
<b>LABORALES</b>	<b>368</b> (246H/122M)
<b>Personal laboral fijo:</b>	<b>147</b> (96H/51M)
• Convenio	<b>72</b> (46H/26M)
• Fuera de Convenio	<b>75</b> (50H/25M)
<b>Personal laboral temporal:</b>	<b>219</b> (148H/71M)
• Convenio	<b>20</b> (8H/12M)
• Fuera de Convenio	<b>199</b> (140H/59M)

## PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

En materia de prevención de riesgos laborales, podemos destacar durante 2021 lo siguiente:

FORMACIÓN			
Título de los cursos	Matrículas	Nº alumnos	Duración horas
Aspectos generales del SARS-CoV-2	12	Presencial	8
Formación en manejo de puente grúa	5	Presencial	8
Teórico en manejo de puente grúa	10	Presencial	2
Almacenamiento y manipulación de productos químicos	2	On line	2
Capacitación para el desempeño de funciones de nivel básico	6	On line	50
Medidas en el trabajo frente al COVID-19	74	On line	2
Prevención de incendios y normas de actuación ante emergencias	12	On line	4
Prevención de riesgos en PVD y dispositivos TIC portátiles	26	On line	2
Seguridad y salud en oficinas	3	On line	4
Seguridad en trabajos en altura	5	On line	2
Conducción en condiciones adversas	12	Presencial	8 (16h dos cursos)

### Otras actuaciones en materia de prevención de riesgos laborales:

- Generación tarjetas fichaje.
- Gestión reconocimientos médicos.
- Actualización Plan de contingencia COVID, revisión medidas preventivas, aforos.
- Participación tribunal puesto estabilización.
- Participación grupo de trabajo ER Psicosociales.
- Gestión documental del departamento, digitalización parte de la documentación.
- Elaboración pliegos PPT para contratación SPA.
- Consultas del personal, riesgos psicosociales.

## FORMACIÓN

Durante 2021 se convocaron las siguientes becas de formación:

- 6 becas de verano dirigidas a estudiantes universitarios, que estén cursando los últimos cursos de la carrera para su formación en la investigación astrofísica.
- 10 becas de verano para la formación en desarrollo tecnológico dirigidas a estudiantes universitarios de titulaciones superiores, que estén cursando los últimos cursos de la carrera o sean recién titulados.
- 1 beca para la formación en comunicación y divulgación de la cultura científico-técnica en un centro de investigación dirigida a personas con titulación universitaria reciente de grado (curso 2020-2021) o estudiantes o recién titulados de máster universitario (curso 2020-2021).

Por otra parte, se han organizado en el IAC 84 cursos de muy diversa índole, por un importe económico de 72,8 k€.

## ACCIÓN SOCIAL

El Plan de Acción Social ha sido elaborado por la Comisión de Acción Social (CAS) del IAC, partiendo de los planes establecidos en años anteriores, y los criterios marcados por la Comisión Paritaria del IAC, Convenio Colectivo del IAC, Plan de Igualdad del Ministerio de Política Territorial y de la Administración Pública, Plan de Igualdad del IAC y Resolución de 28 de julio de 2011, de la Secretaria de Estado para la Función Pública, sobre el acuerdo para los criterios comunes aplicables a los Planes de Acción Social en la Administración General del Estado (AGE).

El presupuesto para 2021 ascendió a 20.200 € y se ejecutó en su totalidad.

Tipo de ayuda	Nº solicitudes
1. Social por descendiente	56 (18M-38H)
2. Estudios oficiales postobligatorios para descendientes	19 (4M-15H)
3. Estudios del personal empleado	6 (2M-4H)
4. Fomento de la vida saludable del personal	114 (62M-58H)
5. Cuidado de familiares dependientes mayores de 70 años y/o personas con discapacidad	1(1M-0H)
6. Víctimas de violencia de género	0 (0M-0H)
TOTAL	196 (62M-134H)

## IGUALDAD

En 2021, la Comisión de Igualdad ha empezado a implementar algunas de las medidas del III Plan de Igualdad del IAC que fue aprobado en diciembre de 2020:

- Se ha licitado la contratación de un servicio de asistencia técnica para la implementación del III Plan de Igualdad y un servicio de asesoramiento especializado para la mejora de los procesos selectivos bajo perspectiva de género. Dicha licitación se resolverá a principios de 2022. (Objetivo 1).
- Se ha trabajado desde las áreas de RRHH y de Investigación, en un procedimiento para implementar los informes de impacto de género de los procesos selectivos. Una vez revisado en coordinación con la UI del Ministerio, se ha decidido simplificar el procedimiento e implementarlo durante el primer trimestre de 2022. (Objetivo 1)

- En aplicación del RD 902/2020, de 13 de octubre, de igualdad retributiva entre mujeres y hombres. se ha realizado durante el segundo semestre de 2021, la auditoria retributiva del IAC para detectar posibles brechas salariales, elaborándose el correspondiente Plan de acción, cuyas acciones se incorporarán al seguimiento del III plan de igualdad.
- Se está trabajando en la organización de formación básica en igualdad para todo el personal. Además, se han difundido las acciones formativas en igualdad propuestas por el MICINN para 2021. El IAC disponía de 5 plazas por acción y hubo una gran acogida por parte del personal del IAC que superaba las plazas del cupo. Se tuvo que hacer una selección y hubo gente que se quedó fuera. También se ha difundido otro curso de igualdad organizado por Función Pública. (Objetivo 7).
- Se ha constituido en junio la nueva Comisión de Igualdad que velará y participará en la implementación del III Plan de Igualdad (renovación de 7 miembros del total de 10).
- Se ha continuado desde la Unidad de Comunicación y Cultura científica del IAC (UC3, con las actuaciones para visibilizar las mujeres en la ciencia y promover el interés por la ciencia en las niñas y adolescentes han tenido una gran acogida. con las actuaciones. A título de ejemplo, en el marco del proyecto “Habla con ellas: Mujeres en Astronomía”, en el primer semestre 2021, se han realizado 69 videoconferencias con centros educativos de infantil, primaria y secundaria por parte de 27 astrofísicas e ingenieras del IAC y de otras 10 de instituciones relacionadas con los Observatorios de Canarias. Alcance: 3000 estudiantes de 13 Comunidades Autónomas españolas.

En el marco de la coordinación de igualdad de los OPIs por parte del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN), se ha asistido a las reuniones convocadas por la Unidad de Mujeres y Ciencia y la Unidad de Igualdad, y se ha participado en la elaboración de la propuesta del MICINN, para el Plan Estratégico de Igualdad entre Mujeres y Hombres (PEIMH).

Por otra parte, como miembro de la Red GENERA Network creada al finalizar el proyecto europeo GENERA para implantar políticas de igualdad en los centros de investigación en física e intercambiar buenas practicas, se ha participado en las reuniones mensuales.

En abril 2021, se ha renovado la adhesión a la Red Insular para la Igualdad de Género “Tene-



rife Violeta”, y al II Marco Estratégico Tenerife Violeta que constituye un instrumento para articular y definir las prioridades en el desarrollo de políticas públicas encaminadas a favorecer la igualdad real de oportunidades entre mujeres y hombres en la isla de Tenerife.

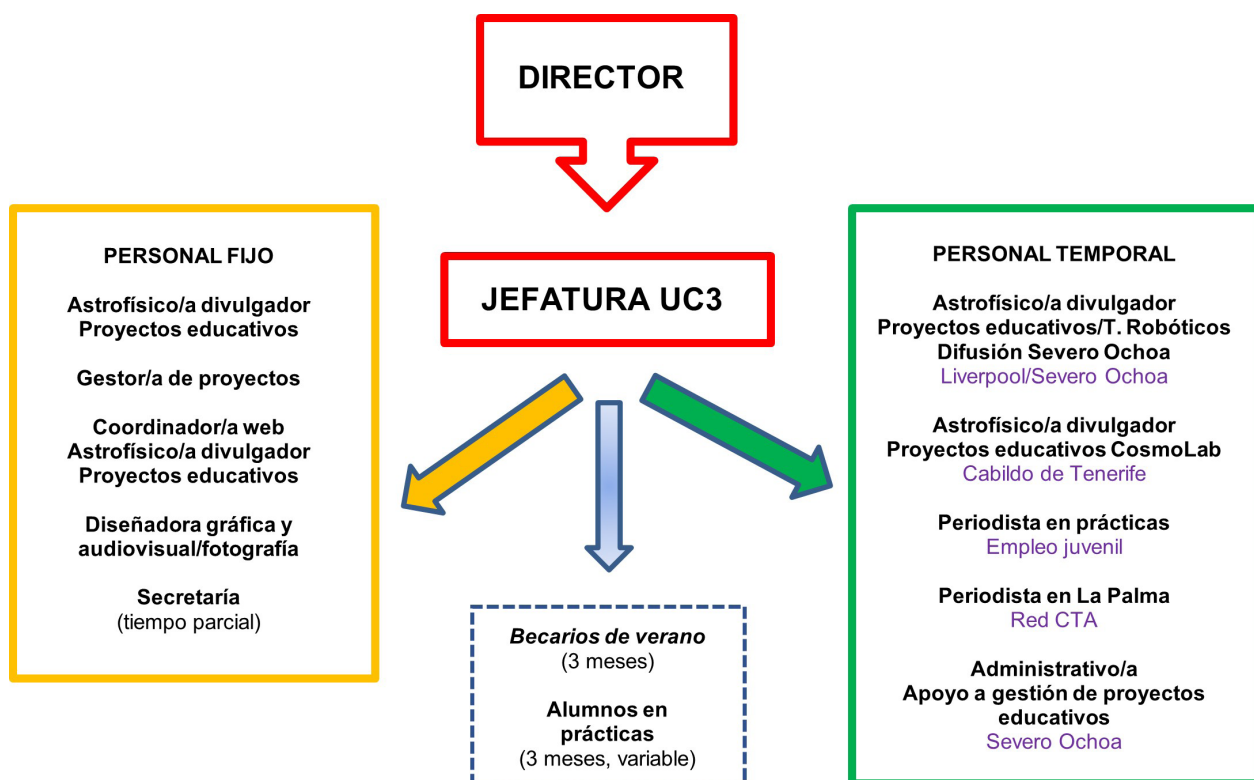
# UNIDAD DE COMUNICACIÓN Y CULTURA CIENTÍFICA (UC3)



La Unidad de Comunicación y Cultura Científica (UC3), bajo la dependencia directa del director del IAC, es un departamento que tiene como meta situar al IAC y a los Observatorios de Canarias como referentes locales, nacionales e internacionales en materia de comunicación y divulgación de la Astronomía, estableciendo y ejecutando la estrategia y acciones de extensión cultural del IAC.

Sus objetivos concretos son: promoción nacional e internacional de los Observatorios de Canarias; comunicación de resultados científicos y técnicos; cobertura de eventos especiales (astronómicos, institucionales...); comunicación interna; imagen corporativa y merchandising; divulgación científica y técnica (exposiciones, ferias, charlas...); formación de comunicadores periodistas especializados; formación de profesorado de Enseñanzas Medias; consolidación de las relaciones con la sociedad canaria; colaboraciones específicas con el Museo de la Ciencia y el Cosmos y otros museos e instituciones así como proyectos transversales de cultura científica.

La UC3 también da apoyo a otros departamentos y personal del IAC que hacen difusión y divulgación científica y de cuya actividad se informa en estas páginas.



## COMUNICACIÓN EXTERNA Y REDES SOCIALES

- **90** Notas de prensa (en español e inglés)
- **4** Entrevistas publicadas (en español e inglés)
- **63** Publicaciones en el Blog “Vía Láctea, S/N”
- **110** solicitudes de grabación
- **12** Artículos/colaboraciones con la revista “Astronomía” y otros medios
- **Cobertura fotográfica** de eventos y visitas: Winter School, primeras imágenes de DRAGO, Diana Morant (Ministra de Ciencia e Innovación), Reyes Maroto (Ministra de Industria, Comercio y Turismo), etc.
- Elaboración de un **Manual de Identidad Corporativa y Protocolo de Gestión de Redes Sociales**.
- **Colaboraciones con productoras** para series audiovisuales de TV: ConCiencia Canaria (RTVC), Hijos de las Estrellas
- **4 comunicaciones a congresos** (una invitada en el 3rd Shaw-IAU Workshop)

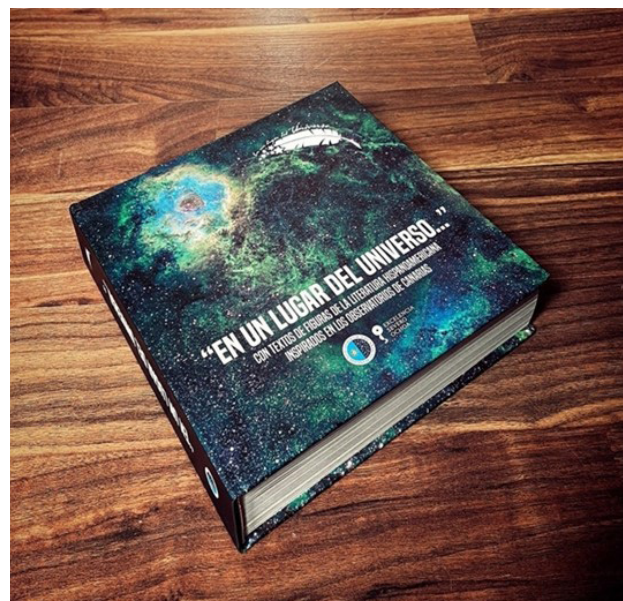
### Cobertura periodística de eventos y visitas

- **Ruedas de prensa:** Primeras imágenes de DRAGO y Consejo Rector
- **Congresos y reuniones** online: Dark and Quiet Skies for Science and Society II y Winter School.
- **Inauguraciones y eventos:** Centro de Visitantes de La Palma, Lanzamiento de DRAGO, Comité Rector del CVRM.

- **Acuerdos y convenios:** Gestión del CVRM, ULPG, CNRS, etc.
- **Visitas VIP:** Diana Morant (Ministra de Ciencia e Innovación), Reyes Maroto (Ministra de Industria, Comercio y Turismo), etc.

### Ediciones

- **2** Memorias del IAC 2020 (extensa y gráfica)
- **2** Calendarios astronómicos 2021.
- **9** Paneles retroiluminados de “100 Lunas2”
- **1** Libro “En un lugar del Universo...”
- **1** Folleto de NRT-LJMU
- **7** Volanderas de proyectos IACTEC
- **7** Roll-ups de proyectos: IACTEC
- Apoyo a ediciones de otros departamentos y personal





**Cartelería**

Becas de instrumentación, “Habla con Ellas: Mujeres en Astronomía”, cursos, congresos, pósters de La Luna, banners, gráficos e ilustraciones.



**Web**

- Estructura web Severo Ochoa, integrada en la web institucional.
- Manual de Identidad Corporativa y Protocolo de Gestión de Redes Sociales.

**Redes sociales**

- **Twitter: 76.916** (3.631 seguidores nuevos y 4,95 % más que en 2020)
- **Facebook: 26.323** (3.459 y 15,12 % más que en 2020)
- **Instagram: 14.465** (5.889 y 68,66 % más que en 2020)
- **LinkedIn: 5.830** (967 y 19,88 % más que en 2020)
- **YouTube: 5.689** (1.009 y 21,55 % más que en 2020)

**Vídeos**

- **1** Vídeo de la serie “Niñas que rompieron un techo de cristal...” (Total:7)
- **1** Vídeo corporativo sobre la cámara infrarroja DRAGO (IACTEC)
- **1** Vídeo sobre la Historia de la Astronomía de Altas Energías (CTA)
- **1** Vídeo “TMT La Palma, yo sí quiero” (Total: 42)



## EDUCACION Y DIVULGACIÓN

### Proyecto Educativo con Telescopios Robóticos (PETeR)

Permite a la comunidad educativa española realizar observaciones y proyectos de investigación con telescopios robóticos de los Observatorios de Canarias y de otros observatorios (LCO, SARA) en ambos hemisferios. Usuarios: 398 centros educativos (~10.000 estudiantes) de toda España. Se ha dado asesoramiento científico-técnico a los usuarios y se han elaborado nuevos recursos didácticos y contenidos para la web (<https://www.iac.es/peter>). Se han impartido los cursos de formación online “Introducción a la Astronomía” (9 horas) y “PETeR: investigar el Universo con telescopios robóticos” (24 horas): 96 docentes. Se ha colaborado con los cursos de formación de CESAR (ESAC): 230 docentes. Se mantienen colaboraciones y reuniones con representantes de otros programas educativos a nivel nacional e internacional (Consejería de Educación del Gob. de Canarias, LCO-Global Sky Partners, NSO, NUCLIO, FTP, CESAR).



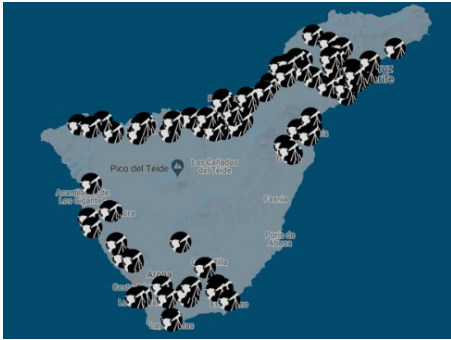
### VII edición del curso internacional para profesorado “Astronomy Education Adventure in the Canary Islands”

Organizado por el IAC en el marco de PETeR, en colaboración con NUCLIO, NSO, FTP y CESAR. Curso en línea, del 26 al 30 de julio (27.5 horas). Consiste en charlas y talleres sobre Astrofísica, uso de telescopios robóticos y herramientas STEM digitales que permiten llevar la investigación del Cosmos a las aulas. Alcance: 136 educadores de 30 países. Publicación de charlas en abierto en el canal de YouTube del IAC.



### Proyecto “CosmoLab: El Sistema Solar como Laboratorio en el Aula”

Tercera anualidad del este proyecto insular ([www.iac.es/cosmolab](http://www.iac.es/cosmolab)) que incluye cursos de formación en el uso de telescopios e instrumentación astronómica, astrofotografía, formación en astrofísica y talleres prácticos para el aula. 134 docentes formados, 95 centros educativos participantes, 9 préstamos de material.



### Curso de formación: CosmoEducando y descubriendo el Universo

Participación: 93 docentes y 17 personas de público general.

### Habla con Ellas: Mujeres en Astronomía”

Proyecto que busca crear referentes profesionales femeninos en ciencia y tecnología y fomentar el interés por estas áreas entre el alumnado, sobre todo en niñas. Tercera edición (enero-junio 2021) en la que se han realizado 69 videoconferencias con centros educativos, de infantil a bachillerato, por parte de 27 astrofísicas e ingenieras del IAC y de otras 10 de instituciones colaboradoras. Alcance: 3.000 estudiantes de 13 Comunidades Autónomas españolas.



### Proyecto “e-AMANAR”

Se finalizó la formación de profesorado en formato virtual en enero de 2021 con participación de 20 profesores de los campamentos de refugiados Saharauis.

### Otras actividades educativas y de divulgación

- 25 charlas y talleres para alumnado de primaria y secundaria, tanto en formato presencial como online.



- 2 visitas de grupos de estudiantes a la sede central del IAC
- Charlas para público general (presenciales y por YouTube)



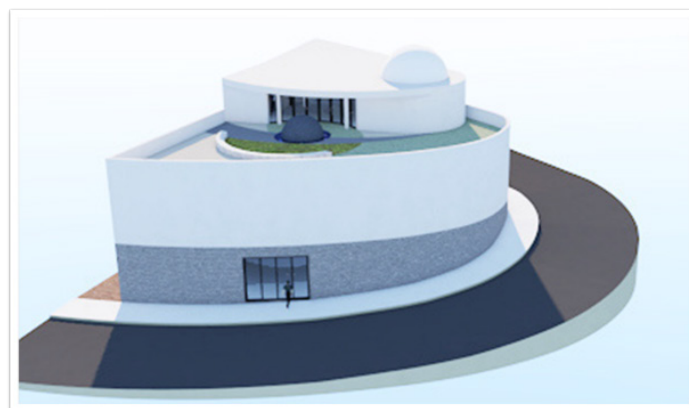
## Inauguración del Centro de Visitantes del ORM

Compuesto por un hall, tres zonas expositivas, una sala de proyecciones, una tienda, una sala para actividades didácticas y una sala de exposiciones temporales, todo ello distribuido en unos 1.400 m<sup>2</sup> de superficie.



## Proyecto de Museo de historia de la Astronomía en Garafía

Se han desarrollado dos borradores de proyecto museístico, adaptados a una y dos plantas. Se han mantenido reuniones regulares con el Ayuntamiento de Garafía, el estudio CBA Arquitectura y Urbanismo (encargado de la rehabilitación del edificio) y con Peter Habison, asesor externo.



## Otras colaboraciones

Reuniones de colaboración con el grupo de divulgación del ORM (LPIYA) y el Grupo de trabajo del Museo de la Astronomía de Garafía.

Cinco retransmisiones de eventos astronómicos (alcance: 140.307 visualizaciones) a través del canal sky-live.tv y organizado dentro de las actividades de divulgación del proyecto Interreg EELabs.

Charlas y talleres con centros educativos de Canarias en el marco del proyecto “Mujeres Científicas Canarias” de la Consejería de Educación y la Fundación Canaria Observatorio de Temisas.

Charlas divulgativas online para escolares en el marco del proyecto Macaronight 2021: Noche Europea de los Investigadores (150 estudiantes).

En el marco de PETeR, se mantienen colaboraciones con representantes de otros programas educativos a nivel nacional e internacional (LCO Global Sky Partners, Consejería de Educación del Gobierno de Canarias, NUCLIO, NSO, FTP, CESAR,...).

## PERSONAL

### **Nuevo personal de la Unidad**

- Estabilización de una plaza de astrofísica divulgadora y coordinadora de PETeR.
- Incorporación de un periodista y una administrativa a través del programa Severo Ochoa.
- Incorporación de un ingeniero de software para cubrir la plaza de responsable de la web externa del IAC.
- Incorporación de una documentalista en prácticas, para la elaboración del archivo fotográfico.
- Incorporación de una astrofísica divulgadora a través de los proyectos PETeR y NRT.



## Y ADEMÁS...

### Visita de la investigadora Omaira González Martín



**Omaira González Martín, investigadora del IRyA-UNAM, durante su estancia en el IAC a través del Programa de Visitantes Fundación Jesús Serra. Crédito: Iván Jiménez (IAC)**

Investigadora del Instituto de Radioastronomía y Astrofísica (IRyA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, al IAC con el propósito de coordinar algunas propuestas de observación para el telescopio espacial James Webb (JWST), que será lanzado a finales de 2021, y reforzar las líneas de colaboración con el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). La investigadora ha formado parte del Programa de Visitantes Fundación Jesús Serra, una iniciativa que promueve las visitas en el IAC de investigadores de gran prestigio internacional.

### El secretario de Estado de la España Global visita el Observatorio del Teide



**De izquierda a derecha: Manuel Muñiz, secretario de Estado de España Global, Casiana Muñoz-Tuñón, subdirectora del IAC, Anselmo Pestana, delegado del Gobierno en Canarias, y Miquel Serra-Ricart, administrador del Observatorio del Teide. Crédito: IAC.**

El 25 de febrero, el secretario de Estado de España Global, Manuel Muñiz, acompañado del delegado del Gobierno en Canarias, Anselmo Pestana, y del subdirector de Gabinete, Guillermo Corral, visitaron las instalaciones del Observatorio del Teide acompañados por la subdirectora del IAC, Casiana Muñoz-Tuñón, y el administrador del Observatorio del Teide, Miquel Serra-Ricart.

Esta visita forma parte de los esfuerzos de la Secretaría de Estado España Global “para entender los grandes activos que tenemos en la Ciencia y la Tecnología en nuestro país” y “ha sido el comienzo de una colaboración que, sin duda, dará muchos frutos y se espera que sea de gran utilidad para continuar y fortalecer aún más el desarrollo de la Astrofísica en Canarias”.



**Distintos momentos de la visita. Izquierda: dentro de la sala del láser de la OGS. Derecha: Dando explicaciones al delegado del Gobierno en Canarias y al secretario de Estado de la España Global. Crédito: IAC**

### El embajador de Portugal en España visita la sede del IAC



**El embajador de Portugal durante su visita a la sede central del IAC en La Laguna. Crédito: Julia Gara Leuona (IAC)**

João Mira-Gomes, embajador de Portugal en España, visitó la sede central del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) en La Laguna, junto con Vicente M. Álvarez Gil, cónsul de Portugal en Santa Cruz de Tenerife, y varios miembros de su equipo, acompañados por el director Rafael Rebolo. Durante su recorrido por las instalaciones, han sido informados sobre los distintos proyectos que se están desarrollando en el marco de la colaboración luso-española.

El IAC participa en varios consorcios y colaboraciones científicas con instituciones portu-

guesas. Destaca la cooperación con el Instituto de Astrofísica y Ciencias del Espacio (IA) y las universidades de Oporto y Coimbra.

## Reunión del Comité Rector del centro de visitantes del Roque de los Muchachos



**Momentos de la reunión de los miembros del Comité Rector del centro de visitantes. Crédito: Iván Jiménez (IAC)**

Representantes del Cabildo de La Palma, el Instituto de Astrofísica de Canarias y el Ayuntamiento de Garafía se reunieron en el Roque de los Muchachos para seguir trabajando en la puesta en marcha de esta importante infraestructura turística y de divulgación científica. Previamente, visitaron el inmueble para comprobar la evolución de los trabajos de tematización que se están realizando.

El punto más alto de la isla de La Palma acogió ayer la celebración del Comité Rector del centro de visitantes del Roque de los Muchachos. Esta comisión está encargada de realizar el seguimiento de la ejecución del proyecto y está compuesta por tres miembros de cada uno de los organismos promotores: el presidente del Cabildo de La Palma, Mariano Zapata; la subdirectora del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Casiana Muñoz-Tuñón; y el alcalde del Ayuntamiento de la Villa de Garafía, Yeray Rodríguez. También participaron en la reunión: el vicepresidente insular, José Adrián Hernández; el consejero de Turismo del Cabildo de La Palma, Raúl Camacho; el administrador del Observatorio del Roque de los Muchachos, Juan

Carlos Pérez Arencibia; y el concejal de Obras e Infraestructuras Públicas del Ayuntamiento de Garafía, José Ángel Sánchez Rodríguez.

Tras visitar las instalaciones, el presidente del Cabildo de La Palma, Mariano Zapata, y el alcalde de Garafía, valoraron **positivamente** el estado en el que se encuentra el proyecto.

## La vicepresidenta Calviño anuncia su apoyo al proyecto de refuerzo de la conectividad por fibra óptica de la isla de La Palma

La vicepresidenta primera y ministra de Asuntos Económicos y Transformación Digital, Nadia Calviño, anunció en La Palma su apoyo al proyecto de refuerzo de la conectividad por fibra óptica de la Isla, en el que se prevé una inversión aproximada de 40 millones de euros provenientes de los fondos europeos del Plan de Recuperación.



**Rafael Rebolo, director del IAC, y Nadia Calviño, vicepresidenta primera y ministra de Asuntos Económicos y Transformación Digital, reunidos en La Palma. Crédito: Gobierno de España**

La vicepresidenta del Gobierno destacó que *“estamos trabajando para reforzar la conectividad por fibra óptica de La Palma justamente invirtiendo una parte de estos fondos europeos. Se trata de reforzar el papel de Canarias como uno de los hubs de conectividad en el ámbito intercontinental y nuestro objetivo es poder empezar ya en 2021 a desplegar estas inversiones”*.

El proyecto de mejoras de la conectividad digital de La Palma, en cuyo diseño trabajan desde hace meses el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales (SETELECO) del Ministerio que dirige la vicepresidenta, implicará el desarrollo de una nueva conectividad troncal de respaldo, ofreciendo redundancia tanto en tramos terres-



tres como del cable submarino que llega a la isla palmera.

El proyecto, que ejecutaría el IAC en colaboración con el Cabildo de La Palma, supondrá una gran mejora en las prestaciones que el IAC ofrece a la comunidad científica, lo que reforzará la posición de Canarias para atraer la instalación de nuevas infraestructuras científicas en las islas.



(De izquierda a derecha) Elena Máñez, consejera canaria de Economía, Conocimiento y Empleo; Rafael Rebolo; Nadia Calviño, y Juan Carlos Pérez Arencibia, administrador del Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM). Crédito: Gobierno de España

Hace más de 14 años, el IAC fue un claro impulsor de la conectividad digital de la isla palmera con el mundo exterior, constituyendo en su propia sede del Centro de Astrofísica en La Palma (CALP) el nodo de fibra óptica que vincula actualmente La Palma con Tenerife y con Europa continental a través de RedIRIS.

## La ministra de Ciencia e Innovación Diana Morant visita el Centro de Astrofísica en La Palma



(De izquierda a derecha) Raquel Yotti, Secretaria General de Investigación; Diana Morant, ministra de Ciencia e Innovación; Romano Corradi, director del Grantecan; y Rafael Rebolo, director del IAC. Crédito: Aarón García (IAC)

La ministra de Ciencia e Innovación, Diana Morant, visitó las instalaciones del Centro de

Astrofísica en La Palma (CALP) con el objetivo de conocer cuál ha sido el impacto de la erupción volcánica en el personal y en la operación de las instalaciones presentes en el Observatorio del Roque de los Muchachos (Garafía, La Palma).

En su visita mantuvo una reunión con el director del IAC, Rafael Rebolo, a la que también asistieron el director del Gran Telescopio Canarias (GTC), Romano Corradi, y el administrador del ORM, Juan Carlos Pérez Arencibia. Acompañaron a la ministra, la Secretaria General de Investigación, Raquel Yotti, el Delegado de Gobierno en Canarias, Anselmo Pestana, y el director de la ACIISI, Carlos Navarro.



Visita a las instalaciones del Centro de Astrofísica de La Palma (CALP). Crédito: Aarón García (IAC)

Por último, la ministra Morant quiso mandar un mensaje de apoyo y tranquilidad a las instituciones internacionales que se han visto afectadas por la actual crisis volcánica y aseguró que el Ministerio de Ciencia e Innovación seguirá apoyando el Observatorio y la instalación de las nuevas infraestructuras científicas que el IAC está impulsando en La Palma.

## Inauguración del Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos y el Festival Starmus: dos puertas al Universo y a la recuperación de La Palma

El Cabildo de La Palma, el Ayuntamiento de Garafía y el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) inauguraron el Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos. El acto contó con la presencia de la ministra de Turismo, Reyes Maroto, y del presidente de Canarias, Ángel Víctor Torres, entre otras personalidades. Durante los primeros meses de prueba esta infraestructura podrá ser visitada por la población de la Isla y por turistas de forma gratuita con el objetivo de que puedan disfrutar y conocer más acerca del funcionamiento de este espacio especiali-



**Izquierda: Representantes del Gobierno de España y Canarias, Cabildo de La Palma, Ayuntamiento de Garafía y del IAC en la inauguración del Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos. Derecha: Momento de la visita inaugural. Crédito: Cabildo de La Palma**



zado en la divulgación científica del Observatorio del Roque de Los Muchachos. El centro será, además, una pieza clave turística para la recuperación de La Palma tras la erupción del volcán.

En el marco de esta inauguración se anunció la celebración en la isla de una edición especial del **Festival Starmus** en 2022.

En el acto de puesta en marcha estuvieron presentes: la ministra de Turismo, Reyes Maroto; el presidente de Canarias, Ángel Víctor Torres; el presidente del Cabildo Insular de La Palma, Mariano Zapata; el consejero insular de Turismo, Raúl Camacho; delegado del Gobierno en Canarias, Anselmo Pestana; la consejera de Turismo, Yaiza Castilla; la consejera de Agricultura del Gobierno de Canarias, Alicia Vanoostende; la teniente de alcalde de Garafía, Glemis Rodríguez; el director del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Rafael Rebolo; la consejera de Cultura del Cabildo, Jovita Monterrey; el consejero de Innovación y Nuevas Tecnologías, Gonzalo Pascual; el responsable insular de Agricultura, Ganadería y Pesca, Manuel González; el administrador del Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM), Juan Carlos Pérez Arencibia; y el director del Gran Telescopio de Canarias, Romano Corradi.

La ministra de Turismo, aseguró que la apertura del Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos *“es una excelente manera de ayuda a revitalizar la isla”*.

El presidente de Canarias, señaló que *“el de hoy es un acto que inspira ilusión y confianza en la recuperación y en el relanzamiento económico de la isla”* y añadió: *“la Palma resurgirá y experimentará un crecimiento económico importante que debe repercutir en más y mejor empleo, así como en un impulso real para la isla y las personas afectadas por la erupción del volcán”*.

El presidente del Cabildo de La Palma, destacó el trabajo realizado por el Cabildo, el Ayuntamiento de Garafía y el IAC durante estos cinco años, una labor que por fin ha dado su fruto, permitiéndonos abrir las puertas de esta infraestructura turística, y añadió *“estamos seguros que su puesta en marcha servirá de apoyo, y nos ayudará a seguir promocionando y posicionando La Palma como destino especializado en el Astroturismo, en el que se combina la ciencia y su divulgación”*.

También, la teniente de alcalde de Garafía, apuntó que es *“un día grande para el municipio, la isla y Canarias”* y subrayó: *“Ojalá todas las personas que pasen por aquí sean capaces de valorar el esfuerzo que ha supuesto la apertura del centro de visitantes. Necesitábamos una infraestructura así en el punto más visitado de La Palma; una infraestructura que además de turismo, genera trabajo y actividad económica”*.

Por su parte, el director del IAC, expresó: *“queremos convertir este centro de visitantes del Roque de los Muchachos en una puerta a las estrellas, al Universo y a la ciencia para los ciudadanos de La Palma y para todos los que visiten la isla”*, señaló que *“un centro como éste ofrece a los que lo visitan una nueva perspectiva sobre lo que nos rodea y descubrir nuevos horizontes”*.

Asimismo, la subdirectora del IAC, agradeció a las autoridades el gran esfuerzo para poner en marcha el Centro y aseguró que *“el IAC pondrá de su parte todo lo que este en sus manos para favorecer la recuperación de la isla”*. Destacó que *“desde el IAC y en colaboración con las instituciones que tienen instalaciones científicas en el Roque se trabajará para mantener actualizados los contenidos del centro; los renovaremos para que siempre el centro sea atractivo y que así se convierta, no sólo en un espacio de ocio científico, sino también en una herramienta para la educación”*.





# PUBLICACIONES CIENTÍFICAS



## ARTÍCULOS EN REVISTAS INTERNACIONALES CON ÁRBITRO

### Archaeoastronomy/Cultural Astronomy

Belmonte, J. A.  
10.1093/acrefore/9780190647926.013.215

### Magnetic imaging of the outer solar atmosphere (MImOSA) Unlocking the driver of the dynamics in the upper solar atmosphere

H. Peter, et al. (incluye a E. Alsina Ballester; J. Trujillo Bueno)  
10.1007/s10686-021-09774-0

### A titanic interstellar medium ejection from a massive starburst galaxy at redshift 1.4

Puglisi, Annagrazia et al. (incluye a Jin, Shuowen)  
2021NatAs...5..319P

### Anisotropic satellite galaxy quenching modulated by black hole activity

Martín-Navarro, Ignacio; Pillepich, Annalisa; Nelson, Dylan; Rodriguez-Gomez, Vicente; Donnari, Martina; Hernquist, Lars; Springel, Volker  
2021Natur.594..187M

### Collisional history of Ryugu's parent body from bright surface boulders

Tatsumi, E. et al. (incluye a Popescu, M.; de León, J.; Iijima, Y.)  
2021NatAs...5...39T

### Exogenic basalt on asteroid (101955) Bennu

DellaGiustina, D. N. et al. (incluye a Popescu, M.; Garcia, J. L. Rizos; Tatsumi, E.; de Leon, J.; Licandro, J.)  
2021NatAs...5...31D

### Exploring nine simultaneously occurring transients on April 12th 1950

Villarroel, Beatriz; Marcy, Geoffrey W.; Geier, Stefan; Streblyanska, Alina; Solano, Enrique; Andruk, Vitaly N.; Shultz, Matthew E.; Gupta, Alok C.; Mattsson, Lars  
2021NatSR..1112794V

### Signatures of sunspot oscillations and the case for chromospheric resonances

Felipe, Tobías  
2021NatAs...5....2F

### The GTC gains high spectral resolution

Allende Prieto, Carlos  
2021NatAs...5..105A

### Thermally altered subsurface material of asteroid (162173) Ryugu

Kitazato, K. et al. (incluye a Tatsumi, E.)  
2021NatAs...5..246K

### ¿Atrapando el solsticio? Un análisis crítico de la orientación de los templos de Deir el Bahari

Belmonte, J. A.; Fekri, M.; Serra, M.  
10.25145/j.TdE.2019.10.01

### 2D kinematics of massive stars near the Galactic Centre

Libralato, Mattia et al. (incluye a Lennon, Daniel J.)  
2021MNRAS.500.3213L

### A planetary system with two transiting mini-Neptunes near the radius valley transition around the bright M dwarf TOI-776

Luque, R. et al. (incluye a Pallé, E.; Nowak, G.; Deeg, H. J.; Narita, N.)  
2021A&A...645A..41L

### A prediction about the age of thick discs as a function of the stellar mass of the host galaxy

Comerón, S.  
2021A&A...645L..13C

### An enhanced slope in the transmission spectrum of the hot Jupiter WASP-104b

Chen, G. et al. (incluye a Pallé, E.; Parviainen, H.; Murgas, F.; Béjar, V. J. S.; Casasayas-Barris, N.; Fukui, A.; Luque, R.; Madrigal-Aguado, A.; Narita, N.; Oshagh, M.; Sánchez-Benavente, M.)  
2021MNRAS.500.5420C

### Asteroseismology of the heartbeat star KIC 5006817

Merc, J.; Kalup, Cs.; Rathour, R. S.; Sánchez Arias, J. P.; Beck, P. G.  
2021CoSka..51...45M

**Atmospheric Rossiter-McLaughlin effect and transmission spectroscopy of WASP-121b with ESPRESSO**

Borsa, F. et al. (incluye a Casasayas-Barris, N.; Rebolo, R.; Pallé, E.; Oshagh, M.; Allende Prieto, C.; Amate, M.; Genova Santos, R.; González Hernández, J. I.; Suárez Mascareño, A.)  
2021A&A...645A..24B

**Atomic data for the Gaia-ESO Survey**

Heiter, U. et al. (incluye a Masseron, T.)  
2021A&A...645A.106H

**BIRTH of the COSMOS field: primordial and evolved density reconstructions during cosmic high noon**

Ata, Metin; Kitaura, Francisco-Shu; Lee, Khee-Gan; Lemaux, Brian C.; Kashino, Daichi; Cucciati, Olga; Hernández-Sánchez, Mónica; Le Fèvre, Oliver  
2021MNRAS.500.3194A

**Constraining primordial non-Gaussianity with postreconstructed galaxy bispectrum in redshift space**

Shirasaki, Masato; Sugiyama, Naonori S.; Takahashi, Ryuichi; Kitaura, Francisco-Shu  
2021PhRvD.103b3506S

**Coronal-line forest active galactic nuclei - I. Physical properties of the emission-line regions**

Cerqueira-Campos, F. C.; Rodríguez-Ardila, A.; Riffel, R.; Marinello, M.; Prieto, A.; Dahmer-Hahn, L. G.  
2021MNRAS.500.2666C

**Cosmology and the massive photon frequency shift in the Standard-Model Extension**

Spallicci, Alessandro D. A. M.; Helayël-Neto, José A.; López-Corredoira, Martín; Capozziello, Salvatore  
2021EPJC...81...4S

**Crater depth-to-diameter ratios on asteroid 162173 Ryugu d/D of craters on Ryugu**

Noguchi, Rina et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021Icar..35414016N

**Dark Energy Survey Year 1 results: the lensing imprint of cosmic voids on the cosmic microwave background**

Vielzeuf, P. et al. (incluye a Kovács, A.)  
2021MNRAS.500..464V

**DES Y1 results: Splitting growth and geometry to test? CDM**

Muir, J. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.; DES Collaboration)  
2021PhRvD.103b3528M

**Detection of the hydrogen Balmer lines in the ultra-hot Jupiter WASP-33b**

Yan, F. et al. (incluye a Casasayas-Barris, N.; Pallé, E.; Oshagh, M.; Stangret, M.)  
2021A&A...645A..22Y

**Downflowing umbral flashes as evidence of standing waves in sunspot umbrae**

Felipe, T.; Henriques, V. M. J.; de la Cruz Rodríguez, J.; Socas-Navarro, H.  
2021A&A...645L..12F

**El espacio ordenado. Paisaje, orientaciones y astronomía en los albores de la época ibérica en Mazaleón (Teruel).**

Esteban, C.; Fatás Fernández, L.; Romeo Marugán, F.; Chavarría Forés, F.  
10.5209/cmpl.76450

**ESPRESSO at VLT. On-sky performance and first results**

Pepe, F. et al. (incluye a Rebolo, R.; Amate, M.; Allende Prieto, C.; Fragoso, A.; Génova Santos, R.; González Hernández, J. I.; Oshagh, M.; Pallé, E.; Rasilla, J. L.; Santana Tschudi, S.; Suárez Mascareño, A.; Tenegi, F.)  
2021A&A...645A..96P

**Evidence from APOGEE for the presence of a major building block of the halo buried in the inner Galaxy**

Horta, Danny et al. (incluye a Allende Prieto, Carlos)  
2021MNRAS.500.1385H

**Improved near optimal angular quadratures for polarised radiative transfer in 3D MHD models**

Jaume Bestard, Jaume; ?t?pán, Ji?í; Trujillo Bueno, Javier  
2021A&A...645A.101J

**Improving light curve parameters of exoplanets based on TESS data**

Gajdo?, P.; Maliuk, A.; Vítková, M.; Parviainen, H.  
2021CoSka..51...68G

**Individual dynamical masses of DENIS J063001.4-184014AB reveal a likely young brown dwarf triple**

Sahlmann, J.; Dupuy, T. J.; Burgasser, A. J.; Filippazzo, J. C.; Martín, E. L.; Bardalez Gagliuffi, D. C.; Hsu, C.; Lazorenko, P. F.; Liu, Michael C.  
2021MNRAS.500.5453S

**Joint gas and stellar dynamical models of WLM: an isolated dwarf galaxy within a cored, prolate DM halo**

Leung, Gigi Y. C.; Leaman, Ryan; Battaglia, Giuseppina; van de Ven, Glenn; Brooks, Alyson M.; Peñarrubia, Jorge; Venn, Kim A.  
2021MNRAS.500..410L

**LeMMINGs - II. The e-MERLIN legacy survey of nearby galaxies. The deepest radio view of the Palomar sample on parsec scale**

Baldi, R. D. et al. (incluye a Knapen, J. H.)  
2021MNRAS.500.4749B

**Low-mass low-metallicity AGB stars as an efficient i-process site explaining CEMP-rs stars**

Karinkuzhi, D.; Van Eck, S.; Goriely, S.; Siess, L.; Jorissen, A.; Merle, T.; Escorza, A.; Masseron, T.  
2021A&A...645A..61K

**Machine Learning for Searching the Dark Energy Survey for Trans-Neptunian Objects**

Henghes, B. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021PASP..133a4501H

**Measuring and characterizing the line profile of HARPS with a laser frequency comb**

Zhao, F. et al. (incluye a González Hernández, J. I.; Rebolo, R.; Suárez Mascareño, A.; Esposito, M.)  
2021A&A...645A..23Z

**Multiphase feedback processes in the Sy2 galaxy NGC 5643**

García-Bernete, I. et al. (incluye a García-Lorenzo, B.; Ramos Almeida, C.)  
2021A&A...645A..21G

**Near-infrared spectroscopy of the Chaldaea asteroid family: Possible link to the Klio family**

Arredondo, Anicia; Campins, Humberto; Pinilla-Alonso, Noemi; de León, Julia; Lorenzi, Vania; Morate, David  
2021Icar..35414028A

**New Observations with Gemini and GTC of the VHE Blazar KUV 00311-1938: About Its Redshift and Environment**

Pichel, A. et al. (incluye a Becerra González, J.; Mendez-Abreu, J.)  
2021PASP..133a4102P

**Optimising and comparing source-extraction tools using objective segmentation quality criteria**

Haigh, Caroline; Chamba, Nushkia; Venhola, Aku; Peletier, Reynier; Doorenbos, Lars; Watkins, Matthew; Wilkinson, Michael H. F.  
2021A&A...645A.107H

**Processing GOTO data with the Rubin Observatory LSST Science Pipelines I: Production of coadded frames**

Mullaney, J. R. et al. (incluye a Pallé, E.)  
2021PASA...38....4M

**Properties of Iron Primary Cosmic Rays: Results from the Alpha Magnetic Spectrometer**

Aguilar, M. et al. (incluye a García-López, R. J.; Conde, A. Reina; Vázquez Acosta, M.; AMS Collaboration)  
2021PhRvL.126d1104A

**Properties of the Hyades, the eclipsing binary HD 27130, and the oscillating red giant ? Tauri**

Brogaard, K. et al. (incluye a Pallé, P. L.)  
2021A&A...645A..25B

**Self-interacting dark matter and the delay of supermassive black hole growth**

Cruz, A.; Pontzen, A.; Volonteri, M.; Quinn, T. R.; Tremmel, M.; Brooks, A. M.; Sanchez, N. N.; Munshi, F.; Di Cintio, A.  
2021MNRAS.500.2177C

**Sensitivity of the Cherenkov Telescope Array to a dark matter signal from the Galactic centre**

Acharyya, A. et al. (incluye a Becerra, J.; Lopez, A.; Vázquez Acosta, M.)  
2021JCAP...01..057A

**Stability Analysis for an Interface with a Continuous Internal Structure**

Modestov, Mikhail  
10.3390/fluids6010018

**Stellar splashback: the edge of the intracluster light**

Deason, Alis J. et al. (incluye a Dalla Vecchia, Claudio)  
2021MNRAS.500.4181D

**Strong H $\gamma$  emission in the young planetary mass companion 2MASS J0249-0557 c**

Chinchilla, P.; Béjar, V. J. S.; Lodieu, N.; Zapatero Osorio, M. R.; Gauza, B.  
2021A&A...645A..17C

**The age of the carina young association and potential membership of HD 95086**

Booth, Mark; del Burgo, Carlos; Hambaryan, Valeri V.  
2021MNRAS.500.5552B

**The complex multi-component outflow of the Seyfert galaxy NGC 7130**

Comerón, S.; Knapen, J. H.; Ramos Almeida, C.; Watkins, A. E.  
2021A&A...645A.130C

**The contribution of N-rich stars to the Galactic stellar halo using APOGEE red giants**

Horta, Danny et al. (incluye a Allende Prieto, Carlos; García-Hernández, D. A.)  
2021MNRAS.500.5462H

**The Herschel SPIRE Fourier Transform Spectrometer Spectral Feature Finder - V. Rotational measurements of NGC 891**

Benson, Chris S.; Spencer, L. D.; Valtchanov, I.; Scott, J.; Hadczuk, N.  
2021MNRAS.500.3711B

**The miniJPAS survey: star-galaxy classification using machine learning**

Baqui, P. O. et al. (incluye a Hernández-Monteagudo, C.)  
2021A&A...645A..87B

**The Occurrence of Rocky Habitable-zone Planets around Solar-like Stars from Kepler Data**

Bryson, Steve et al. (incluye a Mathur, Savita)  
2021AJ....161...36B

**The S2 stream: the shreds of a primitive dwarf galaxy**

Aguado, David S. et al. (incluye a Allende Prieto, Carlos; González Hernández, Jonay I.)  
2021MNRAS.500..889A

**TOI-519 b: A short-period substellar object around an M dwarf validated using multicolour photometry and phase curve analysis**

Parviainen, H. et al. (incluye a Palle, E.; Nowak, G.; Murgas, F.; Narita, N.; Hidalgo Soto, D.; Béjar, V. J. S.; Monelli, M.; Montañes Rodriguez, P.; Casasayas-Barris, N.; Hernandez, A.; Luque, R.; Prieto-Arranz, J.)  
2021A&A...645A..16P

**Tracing the evolution of dust-obscured activity using sub-millimetre galaxy populations from STUDIES and AS2UDS**

Dudzevit, U. et al. (incluye a Dannerbauer, H.; Shirley, R.)  
2021MNRAS.500..942D

**Ultracool dwarfs in deep extragalactic surveys using the virtual observatory: ALHAMBRA and COSMOS**

Solano, E. et al. (incluye a Martín, E. L.; Lodieu, N.; Béjar, V. J. S.)  
2021MNRAS.501..281S

**Using radial velocities to reveal black holes in binaries: A test case**

Clavel, M.; Dubus, G.; Casares, J.; Babusiaux, C.  
2021A&A...645A..72C

**Vetting of 384 TESS Objects of Interest with TRICERATOPS and Statistical Validation of 12 Planet Candidates**

Giacalone, Steven et al. (incluye a Murgas, Felipe; Palle, Enric; Parviainen, Hannu)  
2021AJ....161...24G

**Young stellar population gradients in central cluster galaxies from NUV and optical spectroscopy**

Salvador-Rusiñol, N.; Beasley, M. A.; Vazdekis, A.; Barbera, F. La  
2021MNRAS.500.3368S

**A dearth of young and bright massive stars in the Small Magellanic Cloud**

Schootemeijer, A.; Langer, N.; Lennon, D.; Evans, C. J.; Crowther, P. A.; Geen, S.; Howarth, I.; de Koter, A.; Menten, K. M.; Vink, J. S.  
2021A&A...646A.106S

**A Spitzer survey of Deep Drilling Fields to be targeted by the Vera C. Rubin Observatory Legacy Survey of Space and Time**

Lacy, M. et al. (incluye a Perez-Fournon, I.)  
2021MNRAS.501..892L

**Accurately constraining velocity information from spectral imaging observations using machine learning techniques**

MacBride, Conor D.; Jess, David B.; Grant, Samuel D. T.; Khomenko, Elena; Keys, Peter H.; Stangalini, Marco  
2021RSPTA.37900171M



**Acoustic-gravity wave propagation characteristics in three-dimensional radiation hydrodynamic simulations of the solar atmosphere**

Fleck, B.; Carlsson, M.; Khomenko, E.; Rempel, M.; Steiner, O.; Vigeesh, G.  
2021RSPTA.37900170F

**Are extreme asymptotic giant branch stars post-common envelope binaries?**

Dell'Agli, F.; Marini, E.; D'Antona, F.; Ventura, P.; Groenewegen, M. A. T.; Mattsson, L.; Kamath, D.; García-Hernández, D. A.; Tailo, M.  
2021MNRAS.502L..35D

**Automated Detection of Accelerating Solar Eruptions Using Parabolic Hough Transform**

Patel, Ritesh; Pant, Vaibhav; Iyer, Priyanka; Banerjee, Dipankar; Mierla, Marilena; West, Matthew J.  
2021SoPh..296...31P

**BAYES-LOSVD: A Bayesian framework for non-parametric extraction of the line-of-sight velocity distribution of galaxies**

Falcón-Barroso, J.; Martig, M.  
2021A&A...646A..31F

**Bow shocks, nova shells, disc winds and tilted discs: the nova-like V341 Ara has it all**

Castro Segura, N. et al. (incluye a Acosta-Pulido, J. A.; Rodríguez-Gil, P.)  
2021MNRAS.501.1951C

**CHEOPS observations of the HD 108236 planetary system: a fifth planet, improved ephemerides, and planetary radii**

Bonfanti, A. et al. (incluye a Alonso, R.; Pallé, E.)  
2021A&A...646A.157B

**Close-up view of a luminous star-forming galaxy at  $z = 2.95$**

Berta, S. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.; Dannerbauer, H.; Perez-Fournon, I.; Jin, S.)  
2021A&A...646A.122B

**Compact, bulge-dominated structures of spectroscopically confirmed quiescent galaxies at  $z? 3$**

Lustig, Peter et al. (incluye a Jin, Shuowen)  
2021MNRAS.501.2659L

**Cosmological constraints from DES Y1 cluster abundances and SPT multiwavelength data**

Costanzi, M. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.; DES)  
2021PhRvD.103d3522C

**Dark Energy Survey Year 3 results: Optimizing the lens sample in a combined galaxy clustering and galaxy-galaxy lensing analysis**

Porredon, A. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.; DES Collaboration)  
2021PhRvD.103d3503P

**Dark Energy Survey year 3 results: point spread function modelling**

Jarvis, M. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.501.1282J

**Delimiting the black hole mass in the X-ray transient MAXI J1659-152 with H $\alpha$  spectroscopy**

Torres, M. A. P.; Jonker, P. G.; Casares, J.; Miller-Jones, J. C. A.; Steeghs, D.  
2021MNRAS.501.2174T

**Detailed chemical evolution models of the Tucana dSph galaxy**

Avila-Vergara, N.; Carigi, L.; Hidalgo, S. L.; Arrieta, A.  
2021MNRAS.501.2562A

**Electron-beam interaction with emission-line clouds in blazars**

Wendel, Christoph; Becerra González, Josefa; Paneque, David; Mannheim, Karl  
2021A&A...646A.115W

**ESPRESSO high-resolution transmission spectroscopy of WASP-76 b**

Tabernero, H. M. et al. (incluye a Casasayas-Barris, N.; Pallé, E.; Rebolo, R.; Allende Prieto, C.; Génova Santos, R.; González Hernández, J. I.; Suárez Mascareño, A.; Amate, M.; Fragoso, A.; Rasilla, J. L.; Santana-Tschudi, S.; Tenegi, F.)  
2021A&A...646A.158T

**Evidence for the Accretion of Gas in Star-forming Galaxies: High N/O Abundances in Regions of Anomalously Low Metallicity**

Luo, Yuanze et al. (incluye a Sánchez-Menguiano, Laura; Sánchez Almeida, Jorge)  
2021ApJ...908..183L

**Evolution of galaxy scaling relations in clusters at  $0.5 < z < 1.5$**

Pérez-Martínez, J. M.; Ziegler, B.; Dannerbauer, H.; Böhm, A.; Verdugo, M.; Díaz, A. I.; Hoyos, C.  
2021A&A...646A..53P

**Extended X-Ray Emission around FR II Radio Galaxies: Hot Spots, Lobes, and Galaxy Clusters**

Jimenez-Gallardo, A. et al. (incluye a Prieto, M. A.)  
2021ApJS..252...31J

**Forbidden hugs in pandemic times. I. Luminous red nova AT 2019zhd, a new merger in M 31**

Pastorello, A. et al. (incluye a Jones, D.; Munday, J.)  
2021A&A...646A.119P

**Fundamental physics with ESPRESSO: Towards an accurate wavelength calibration for a precision test of the fine-structure constant**

Schmidt, Tobias M. et al. (incluye a Rebolo, Rafael; Allende Prieto, Carlos; Génova Santos, Ricardo; González Hernández, Jonay I.; Suárez Mascareño, Alejandro)  
2021A&A...646A.144S

**Galactic extinction laws - II. Hidden in plain sight, a new interstellar absorption band at 7700 Å broader than any known DIB**

Maíz Apellániz, J.; Barbá, R. H.; Caballero, J. A.; Bohlin, R. C.; Fariña, C.  
2021MNRAS.501.2487M

**Galaxies within galaxies in the TIMER survey: stellar populations of inner bars are scaled replicas of main bars**

Bittner, Adrian et al. (incluye a de Lorenzo-Cáceres, Adriana; Falcón-Barroso, Jesús; Martín-Navarro, Ignacio; Méndez-Abreu, Jairo)  
2021A&A...646A..42B

**GLACE survey: Galaxy activity in ZwCl0024+1652 cluster from strong optical emission lines**

Beyoro-Amado, Zeleke et al. (incluye a Nadolny, Jakub; Cepa, Jordi)  
2021MNRAS.501.2430B

**Identification and Mitigation of a Vibrational Telescope Systematic with Application to Spitzer**

Challener, Ryan C. et al. (incluye a Palle, Enric; Murgas, Felipe)  
2021PSJ.....2....9C

**Influence of ambipolar and Hall effects on vorticity in three-dimensional simulations of magneto-convection**

Khomenko, E.; Collados, M.; Vitas, N.; González-Morales, P. A.  
2021RSPTA.37900176K

**Learning to do multiframe wavefront sensing unsupervised: Applications to blind deconvolution**

Asensio Ramos, A.; Olsper, N.  
2021A&A...646A.100A

**Low-redshift quasars in the SDSS Stripe 82 - II. Associated companion galaxies and signature of star formation**

Stone, M. B.; Bettoni, D.; Falomo, R.; Kotilainen, J. K.; Karhunen, K.; Paiano, S.; Scarpa, R.  
2021MNRAS.501..419S

**Lucky spectroscopy, an equivalent technique to lucky imaging. II. Spatially resolved intermediate-resolution blue-violet spectroscopy of 19 close massive binaries using the William Herschel Telescope**

Maíz Apellániz, J.; Barbá, R. H.; Fariña, C.; Sota, A.; Pantaleoni González, M.; Holgado, G.; Negueruela, I.; Simón-Díaz, S.  
2021A&A...646A..11M

**MAGIC Observations of the Nearby Short Gamma-Ray Burst GRB 160821B**

Acciari, V. A. et al. (incluye a Becerra González, J.; Colombo, E.; García López, R. J.; Herrera, J.; Karjalainen, M.; López-Oramas, A.; Otero-Santos, J.; Vanzo, G.; Vazquez Acosta, M.)  
2021ApJ...908...90A

**Magnetoacoustic wave energy dissipation in the atmosphere of solar pores**

Gilchrist-Millar, Caitlin A.; Jess, David B.; Grant, Samuel D. T.; Keys, Peter H.; Beck, Christian; Jafarzadeh, Shahin; Riedl, Julia M.; Van Doorselaere, Tom; Ruiz Cobo, Basilio  
2021RSPTA.37900172G

**Mapping solar magnetic fields from the photosphere to the base of the corona**

Ishikawa, Ryohko et al. (incluye a Trujillo Bueno, Javier; del Pino Alemán, Tanausú; Ramos, Andrés Asensio)  
2021SciA....7.8406I

**Multiple Populations in Low-mass Globular Clusters: Palomar 13**

Tang, Baitian; Wang, Yue; Huang, Ruoyun; Li, Chengyuan; Yu, Jincheng; Geisler, Doug; Dias, Bruno; Fernández-Trincado, José G.; Carballo-Bello, Julio A.; Cabrera-Lavers, Antonio  
2021ApJ...908..220T

**Observing the changing surface structures of the active K giant ? Geminorum with SONG**

Korhonen, H.; Roettenbacher, R. M.; Gu, S.; Grundahl, F.; Andersen, M. F.; Henry, G. W.; Jessen-Hansen, J.; Antoci, V.; Pallé, P. L.  
2021A&A...646A...6K

**On the Collisional Disalignment of Dust Grains in Illuminated and Shaded Regions of IC 63**

Soam, Archana; Andersson, B. -G.; Acosta-Pulido, Jose; López, Manuel Fernández; Vaillancourt, John E.; Widicus Weaver, Susanna L.; Piirola, Vilppu; Gordon, Michael S.  
2021ApJ...907...93S

**On the Use of Field RR Lyrae as Galactic Probes. II. A New S Calibration to Estimate Their Metallicity**

Crestani, J. et al. (incluye a Monelli, M.)  
2021ApJ...908...20C

**Planet cartography with neural learned regularization**

Asensio Ramos, A.; Pallé, E.  
2021A&A...646A...4A

**Properties of Heavy Secondary Fluorine Cosmic Rays: Results from the Alpha Magnetic Spectrometer**

Aguilar, M. et al. (incluye a García-López, R. J.; Reina Conde, A.; Vázquez Acosta, M.; AMS Collaboration)  
2021PhRvL.126h1102A

**Rise of the Titans: Gas Excitation and Feedback in a Binary Hyperluminous Dusty Starburst Galaxy at  $z \approx 6$**

Riechers, Dominik A. et al. (incluye a Pérez-Fournon, Ismael)  
2021ApJ...907...62R

**Search for flares and associated CMEs on late-type main-sequence stars in optical SDSS spectra**

Koller, Florian; Leitzinger, Martin; Temmer, Manuela; Odert, Petra; Beck, Paul G.; Veronig, Astrid  
2021A&A...646A...34K

**Semi-empirical Models of Spicule from Inversion of Ca II 8542 Å Line**

Kuridze, David; Socas-Navarro, Hector; Koza, Július; Oliver, Ramon  
2021ApJ...908..168K

**Sensitivity of the Cherenkov Telescope Array for probing cosmology and fundamental physics with gamma-ray propagation**

Abdalla, H. et al. (incluye a Becerra González, J.; Lopez Oramas, A.; Nievas, M.; Vázquez Acosta, M.)  
2021JCAP...02..048A

**Shadows in the Dark: Low-surface-brightness Galaxies Discovered in the Dark Energy Survey**

Tanoglidis, D. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021ApJS...252...18T

**Solo dwarfs - III. Exploring the orbital origins of isolated Local Group galaxies with Gaia Data Release 2**

McConnachie, Alan W.; Higgs, Clare R.; Thomas, Guillaume F.; Venn, Kim A.; Côté, Patrick; Battaglia, Giuseppina; Lewis, Geraint F.  
2021MNRAS.501.2363M

**Space Telescope and Optical Reverberation Mapping Project. IX. Velocity-Delay Maps for Broad Emission Lines in NGC 5548**

Horne, Keith et al. (incluye a De Lorenzo-Cáceres, A.; Geier, S.)  
2021ApJ...907...76H

**The 60 pc Environment of FRB 20180916B**

Tendulkar, Shriharsh P. et al. (incluye a Reverte Payá, Daniel)  
2021ApJ...908L..12T

**The Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) on the international space station: Part II - Results from the first seven years**

Aguilar, M. et al. (incluye a García-López, R. J.; Reina Conde, A.; Vázquez Acosta, M.)  
2021PhR...894....1A

**The CHEOPS mission**

Benz, W. et al. (incluye a Alonso, R.; Pallé, E.)  
2021ExA....51..109B

**The chromospheric component of coronal bright points. Coronal and chromospheric responses to magnetic-flux emergence**

Madjarska, Maria S.; Chae, Jongchul; Moreno-Insertis, Fernando; Hou, Zhenyong; Nóbrega-Siverio, Daniel; Kwak, Hannah; Galsgaard, Klaus; Cho, Kyuhyoun  
2021A&A...646A.107M

**The dual nature of blazar fast variability: Space and ground observations of S5 0716+714**

Raiteri, C. M. et al. (incluye a Acosta-Pulido, J. A.; Otero-Santos, J.)  
2021MNRAS.501.1100R

**The nature of giant clumps in high-z discs: a deep-learning comparison of simulations and observations**

Ginzburg, Omri; Huertas-Company, Marc; Dekel, Avishai; Mandelker, Nir; Snyder, Gregory; Ceverino, Daniel; Primack, Joel  
2021MNRAS.501..730G

**The nature of VX Sagitarii. Is it a T?O, a RSG, or a high-mass AGB star?**

Tabernerero, H. M.; Dorda, R.; Negueruela, I.; Marfil, E.  
2021A&A...646A..98T

**The Second Data Release of the Survey of the Magellanic Stellar History (SMASH)**

Nidever, David L. et al. (incluye a Ruiz-Lara, Tomas; Gallart, Carme; Monelli, Matteo; Dorta, Antonio)  
2021AJ....161...74N

**The TESS-Keck Survey. II. An Ultra-short-period Rocky Planet and Its Siblings Transiting the Galactic Thick-disk Star TOI-561**

Weiss, Lauren M. et al. (incluye a Fukui, Akihiko; Murgas, Felipe; Narita, Norio; Palle, Enric; Parviainen, Hannu)  
2021AJ....161...56W

**TOI-954 b and K2-329 b: Short-period Saturn-mass Planets that Test whether Irradiation Leads to Inflation**

Sha, Lizhou et al. (incluye a Narita, Norio; Nespral, David)  
2021AJ....161...82S

**Turbulent Gas in Lensed Planck-selected Starbursts at  $z \approx 1-3.5$**

Harrington, Kevin C. et al. (incluye a Dannerbauer, H.)  
2021ApJ...908...95H

**Two-fluid simulations of Rayleigh-Taylor instability in a magnetized solar prominence thread. I. Effects of prominence magnetization and mass loading**

Popescu Braileanu, B.; Lukin, V. S.; Khomenko, E.; de Vicente, Á.  
2021A&A...646A..93P

**Ultramassive Black Holes in the Most Massive Galaxies: MBH-? versus MBH-Rb**

Dullo, Bililign T.; Gil de Paz, Armando; Knapen, Johan H.  
2021ApJ...908..134D

**Updated BaSTI Stellar Evolution Models and Isochrones. II.  $\alpha$ -enhanced Calculations**

Pietrinferni, Adriano; Hidalgo, Sebastian; Cassisi, Santi; Salaris, Maurizio; Savino, Alessandro; Mucciarelli, Alessio; Verma, Kuldeep; Silva Aguirre, Victor; Aparicio, Antonio; Ferguson, Jason W.  
2021ApJ...908..102P

**A deep learning approach to test the small-scale galaxy morphology and its relationship with star formation activity in hydrodynamical simulations**

Zanisi, Lorenzo et al. (incluye a Huertas-Company, Marc)  
2021MNRAS.501.4359Z

**A Multiwavelength Look at the GJ 9827 System: No Evidence of Extended Atmospheres in GJ 9827b and d from HST and CARMENES Data**

Carleo, Ilaria et al. (incluye a Casasayas Barris, Nuria; Palle, Enric; Narita, Norio; Nortmann, Lisa; Stangret, Monika)  
2021AJ....161..136C

**A nearby transiting rocky exoplanet that is suitable for atmospheric investigation**

Trifonov, T. et al. (incluye a Luque, R.; Parviainen, H.; Pallé, E.; Béjar, V. J. S.; Casasayas-Barris, N.; Esparza-Borges, E.; Fukui, A.; Murgas, F.; Narita, N.; Oshagh, M.; Stangret, M.)  
2021Sci...371.1038T

**A new distance to the Brick, the dense molecular cloud G0.253+0.016**

Zoccali, M.; Valenti, E.; Surot, F.; Gonzalez, O. A.; Renzini, A.; Valenzuela Navarro, A.  
2021MNRAS.502.1246Z

**A quantitative in-depth analysis of the prototype sdB+BD system SDSS J08205+0008 revisited in the Gaia era**

Schaffenroth, V. et al. (incluye a Dhillon, V. S.)  
2021MNRAS.501.3847S

**AGB Stars and Their Circumstellar Envelopes. I. the VULCAN Code**

Cristallo, Sergio; Piersanti, Luciano; Gobrecht, David; Crivellari, Lucio; Nanni, Ambra  
2021Univ....7...80C

**An ALMA/NOEMA survey of the molecular gas properties of high-redshift star-forming galaxies**

Birkin, Jack E. et al. (incluye a Dannerbauer, H.)  
2021MNRAS.501.3926B

**An Intermediate-age Alpha-rich Galactic Population in K2**

Warfield, Jack T. et al. (incluye a Mathur, Savita; García-Hernández, D. A.)  
2021AJ....161..100W

**Analysis of Previously Classified White Dwarf-Main-sequence Binaries Using Data from the APOGEE Survey**

Corcoran, Kyle A. et al. (incluye a Allende Prieto, Carlos)  
2021AJ....161..143C

**CO Excitation, Molecular Gas Density, and Interstellar Radiation Field in Local and High-redshift Galaxies**

Liu, Daizhong et al. (incluye a Jin, Shuowen)  
2021ApJ...909...56L

**Combining magneto-hydrostatic constraints with Stokes profiles inversions. II. Application to Hinode/SP observations**

Borrero, J. M.; Pastor Yabar, A.; Ruiz Cobo, B.  
2021A&A...647A.190B

**Constraining stellar population parameters from narrow band photometric surveys using convolutional neural networks**

Liew-Cain, Choong Ling; Kawata, Daisuke; Sánchez-Blázquez, Patricia; Ferreras, Ignacio; Symeonidis, Myrto  
2021MNRAS.502.1355L

**Detection of an ionized gas outflow in the extreme UV-luminous star-forming galaxy BOSS-EUVLG1 at  $z = 2.47$** 

Álvarez-Márquez, J.; Marques-Chaves, R.; Colina, L.; Pérez-Fournon, I.  
2021A&A...647A.133A

**Disk-resolved photometric modeling and properties of asteroid (101955) Bennu**

Golish, D. R. et al. (incluye a Rizos, J. L.)  
2021Icar..35713724G

**Dissecting the stellar content of Leo I: a dwarf irregular caught in transition**

Ruiz-Lara, T.; Gallart, C.; Monelli, M.; Fritz, T. K.; Battaglia, G.; Cassisi, S.; Aznar, M. Luis; Russo Cabrera, A. V.; Rodríguez-Martín, I.; Salazar-González, J. J.  
2021MNRAS.501.3962R

**Dynamical modelling of CXOGBS J175553.2-281633: a 10 h long orbital period cataclysmic variable**

Gomez, Sebastian et al. (incluye a Torres, Manuel A. P.)  
2021MNRAS.502...48G

**Einstein@Home discovery of the gamma-ray millisecond pulsar PSR J2039-5617 confirms its predicted redback nature**

Clark, C. J. et al. (incluye a Dhillon, V. S.)  
2021MNRAS.502..915C

**Euclid preparation. XI. Mean redshift determination from galaxy redshift probabilities for cosmic shear tomography**

Euclid Collaboration et al. (incluye a Balaguera-Antolínez, A.; Colodro-Conde, C.)  
2021A&A...647A.117E

**Exact Semianalytical Calculation of Rotation Curves with Bekenstein-Milgrom Nonrelativistic MOND**

López-Corredoira, M.; Betancort-Rijo, J. E.  
2021ApJ...909..137L

**First survey of phase curves of V-type asteroids**

Oszkiewicz, Dagmara et al. (incluye a Geier, Stefan)  
2021Icar..35714158O

**Forbidden hugs in pandemic times. II. The luminous red nova variety: AT 2020hat and AT 2020kog**

Pastorello, A. et al. (incluye a Jones, D.)  
2021A&A...647A..93P

**GD 424 - a helium-atmosphere white dwarf with a large amount of trace hydrogen in the process of digesting a rocky planetesimal**

Izquierdo, Paula; Toloza, Odette; Gänsicke, Boris T.; Rodríguez-Gil, Pablo; Farihi, Jay; Koester, Detlev; Guo, Jincheng; Redfield, Seth  
2021MNRAS.501.4276I

**H $\alpha$  fluxes and extinction distances for planetary nebulae in the IPHAS survey of the northern galactic plane**

Dharmawardena, Thavisha E.; Barlow, M. J.; Drew, J. E.; Seales, A.; Sale, S. E.; Jones, D.; Mampaso, A.; Parker, Q. A.; Sabin, L.; Wesson, R.  
2021MNRAS.501.6156D

**Interstellar Extinction, Polarization, and Grain Alignment in the Sh 2-185 (IC 59 and IC 63) Region**

Soam, Archana; Andersson, B. -G.; Straižys, V.; Caputo, Miranda; Kazlauskas, A.; Boyle, R. P.; Janusz, R.; Zdanavičius, J.; Acosta-Pulido, J. A.  
2021AJ....161..149S



**Long-term evolution of three light bridges developed on the same sunspot**

Griñón-Marín, A. B.; Pastor Yabar, A.; Centeno, R.; Socas-Navarro, H.  
2021A&A...647A.148G

**Modelling the He I triplet absorption at 10 830 Å in the atmospheres of HD 189733 b and GJ 3470 b**

Lampón, M. et al. (incluye a Pallé, E.)  
2021A&A...647A.129L

**On the radial abundance gradients of nitrogen and oxygen in the inner Galactic disc**

Arellano-Córdova, K. Z.; Esteban, C.; García-Rojas, J.; Méndez-Delgado, J. E.  
2021MNRAS.502..225A

**Orbital Torus Imaging: Using Element Abundances to Map Orbits and Mass in the Milky Way**

Price-Whelan, Adrian M. et al. (incluye a García-Hernández, D. A.)  
2021ApJ...910...17P

**Planet Hunters TESS II: findings from the first two years of TESS**

Eisner, N. L. et al. (incluye a Parviainen, H.)  
2021MNRAS.501.4669E

**Precise radial velocities of giant stars. XV. Mysterious nearly periodic radial velocity variations in the eccentric binary ? Cygni**

Heeren, Paul et al. (incluye a Pallé, Pere L.)  
2021A&A...647A.160H

**Probing 3D and NLTE models using APOGEE observations of globular cluster stars**

Masseron, T.; Martínez Osorio, Y.; García-Hernández, D. A.; Prieto, C. Allende; Zamora, O.; Mészáros, Sz.  
2021A&A...647A..24M

**Probing the internal magnetism of stars using asymptotic magneto-asteroseismology**

Mathis, S.; Bugnet, L.; Prat, V.; Augustson, K.; Mathur, S.; Garcia, R. A.  
2021A&A...647A.122M

**ROOSTER: a machine-learning analysis tool for Kepler stellar rotation periods**

Breton, S. N.; Santos, A. R. G.; Bugnet, L.; Mathur, S.; García, R. A.; Pallé, P. L.  
2021A&A...647A.125B

**Spectral characterization of the craters of Ryugu as observed by the NIRS3 instrument on-board Hayabusa2**

Riu, Lucie et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021Icar..35714253R

**Temporal evolution of small-scale internetwork magnetic fields in the solar photosphere**

Campbell, R. J.; Mathioudakis, M.; Collados, M.; Keys, P. H.; Asensio Ramos, A.; Nelson, C. J.; Kuridze, D.; Reid, A.  
2021A&A...647A.182C

**The Atacama Cosmology Telescope: A Catalog of >4000 Sunyaev-Zel'dovich Galaxy Clusters**

Hilton, M. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021ApJS..253....3H

**The atmosphere of HD 209458b seen with ESPRESSO. No detectable planetary absorptions at high resolution**

Casasayas-Barris, N. et al. (incluye a Palle, E.; Stangret, M.; Oshagh, M.; Rebolo, R.; Allende Prieto, C.; Génova Santos, R.; González Hernández, J. I.; Suárez Mascareño, A.)  
2021A&A...647A..26C

**The bursty star formation history of the Fornax dwarf spheroidal galaxy revealed with the HST**

Rusakov, V.; Monelli, M.; Gallart, C.; Fritz, T. K.; Ruiz-Lara, T.; Bernard, E. J.; Cassisi, S.  
2021MNRAS.502..642R

**The effect of environment on Type Ia supernovae in the Dark Energy Survey three-year cosmological sample**

Kelsey, L. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.; To, C.)  
2021MNRAS.501.4861K

**The Effects of Three-dimensional Radiative Transfer on the Resonance Polarization of the Ca I 4227 Å Line**

Jaume Bestard, J.; Trujillo Bueno, J.; Japán, J.; del Pino Alemán, T.  
2021ApJ...909..183J

**The Fornax3D project: Assembly histories of lenticular galaxies from a combined dynamical and population orbital analysis**

Poci, A. et al. (incluye a Falcón-Barroso, J.; Martín-Navarro, I.)  
2021A&A...647A.145P

**The Impact of Limited Time Resolution on the Forward-scattering Polarization in the Solar Sr I 4607 Å Line**

del Pino Alemán, T.; Trujillo Bueno, J.  
2021ApJ...909..180D

**The infrared-radio correlation of star-forming galaxies is strongly M<sub>\*</sub>-dependent but nearly redshift-invariant since z ? 4**

Delvecchio, I. et al. (incluye a Jin, S.)  
2021A&A...647A.123D

**The interstellar medium of quiescent galaxies and its evolution with time**

Magdis, Georgios E.; Gobat, Raphael; Valentino, Francesco; Daddi, Emanuele; Zanella, Anita; Kokorev, Vasily; Toft, Sune; Jin, Shuowen; Whitaker, Katherine E.  
2021A&A...647A..33M

**The OTELO survey as a morphological probe. Last ten Gyr of galaxy evolution. The mass-size relation up to z = 2**

Nadolny, Jakub et al. (incluye a Bongiovanni, Ángel; Cepa, Jordi; Padilla Torres, Carmen P.)  
2021A&A...647A..89N

**The River and the Sky: Astronomy and Topography in Caral Society, America's First Urban Centers**

González-García, A. César; Crispín, A.; Shady Solís, Ruth; Ricra, J.; Criado-Boado, Felipe; Belmonte, J. A.  
doi:10.1017/laq.2020.88

**The Similarity of Abundance Ratio Trends and Nucleosynthetic Patterns in the Milky Way Disk and Bulge**

Griffith, Emily et al. (incluye a García-Hernández, D. A.)  
2021ApJ...909...77G

**The Star Formation History of Eridanus II: On the Role of Supernova Feedback in the Quenching of Ultrafaint Dwarf Galaxies**

Gallart, C. et al. (incluye a Monelli, M.; Battaglia, G.; Bernard, E. J.; Surot, F.)  
2021ApJ...909..192G

**The VANDELS ESO public spectroscopic survey. Final data release of 2087 spectra and spectroscopic measurements**

Garilli, B. et al. (incluye a Mendez-Abreu, J.)  
2021A&A...647A.150G

**Understanding the evolution and dust formation of carbon stars in the Large Magellanic Cloud via the JWST**

Marini, E.; Dell'Agli, F.; Groenewegen, M. A. T.; García-Hernández, D. A.; Mattsson, L.; Kamath, D.; Ventura, P.; D'Antona, F.; Tailo, M.  
2021A&A...647A..69M

**VHE gamma-ray detection of FSRQ QSO B1420+326 and modeling of its enhanced broadband state in 2020**

MAGIC Collaboration et al. (incluye a Acciari, V. A.; Becerra González, J.; Colombo, E.; García López, R. J.; Herrera, J.; Karjalainen, M.; López-Oramas, A.; Otero-Santos, J.; Vanzo, G.; Vazquez Acosta, M.)  
2021A&A...647A.163M

**28-40 GHz variability and polarimetry of bright compact sources in the QUIJOTE cosmological fields**

Perrott, Yvette C. et al. (incluye a Génova-Santos, Ricardo T.; Rubiño-Martín, Jose Alberto; López-Caraballo, Carlos H.; Poidevin, Frédérick)  
2021MNRAS.502.4779P

**A dark matter telescope probing the 6 to 60 GHz band**

De Miguel, Javier  
2021JCAP...04..075D

**A low-cost chopping system and uncooled microbolometer array for ground-based astronomy**

Rashman, M. F.; Steele, I. A.; Bates, S. D.; Knapen, J. H.  
10.1007/s10686-021-09744-6

**A low-cost chopping system and uncooled microbolometer array for ground-based astronomy**

Rashman, M. F.; Steele, I. A.; Bates, S. D.; Knapen, J. H.  
2021ExA...tmp...30R

**A machine learning approach to galaxy properties: joint redshift-stellar mass probability distributions with Random Forest**

Mucesh, S. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.502.2770M

**A sub-Neptune and a non-transiting Neptune-mass companion unveiled by ESPRESSO around the bright late-F dwarf HD 5278 (TOI-130)**

Sozzetti, A. et al. (incluye a González Hernández, J. I.; Rebolo, R.; Molaro, P.; Oshagh, M.; Pallé, E.; Suárez Mascareño, A.)  
2021A&A...648A..75S

**A super-Earth on a close-in orbit around the MIV star GJ 740. A HADES and CARMENES collaboration**

Toledo-Padrón, B. et al. (incluye a Suárez Mascareño, A.; González Hernández, J. I.; Rebolo, R.)  
2021A&A...648A..20T

**A survey of IRAS young stellar object candidates. Searching for large-scale Herbig- Haro objects**

López, Rosario; Riera, Angels; Estalella, Robert; Gómez, Gabriel  
2021A&A...648A..57L

**Assessing the Stellar Population and the Environment of an H II Region on the Far Side of the Galaxy**

Chené, André-Nicolas et al. (incluye a Herrero, Artemio)  
2021ApJ...911...91C

**Broadband Multi-wavelength Properties of M87 during the 2017 Event Horizon Telescope Campaign**

Eht Mwl Science Working Group et al. (incluye a Acciari, V. A.; Becerra González, J.; Colombo, E.; García López, R. J.; Herrera, J.; Karjalainen, M.; López-Oramas, A.; Otero-Santos, J.; Vanzo, G.; Vazquez Acosta, M.)  
2021ApJ...911L..11E

**Composite bulges - II. Classical bulges and nuclear discs in barred galaxies: the contrasting cases of NGC 4608 and NGC 4643**

Erwin, Peter et al. (incluye a de Lorenzo-Cáceres, Adriana; Méndez-Abreu, Jairo; Beckman, John E.)  
2021MNRAS.502.2446E

**Convective core sizes in rotating massive stars. I. Constraints from solar metallicity OB field stars**

Martinet, S. et al. (incluye a Simón-Díaz, S.)  
2021A&A...648A.126M

**COSMIC BIRTH: efficient Bayesian inference of the evolving cosmic web from galaxy surveys**

Kitaura, Francisco-Shu; Ata, Metin; Rodríguez-Torres, Sergio A.; Hernández-Sánchez, Mónica; Balaguera-Antolínez, A.; Yepes, Gustavo  
2021MNRAS.502.3456K

**Critical Science Plan for the Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST)**

Rast, Mark P. et al. (incluye a Khomenko, Elena; Socas-Navarro, Hector)  
2021SoPh..296...70R

**Dark energy survey year 1 results: Constraining baryonic physics in the Universe**

Huang, Hung-Jin et al. (incluye a Carnero Rosell, Aurelio)  
2021MNRAS.502.6010H

**Dark Energy Survey Year 1 Results: Cosmological Constraints from Cluster Abundances, Weak Lensing, and Galaxy Correlations**

To, C. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.; DES Collaboration)  
2021PhRvL.126n1301T

**Emergence of Internetwork Magnetic Fields through the Solar Atmosphere**

Goñi, M.; De Pontieu, B.; Bellot Rubio, L. R.; Sainz Dalda, A.; Esteban Pozuelo, S.  
2021ApJ...911...41G

**Empirical determination of atomic line parameters of the 1.5  $\mu$ m spectral region**

Trelles Arjona, J. C.; Ruiz Cobo, B.; Martínez González, M. J.  
2021A&A...648A..68T

**Evaluating hydrodynamical simulations with green valley galaxies**

Angthopo, J.; Negri, A.; Ferreras, I.; de la Rosa, I. G.; Dalla Vecchia, C.; Pillepich, A.  
2021MNRAS.502.3685A

**Evaluating the Reliability of a Simple Method to Map the Magnetic Field Azimuth in the Solar Chromosphere**

Jurák, Jan; Tóth, János; Trujillo Bueno, Javier  
2021ApJ...911...23J

**Evidence of energy-, recombination-, and photon-limited escape regimes in giant planet H/He atmospheres**

Lampón, M. et al. (incluye a Pallé, E.)  
2021A&A...648L...7L

**Evidence that short-period AM CVn systems are diverse in outburst behaviour**

Duffy, C. et al. (incluye a Dhillon, V.)  
2021MNRAS.502.4953D

**H.E.S.S. and MAGIC observations of a sudden cessation of a very-high-energy  $\gamma$ -ray flare in PKS 1510+089 in May 2016**

H. E. S. S. Collaboration, et al. (incluye a Acciari, V. A.; Becerra González, J.; Colombo, E.; García López, R. J.; Herrera, J.; Karjalainen, M.; López-Oramas, A.; Otero-Santos, J.; Vanzo, G.; Vazquez Acosta, M.)  
2021A&A...648A..23H

**Higher order Hamiltonian Monte Carlo sampling for cosmological large-scale structure analysis**

Hernández-Sánchez, Mónica; Kitaura, Francisco-Shu; Ata, Metin; Dalla Vecchia, Claudio  
2021MNRAS.502.3976H

**Identifying RR Lyrae Variable Stars in Six Years of the Dark Energy Survey**

Stringer, K. M. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021ApJ...911..109S

**Mapping the core of the Tarantula Nebula with VLT-MUSE. II. The spectroscopic Hertzsprung-Russell diagram of OB stars in NGC 2070**

Castro, N.; Crowther, P. A.; Evans, C. J.; Vink, J. S.; Puls, J.; Herrero, A.; García, M.; Selman, F. J.; Roth, M. M.; Simón-Díaz, S.  
2021A&A...648A..65C

**Mid-IR cosmological spectrophotometric surveys from space: Measuring AGN and star formation at the cosmic noon with a SPICA-like mission**

Spinoglio, Luigi et al. (incluye a Dannerbauer, Helmut)  
2021PASA...38...21S

**Multiplicity among the cool supergiants in the Magellanic Clouds**

Dorda, R.; Patrick, L. R.  
2021MNRAS.502.4890D

**Multiwavelength flare observations of the blazar S5 1803+784**

Nesci, R. et al. (incluye a Rebolo, R.)  
2021MNRAS.502.6177N

**Near-infrared spectroscopy of the Sulamitis asteroid family: Surprising similarities in the inner belt primitive asteroid population**

Arredondo, Anicia; Campins, Humberto; Pinilla-Alonso, Noemi; de León, Julia; Lorenzi, Vania; Morate, David  
2021Icar..35814210A

**No Evidence for Orbital Clustering in the Extreme Trans-Neptunian Objects**

Napier, K. J. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021PSJ.....2...59N

**Numerical modeling of lander interaction with a low-gravity asteroid regolith surface. II. Interpreting the successful landing of Hayabusa2 MASCOT**

Thuillet, Florian; Zhang, Yun; Michel, Patrick; Biele, Jens; Kameda, Shingo; Sugita, Seiji; Tatsumi, Eri; Schwartz, Stephen R.; Ballouz, Ronald-Louis  
2021A&A...648A..56T

**Observing the Stellar Halo of Andromeda in Cosmological Simulations: The AURIGA2PANDAS Pipeline**

Thomas, Guillaume F. et al.  
2021ApJ...910...92T

**Orientación solar del Traianeum de Italica (Santiponce, Sevilla, España)**

Escacena Carrasco, J. L.; Esteban López, C.; Vargas-Vázquez, S.  
10.12795/spal.2021.i30.23

**Photoionized Herbig-Haro objects in the Orion Nebula through deep high-spectral resolution spectroscopy - I. HH 529 II and III**

Méndez-Delgado, J. E.; Esteban, C.; García-Rojas, J.; Henney, W. J.; Mesa-Delgado, A.; Arellano-Córdova, K. Z.  
2021MNRAS.502.1703M

**Photometry of asteroid (101955) Bennu with OVIRS on OSIRIS-REX**

Zou, Xiao-Duan et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021Icar..35814183Z

**Probing the existence of a rich galaxy overdensity at  $z = 5.2$** 

Calvi, Rosa; Dannerbauer, Helmut; Arrabal Haro, Pablo; Rodríguez Espinosa, José M.; Muñoz-Tuñón, Casiana; Pérez González, Pablo G.; Geier, Stefan  
2021MNRAS.502.4558C

**Prospects for Galactic and stellar astrophysics with asteroseismology of giant stars in the TESS continuous viewing zones and beyond**

Mackereth, J. Ted et al. (incluye a Mathur, Savita; Beck, Paul G.)  
2021MNRAS.502.1947M

**PSR B0656+14: the unified outlook from the infrared to X-rays**

Zharikov, S.; Zyuzin, D.; Shibanov, Yu; Kirichenko, A.; Mennickent, R. E.; Geier, S.; Cabrera-Lavers, A.  
2021MNRAS.502.2005Z

**Rubidium abundances in solar metallicity stars**

Abia, C.; de Laverny, P.; Korotin, S.; Asensio Ramos, A.; Recio-Blanco, A.; Prantzos, N.  
2021A&A...648A.107A

**Spectroscopic and seismic analysis of red giants in eclipsing binaries discovered by Kepler**

Benbakoura, M. et al. (incluye a Beck, P. G.; Mathur, S.)  
2021A&A...648A.113B

**TESS Delivers Five New Hot Giant Planets Orbiting Bright Stars from the Full-frame Images**

Rodriguez, Joseph E. et al. (incluye a Palle, Enric)  
2021AJ....161..194R

**The APOGEE Library of Infrared SSP Templates (A-LIST): High-resolution Simple Stellar Population Spectral Models in the H Band**

Ashok, Aishwarya et al. (incluye a García-Hernández, D. A.)  
2021AJ....161..167A

**The Ariel 0.6 - 7.8  $\mu$ m stellar limb-darkening coefficients**

Morello, Giuseppe; Danielski, Camilla; Sarkar, Subhajit  
2021ExA...tmp...24M

**The central parsec of NGC 3783: a rotating broad emission line region, asymmetric hot dust structure, and compact coronal line region**

Gravity Collaboration et al. (incluye a Prieto, M. A.)  
2021A&A...648A.117G

**The number of globular clusters around the iconic UDG DF44 is as expected for dwarf galaxies**

Saifollahi, Teymoor; Trujillo, Ignacio; Beasley, Michael A.; Peletier, Reynier F.; Knapen, Johan H.  
2021MNRAS.502.5921S

**The WazP galaxy cluster sample of the dark energy survey year 1**

Aguena, M. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.502.4435A

**TIC 168789840: A Sextuply Eclipsing Sextuple Star System**

Powell, Brian P. et al. (incluye a Palle, Enric)  
2021AJ....161..162P

**TOI-257b (HD 19916b): a warm sub-saturn orbiting an evolved F-type star**

Addison, Brett C. et al. (incluye a González-Cuesta, L.; Mathur, Savita)  
2021MNRAS.502.3704A

**Towards a more complete sample of binary central stars of planetary nebulae with Gaia**

Chornay, N.; Walton, N. A.; Jones, D.; Boffin, H. M. J.; Rejkuba, M.; Wesson, R.  
2021A&A...648A..95C

**A Case against a Significant Detection of Precession in the Galactic Warp**

Chrobáková, ?.; López-Corredoira, M.  
2021ApJ...912..130C

**A comparison between X-shooter spectra and PHOENIX models across the HRdiagram**

Lançon, A. et al. (incluye a Falcón-Barroso, J.; Vazdekis, A.)  
2021A&A...649A..97L

**A diffuse tidal dwarf galaxy destined to fade out as a "dark galaxy"**

Román, Javier; Jones, Michael G.; Montes, Mireia; Verdes-Montenegro, Lourdes; Garrido, Julián; Sánchez, Susana  
2021A&A...649L..14R

**A hyperluminous obscured quasar at a redshift of  $z \approx 4.3$**

Efstathiou, Andreas et al. (incluye a Shirley, Raphael)  
2021MNRAS.503L..11E



**A KMOS survey of the nuclear disk of the Milky Way. I. Survey design and metallicities**

Fritz, T. K.; Patrick, L. R.; Feldmeier-Krause, A.; Schödel, R.; Schultheis, M.; Gerhard, O.; Nandakumar, G.; Neumayer, N.; Nogueras-Lara, F.; Prieto, M. A.  
2021A&A...649A..83F

**A Near-infrared Chemical Inventory of the Atmosphere of 55 Cancri e**

Deibert, Emily K.; de Mooij, Ernst J. W.; Jayawardhana, Ray; Ridden-Harper, Andrew; Sivanandam, Suresh; Karjalainen, Raine; Karjalainen, Marie  
2021AJ....161..209D

**A New View of the Solar Interface Region from the Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS)**

De Pontieu, Bart et al. (incluye a Nóbrega-Siverio, Daniel Elias)  
2021SoPh..296...84D

**A tidally tilted sectoral dipole pulsation mode in the eclipsing binary TIC 63328020**

Rappaport, S. A. et al. (incluye a Jones, D.; ák, J.)  
2021MNRAS.503..254R

**A transmission spectrum of the planet candidate WD 1856+534 b and a lower limit to its mass**

Alonso, R.; Rodríguez-Gil, P.; Izquierdo, P.; Deeg, H. J.; Lodieu, N.; Cabrera-Lavers, A.; Hollands, M. A.; Pérez-Toledo, F. M.; Castro-Rodríguez, N.; Reverte Payá, D.  
2021A&A...649A.131A

**Anomalous porous boulders on (162173) Ryugu as primordial materials from its parent body**

Sakatani, N. et al. (incluye a Tatsumi, E.)  
2021NatAs...5..766S

**Bar pattern speeds in CALIFA galaxies. III. Solving the puzzle of ultrafast bars**

Cuomo, Virginia; Hee Lee, Yun; Buttitta, Chiara; Aguerri, J. Alfonso L.; Maria Corsini, Enrico; Morelli, Lorenzo  
2021A&A...649A..30C

**Beyond the hubble sequence - exploring galaxy morphology with unsupervised machine learning**

Cheng, Ting-Yun; Huertas-Company, Marc; Conselice, Christopher J.; Aragón-Salamanca, Alfonso; Robertson, Brant E.; Ramachandra, Nesar  
2021MNRAS.503.4446C

**BG Tri: an example of a low-inclination RW Sex-type nova-like**

Hernández, M. S.; Tovmassian, G.; Zharikov, S.; Gänsicke, B. T.; Steeghs, D.; Aungwerojwit, A.; Rodríguez-Gil, P.  
2021MNRAS.503.1431H

**Carbon dust in the evolved born-again planetary nebulae A 30 and A 78**

Toalá, J. A.; Jiménez-Hernández, P.; Rodríguez-González, J. B.; Estrada-Dorado, S.; Guerrero, M. A.; Gómez-González, V. M. A.; Ramos-Larios, G.; García-Hernández, D. A.; Todt, H.  
2021MNRAS.503.1543T

**Chemodynamically Characterizing the Jhelum Stellar Stream with APOGEE-2**

Sheffield, Allyson A. et al. (incluye a García-Hernández, D. A.)  
2021ApJ...913...39S

**Concepts for future missions to search for technosignatures**

Socas-Navarro, Hector; Haqq-Misra, Jacob; Wright, Jason T.; Kopparapu, Ravi; Benford, James; Davis, Ross; TechnoClimes 2020 workshop participants  
2021AcAau.182..446S

**Consistency of cosmic shear analyses in harmonic and real space**

Doux, C. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.503.3796D

**Constraining the population of isolated massive stars within the Central Molecular Zone**

Clark, J. S.; Patrick, L. R.; Najarro, F.; Evans, C. J.; Lohr, M.  
2021A&A...649A..43C

**Cosmological parameter forecasts by a joint 2D tomographic approach to CMB and galaxy clustering**

Bermejo-Climent, José Ramón; Ballardini, Mario; Finelli, Fabio; Paoletti, Daniela; Maartens, Roy; Rubiño-Martín, José Alberto; Valenziano, Luca  
2021PhRvD.103j3502B

**Density weighted angular redshift fluctuations: a new cosmological observable**

Hernández-Monteagudo, Carlos; Chaves-Montero, Jonás; Angulo, Raúl E.  
2021MNRAS.503L..56H

**Detection of spectral variations of Anomalous Microwave Emission with QUIJOTE and C-BASS**

Cepeda-Arroita, R. et al. (incluye a Rubiño-Martín, J. A.; Génova-Santos, R. T.; Guidi, F.; Peel, M. W.; Poidevin, F.; Rebolo, R.; Ruiz-Granados, B.; Vansyngel, F.)  
2021MNRAS.503.2927C

**Evidence for TiO in the Atmosphere of the Hot Jupiter HAT-P-65 b**

Chen, Guo; Pallé, Enric; Parviainen, Hannu; Murgas, Felipe; Yan, Fei  
2021ApJ...913L..16C

**Evidence of intra-binary shock emission from the redback pulsar PSR J1048+2339**

Miraval Zanon, A. et al. (incluye a Muñoz-Darias, T.)  
2021A&A...649A.120M

**Exploring the planetary-mass population in the Upper Scorpius association**

Lodieu, N.; Hambly, N. C.; Cross, N. J. G.  
2021MNRAS.503.2265L

**Exploring the tilted accretion disc of AQ Men with TESS**

I?kiewicz, Krystian et al. (incluye a Shahbaz, Tariq)  
2021MNRAS.503.4050I

**Gaia Early Data Release 3. Acceleration of the Solar System from Gaia astrometry**

Gaia Collaboration et al. (incluye a Hidalgo, S. L.)  
2021A&A...649A...9C

**Gaia Early Data Release 3. Photometric content and validation**

Riello, M. et al. (incluye a Hidalgo, S.)  
2021A&A...649A...3R

**Gaia Early Data Release 3. Structure and properties of the Magellanic Clouds**

Gaia Collaboration et al. (incluye a Hidalgo, S. L.)  
2021A&A...649A...7C

**Gaia Early Data Release 3. Summary of the contents and survey properties**

Gaia Collaboration et al. (incluye a Hidalgo, S. L.)  
2021A&A...649A...1G

**Gaia Early Data Release 3. The Gaia Catalogue of Nearby Stars**

Gaia Collaboration et al. (incluye a Hidalgo, S. L.)  
2021A&A...649A...6G

**Gaia Early Data Release 3. The Galactic anticentre**

Gaia Collaboration et al. (incluye a Hidalgo, S. L.)  
2021A&A...649A...8G

**Globular cluster systems of relic galaxies**

Alamo-Martínez, Karla A.; Chies-Santos, Ana L.; Beasley, Michael A.; Flores-Freitas, Rodrigo; Furlanetto, Cristina; Trevisan, Marina; Schnorr-Müller, Allan; Leaman, Ryan; Bonatto, Charles J.  
2021MNRAS.503.2406A

**HADES RV Programme with HARPS-N at TNG. XIII. A sub-Neptune around the M dwarf GJ 720 A**

González-Álvarez, E. et al. (incluye a González-Hernández, J. I.; Rebolo, R.; Suárez Mascareño, A.; Toledo- Padrón, B.)  
2021A&A...649A.157G

**Hubble spectroscopy of LB-1: Comparison with B+black-hole and Be+stripped-star models**

Lennon, D. J. et al. (incluye a Simón-Díaz, S.; Herrero, A.; Casares, J.; Muñoz-Darias, T.; González Hernández, J. I.; de Burgos, A.)  
2021A&A...649A.167L

**Improved method of hydrous mineral detection by latitudinal distribution of 0.7-?m surface reflectance absorption on the asteroid Ryugu**

Kameda, Shingo et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021Icar..36014348K

**Integrated Molar Absorptivity of Mid- and Far-Infrared Spectra of Glycine and Other Selected Amino Acids**

Iglesias-Groth, Susana; Cataldo, Franco  
2021AsBio..21..526I

**Investigating the projected phase space of Gaussian and non-Gaussian clusters**

Sampaio, V. M.; de Carvalho, R. R.; Ferreras, I.; Laganá, T. F.; Ribeiro, A. L. B.; Rembold, S. B.  
2021MNRAS.503.3065S

**Is the Bremer Deep Field reionized, at z ? 7?**

Rodríguez Espinosa, J. M.; Mas-Hesse, J. M.; Calvi, R.  
2021MNRAS.503.4242R

**Large-amplitude Prominence Oscillations following Impact by a Coronal Jet**

Luna, Manuel; Moreno-Insertis, Fernando  
2021ApJ...912...75L

**Long Characteristics versus Short Characteristics in 3D Radiative Transfer Simulations of Polarized Radiation**

de Vicente, A.; del Pino Alemán, T.; Trujillo Bueno, J.  
2021ApJ...912...63D

**Mass and density of the transiting hot and rocky super-Earth LHS 1478 b (TOI-1640 b)**

Soto, M. G. et al. (incluye a Pallé, E.; Narita, N.; Béjar, V. J. S.)  
2021A&A...649A.144S

**Metallicity of Galactic RR Lyrae from Optical and Infrared Light Curves. I. Period- Fourier-Metallicity Relations for Fundamental-mode RR Lyrae**

Mullen, Joseph P. et al. (incluye a Monelli, Matteo)  
2021ApJ...912..144M

**Post-arrival calibration of Hayabusa2's optical navigation cameras (ONCs): Severe effects from touchdown events**

Kouyama, Toru et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021Icar...36014353K

**Probing Uncertainties in Diagnostics of a Synthetic Chromosphere**

Schmit, Don; Martinez-Sykora, Juan; Pereira, Tiago; Asensio Ramos, Andrés  
2021ApJ...913...71S

**Properties of Fossil Groups of Galaxies**

Aguerre, J. Alfonso L.; Zarattini, Stefano  
2021Univ....7..132A

**Raining in MKW 3 s: A Chandra-MUSE Analysis of X-Ray Cold Filaments around 3CR 318.1**

Jimenez-Gallardo, A. et al. (incluye a Prieto, M. A.)  
2021ApJ...912L..25J

**Simultaneous modelling of matter power spectrum and bispectrum in the presence of**

baryons  
Aricò, Giovanni; Angulo, Raul E.; Hernández-Monteagudo, Carlos; Contreras, Sergio; Zennaro, Matteo  
2021MNRAS.503.3596A

**Six transiting planets and a chain of Laplace resonances in TOI-178**

Leleu, A. et al. (incluye a Allende Prieto, C.; Alonso, R.; González Hernández, J. I.; Oshagh, M.; Pallé, E.; Rebolo, R.; Suárez Mascareño, A.)  
2021A&A...649A..26L

**Solo dwarfs II: the stellar structure of isolated Local Group dwarf galaxies**

Higgs, C. R.; McConnachie, A. W.; Annau, N.; Irwin, M.; Battaglia, G.; Côté, P.; Lewis, G. F.; Venn, K.  
2021MNRAS.503..176H

**Stellar clustering and orbital architecture of planetary systems**

Adibekyan, V. et al. (incluye a Oshagh, M.; Israelian, G.)  
2021A&A...649A.111A

**The active centaur 2020 MK4**

de la Fuente Marcos, C.; de la Fuente Marcos, R.; Licandro, J.; Serra-Ricart, M.; Martino, S.; de León, J.; Chaudry, F.; Alarcón, M. R.  
2021A&A...649A..85D

**The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs. No evidence for a super-Earth in a 2-day orbit around GJ 1151**

Perger, M. et al. (incluye a Béjar, V. J. S.; Pallé, E.)  
2021A&A...649L..12P

**The Mass and Age Distribution of Halo White Dwarfs in the Canada-France Imaging**

Survey  
Fantin, Nicholas J.; Côté, Patrick; McConnachie, Alan W.; Bergeron, Pierre; Cuillandre, Jean-Charles; Dufour, Patrick; Gwyn, Stephen D. J.; Ibata, Rodrigo A.; Thomas, Guillaume F.  
2021ApJ...913...30F

**The miniJPAS survey. Identification and characterization of galaxy populations with the J-PAS photometric system**

González Delgado, R. M. et al. (incluye a Hernández-Monteagudo, C.)  
2021A&A...649A..79G

**The OTELO survey. Faint end of the luminosity function of [O II]3727 emitters at  $z \approx 1.43$** 

1.43  
Cedrés, B. et al. (incluye a Nadolny, J.; Cepa, J.; de Diego, J. A.; Padilla Torres, C. P.; González, M.)  
2021A&A...649A..73C

**The pristine dwarf-galaxy survey - III. Revealing the nature of the Milky Way globular cluster Sagittarius II**

Longeard, Nicolas et al. (incluye a González Hernández, Jonay I.)  
2021MNRAS.503.2754L

**Three Lyman- $\alpha$ -emitting filaments converging to a massive galaxy group at  $z = 2.91$ : discussing the case for cold gas infall**

Daddi, E. et al. (incluye a Jin, S.)  
2021A&A...649A..78D

**Transient-optimized real-bogus classification with Bayesian convolutional neural networks - sifting the GOTO candidate stream**

Killestein, T. L. et al. (incluye a Dhillon, V.; Pallé, E.)  
2021MNRAS.503.4838K

**( $g - 2$ ) $e$ ,  $r$  in an extended inverse type-III seesaw model**

Escribano, Pablo; Terol-Calvo, Jorge; Vicente, Avelino  
2021PhRvD.103k5018E

**A Duality in the Origin of Bulges and Spheroidal Galaxies**

Costantin, Luca et al. (incluye a Méndez-Abreu, Jairo; Huertas-Company, Marc)  
2021ApJ...913..125C

**A search for transiting planets around hot subdwarfs. I. Methods and performance tests on light curves from Kepler, K2, TESS, and CHEOPS**

Van Grootel, V. et al. (incluye a Alonso, R.; Pallé, E.)  
2021A&A...650A.205V

**A space mission to map the entire observable universe using the CMB as a backlight**

Basu, Kaustuv et al. (incluye a Rubiño Martín, Jose Alberto)  
2021ExA....51.1555B

**A transit timing variation observed for the long-period extremely low-density exoplanet HIP 41378 f**

Bryant, Edward M. et al. (incluye a Fukui, Akihiko; Narita, Norio; Palle, Enric; Parviainen, Hannu)  
2021MNRAS.504L..45B

**Activity of the Jupiter co-orbital comet P/2019 LD2 (ATLAS) observed with OSIRIS at the 10.4 m GTC**

Licandro, J. et al. (incluye a de León, J.; Cabrera-Lavers, A.; Geier, S.)  
2021A&A...650A..79L

**Alternative Strategies to Solve the Stellar Atmosphere Problem**

Crivellari, L.  
2021POBeo.100...15C

**An enquiry on the origins of N-rich stars in the inner Galaxy based on APOGEE chemical compositions**

Kisku, Shobhit et al. (incluye a García-Hernández, D. A.)  
2021MNRAS.504.1657K

**An ultra-short-period transiting super-Earth orbiting the M3 dwarf TOI-1685**

Bluhm, P. et al. (incluye a Pallé, E.; Béjar, V. J. S.; Luque, R.; Murgas, F.; Narita, N.)  
2021A&A...650A..78B

**ARES. V. No Evidence For Molecular Absorption in the HST WFC3 Spectrum of GJ 1132 b**

Mugnai, Lorenzo V. et al. (incluye a Morello, Giuseppe)  
2021AJ....161..284M

**Charting the Galactic Acceleration Field. I. A Search for Stellar Streams with Gaia DR2 and EDR3 with Follow-up from ESPaDOnS and UVES**

Ibata, Rodrigo et al. (incluye a Thomas, Guillaume F.)  
2021ApJ...914..123I

**Chromospheric Heating by Magnetohydrodynamic Waves and Instabilities**

Srivastava, A. K.; Ballester, J. L.; Cally, P. S.; Carlsson, M.; Goossens, M.; Jess, D. B.; Khomenko, E.; Mathioudakis, M.; Murawski, K.; Zaqarashvili, T. V.  
2021JGRA..12629097S

**Chronos: A NIR spectroscopic galaxy survey to probe the most fundamental stages of**

galaxy evolution  
Ferrerias, I. et al.  
2021ExA....51..729F

**Comprehensive Gas Characterization of a  $z = 2.5$  Protocluster: A Cluster Core Caught in the Beginning of Virialization?**

Champagne, Jaclyn B.; Casey, Caitlin M.; Zavala, Jorge A.; Cooray, Asantha; Dannerbauer, Helmut; Fabian, Andrew; Hayward, Christopher C.; Long, Arianna S.; Spilker, Justin S.  
2021ApJ...913..110C

**Constraints on dark matter to dark radiation conversion in the late universe with DESY1 and external data**

Chen, A. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.; DES Collaboration)  
2021PhRvD.103I3528C

**Dark Energy Survey Year 3 Results: Photometric Data Set for Cosmology**

Sevilla-Noarbe, I. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021ApJS..254...24S

**Dips and eclipses in the X-ray binary Swift J1858.6-0814 observed with NICER**

Buisson, D. J. K. et al. (incluye a Armas Padilla, M.; Muñoz Darías, T.)  
2021MNRAS.503.5600B

**Diversity of nuclear star cluster formation mechanisms revealed by their star formation histories**

Fahrion, K. et al. (incluye a Falcón-Barroso, J.; Martín-Navarro, I.)  
2021A&A...650A.137F

**ESPRESSO mass determination of TOI-263b: an extreme inhabitant of the brown dwarf desert**

Palle, E. et al. (incluye a Luque, R.; Parviainen, H.; Bejar, V. S. J.; Narita, N.; Murgas, F.)  
2021A&A...650A..55P

**Exploring the contamination of the DES-Y1 cluster sample with SPT-SZ selected clusters**

Grandis, S. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.504.1253G

**Extreme emission-line galaxies in SDSS - I. Empirical and model-based calibrations of chemical abundances**

Pérez-Montero, E.; Amorín, R.; Sánchez Almeida, J.; Vílchez, J. M.; García-Benito, R.; Kehrig, C.  
2021MNRAS.504.1237P

**Fingerprints of stellar populations in the near-infrared: an optimized set of spectral indices in the JHK bands 0**

Eftekhari, Elham; Vazdekis, Alexandre; La Barbera, Francesco  
2021MNRAS.504.2190E

**Interactions between large-scale radio structures and gas in a sample of optically selected type 2 quasars**

Villar Martín, M.; Emonts, B. H. C.; Cabrera Lavers, A.; Bellocchi, E.; Alonso Herrero, A.; Humphrey, A.; Dall'Agnol de Oliveira, B.; Storchi-Bergmann, T.  
2021A&A...650A..84V

**Joint Analysis of Multicolor Photometry: A New Approach to Constrain the Nature of Multiple-star Systems Hosting Exoplanet Candidates**

Miyakawa, Kohei; Hirano, Teruyuki; Sato, Bun'ei; Fukui, Akihiko; Narita, Norio  
2021AJ....161..276M

**KMT-2019-BLG-1715: Planetary Microlensing Event with Three Lens Masses and Two Source Stars**

Han, Cheongho et al. (incluye a Fukui, Akihiko)  
2021AJ....161..270H

**Magnetic signatures on mixed-mode frequencies. I. An axisymmetric fossil field inside the core of red giants**

Bugnet, L.; Prat, V.; Mathis, S.; Astoul, A.; Augustson, K.; García, R. A.; Mathur, S.; Amard, L.; Neiner, C.  
2021A&A...650A..53B

**Massive stars in extremely metal-poor galaxies: a window into the past**

García, Miriam et al. (incluye a Herrero, Artemio; Lennon, Daniel J.; Simón-Díaz, Sergio)  
2021ExA....51..887G

**Metallicities from high-resolution spectra of 49 RR Lyrae variables**

Gilligan, Christina K. et al. (incluye a Monelli, Matteo)  
2021MNRAS.503.4719G

**Microwave spectro-polarimetry of matter and radiation across space and time**

Delabrouille, Jacques et al. (incluye a Dannerbauer, Helmut; Rubiño Martín, Jose-Alberto)  
2021ExA....51.1471D



**Multiwavelength variability and correlation studies of Mrk 421 during historically low Xray and  $\gamma$ -ray activity in 2015-2016**

Acciari, V. A. et al. (incluye a Becerra González, J.; Colombo, E.; García López, R. J.; Herrera, J.; Karjalainen, M.; López-Oramas, A.; Otero-Santos, J.; Vanzo, G.; Vazquez Acosta, M.)  
2021MNRAS.504.1427A

**New horizons in cosmology with spectral distortions of the cosmic microwave background**

Chluba, J. et al. (incluye a Rubiño-Martin, J. A.)  
2021ExA....51.1515C

**Numerical simulations of dark matter haloes produce polytropic central cores when reaching thermodynamic equilibrium**

Sánchez Almeida, Jorge; Trujillo, Ignacio  
2021MNRAS.504.2832S

**On the Use of Field RR Lyrae as Galactic Probes. III. The  $\gamma$ -element Abundances**

Crestani, J. et al. (incluye a Monelli, M.)  
2021ApJ...914...10C

**Optical nebular emission following the most luminous outburst of Aquila X-1**

Panizo-Espinar, G.; Muñoz-Darias, T.; Armas Padilla, M.; Jiménez-Ibarra, F.; Casares, J.; Mata Sánchez, D.  
2021A&A...650A.135P

**Optical spectroscopy of blazars for the Cherenkov Telescope Array**

Goldoni, P. et al. (incluye a Becerra-Gonzalez, J.)  
2021A&A...650A.106G

**Processing GOTO survey data with the Rubin Observatory LSST Science Pipelines II: Forced Photometry and lightcurves**

Makrygianni, L. et al. (incluye a Pallé, E.)  
2021PASA...38...25M

**Simulations of the Biermann battery mechanism in two-fluid partially ionised plasmas**

Martínez-Gómez, D.; Popescu Braileanu, B.; Khomenko, E.; Hunana, P.  
2021A&A...650A.123M

**sMILES: a library of semi-empirical MILES stellar spectra with variable  $[\gamma/\text{Fe}]$  abundances**

Knowles, Adam T.; Sansom, A. E.; Allende Prieto, C.; Vazdekis, A.  
2021MNRAS.504.2286K

**Space Project for Astrophysical and Cosmological Exploration (SPACE), an ESA standalone mission and a possible contribution to the Origins Space Telescope**

Burgarella, Denis et al. (incluye a Rodríguez Espinosa, José Miguel)  
2021ExA....51..625B

**Supernova constraints on dark flavored sectors**

Martin Camalich, Jorge; Terol-Calvo, Jorge; Tolos, Laura; Ziegler, Robert  
2021PhRvD.103L1301C

**Testing Einsteins Equivalence Principle and Its Cosmological Evolution from Quasar Gravitational Redshifts**

Mediavilla, E.; Jiménez-Vicente, J.  
2021ApJ...914..112M

**The APOGEE Data Release 16 Spectral Line List**

Smith, Verne V. et al. (incluye a Allende Prieto, Carlos; Masseron, Thomas; Osorio, Yeisson; García- Hernández, D. A.)  
2021AJ....161..254S

**The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs. Two terrestrial planets orbiting G 264-012 and one terrestrial planet orbiting Gl 393**

Amado, P. J. et al. (incluye a Cardona Guillén, C.; Béjar, V. J. S.; Lodieu, N.; Murgas, F.; Pallé, E.)  
2021A&A...650A.188A

**The Cluster HERitage project with XMM-Newton: Mass Assembly and Thermodynamics at the Endpoint of structure formation. I. Programme overview**

CHEX-MATE Collaboration et al. (incluye a Barrena, R.; Rubiño-Martin, J. A.; Streblyanska, A.)  
2021A&A...650A.104C

**The GADOT Galaxy Survey: Dense Gas and Feedback in Herschel-selected Starburst Galaxies at Redshifts 2 to 6**

Riechers, Dominik A.; Cooray, Asantha; Pérez-Fournon, Ismael; Neri, Roberto  
2021ApJ...913..141R

**The Intermittent Extreme Behaviour of BL Lac 1ES 2344+514**

Manganaro, M. et al. (incluye a Acosta-Pulido, J. A.)  
2021POBeo.100..281M

**The nuclear stellar disc of the Milky Way: A dynamically cool and metal-rich component possibly formed from the central molecular zone**

Schultheis, M. et al. (incluye a Fritz, T. K.; Prieto, M. A.)  
2021A&A...650A.191S

**The origin of bulges and discs in the CALIFA survey - I. Morphological evolution**

Méndez-Abreu, J.; de Lorenzo-Cáceres, A.; Sánchez, S. F.  
2021MNRAS.504.3058M

**The TESS Objects of Interest Catalog from the TESS Prime Mission**

Guerrero, Natalia M. et al. (incluye a Narita, Norio; Palle, Enric)  
2021ApJS..254...39G

**TOI-269 b: an eccentric sub-Neptune transiting a M2 dwarf revisited with ExTrA**

Cointepas, M. et al. (incluye a Murgas, F.)  
2021A&A...650A.145C

**Transit detection of the long-period volatile-rich super-Earth 2 Lupi d with CHEOPS**

Delrez, Laetitia et al. (incluye a Oshagh, Mahmoudreza; Alonso, Roi; Pallé, Enric)  
2021NatAs...5..775D

**Two-fluid simulations of Rayleigh-Taylor instability in a magnetized solar prominence thread. II. Effects of collisionality**

Popescu Braileanu, B.; Lukin, V. S.; Khomenko, E.; de Vicente, Á.  
2021A&A...650A.181P

**White dwarfs with planetary remnants in the era of Gaia - I. Six emission line systems**

Gentile Fusillo, N. P. et al. (incluye a Izquierdo, P.; Rodríguez-Gil, P.)  
2021MNRAS.504.2707G

**Wide companions to M and L subdwarfs with Gaia and the Virtual Observatory**

González-Payo, J.; Cortés-Contreras, M.; Lodieu, N.; Solano, E.; Zhang, Z. H.; Gálvez-Ortiz, M. -C.  
2021A&A...650A.190G

**A Forecast of the Sensitivity on the Measurement of the Optical Depth to Reionization with the GroundBIRD Experiment**

Lee, K. et al. (incluye a Génova-Santos, R. T.; Peel, M. W.)  
2021ApJ...915...88L

**APOGEE view of the globular cluster NGC 6544**

Cran, F. et al. (incluye a García-Hernández, D. A.)  
2021MNRAS.504.3494G

**Bayesian Evidence for a Nonlinear Damping Model for Coronal Loop Oscillations**

Arregui, Iñigo  
2021ApJ...915L..25A

**Constraints on the dust extinction law of the Galaxy with Swift/UVOT, Gaia, and 2MASS**

Ferreras, Ignacio; Tress, Mónica; Bruzual, Gustavo; Charlot, Stéphane; Page, Mat; Yershov, Vladimir; Kuin, Paul; Kawata, Daisuke; Cropper, Mark  
2021MNRAS.505..283F

**Dark energy survey year 3 results: weak lensing shape catalogue**

Gatti, M. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.504.4312G

**Detection of Fe and evidence for TiO in the dayside emission spectrum of WASP-33b**

Cont, D. et al. (incluye a Casasayas-Barris, N.; Pallé, E.; Stangret, M.; Morello, G.; Oshagh, M.)  
2021A&A...651A..33C

**HADES RV programme with HARPS-N at TNG. XIV. A candidate super-Earth orbiting the M-dwarf GJ 9689 with a period close to half the stellar rotation period**

Maldonado, J. et al. (incluye a González Hernández, J. I.; Rebolo, R.; Suárez-Mascareño, A.; Toledo-Padrón, B.)  
2021A&A...651A..93M

**KMT-2019-BLG-0371 and the Limits of Bayesian Analysis**

Kim, Yun Hak et al. (incluye a Fukui, Akihiko)  
2021AJ....162...17K

**Machine learning initialization to accelerate Stokes profile inversions**

Gafeira, R.; Orozco Suárez, D.; Milić, I.; Quintero Noda, C.; Ruiz Cobo, B.; Uitenbroek, H.  
2021A&A...651A..31G

**Mapping the Hidden Magnetic Field of the Quiet Sun**

Trelles Arjona, J. C.; Martínez González, M. J.; Ruiz Cobo, B.  
2021ApJ...915L..20T

**Measuring fundamental jet properties with multiwavelength fast timing of the black hole X-ray binary MAXI J1820+070**

Tetarenko, A. J. et al. (incluye a Dhillon, V. S.)  
2021MNRAS.504.3862T

**Mild radial variations of the stellar IMF in the bulge of M31**

La Barbera, F.; Vazdekis, A.; Ferreras, I.; Pasquali, A.  
2021MNRAS.505..415L

**Natural Night Sky Brightness during Solar Minimum**

Alarcon, Miguel R.; Serra-Ricart, Miquel; Lemes-Perera, Samuel; Mallorquín, Manuel  
2021AJ....162...25A

**NEREA (Near Earths and high-Res Exoplanet Atmospheres), a red/near-IR spectrograph concept for the Gran Telescopio Canarias**

Baker, Clark; Palle, Enric; Rasilla, Jose Luis; Lopez, Roberto Lopez; Anglada-Escudé, Guillem; Ribas, Ignasi; Zapatero-Osorio, Maria Rosa; Acosta-Pulido, José A.  
2021JATIS...7c5002B

**Numerical modeling of cosmic rays in the heliosphere: Analysis of proton data from AMS-02 and PAMELA**

Fiandrini, E.; Tomassetti, N.; Bertucci, B.; Donnini, F.; Graziani, M.; Khiali, B.; Reina Conde, A.  
2021PhRvD.104b3012F

**Optical spectral characterization of the gamma-ray blazars S4 0954+65, TXS 1515-273, and RX J0812.0+0237**

Becerra González, J.; Acosta-Pulido, J. A.; Boschin, W.; Clavero, R.; Otero-Santos, J.; Carballo-Bello, J.A.; Domínguez-Palmero, L.  
2021MNRAS.504.5258B

**Origin of stellar prolate rotation in a cosmologically simulated faint dwarf galaxy**

Cardona-Barrero, Salvador; Battaglia, Giuseppina; Di Cintio, Arianna; Revaz, Yves; Jablonka, Pascale  
2021MNRAS.505L.100C

**Properties of a New Group of Cosmic Nuclei: Results from the Alpha Magnetic Spectrometer on Sodium, Aluminum, and Nitrogen**

Aguilar, M. et al. (incluye a García-López, R. J.; Conde, A. Reina; Vázquez Acosta, M.; AMS Collaboration)  
2021PhRvL.127b1101A

**Simultaneous photometric and CARMENES spectroscopic monitoring of fast-rotating M dwarf GJ 3270. Discovery of a post-flare corotating feature**

Johnson, E. N. et al. (incluye a Cardona Guillén, C.; Luque, R.; Béjar, V. J. S.; Fukui, A.; Murgas, F.; Narita, N.; Pallé, E.; Parviainen, H.)  
2021A&A...651A.105J

**Study of the thermal and nonthermal emission components in M 31: the Sardinia Radio Telescope view at 6.6 GHz**

Fatigoni, S. et al. (incluye a Genova-Santos, R.; Guidi, F.; Rebolo, R.; Rubino-Martin, J. A.)  
2021A&A...651A..98F

**Surface Rotation and Photometric Activity for Kepler Targets. II. G and F Mainsequence Stars and Cool Subgiant Stars**

Santos, A. R. G.; Breton, S. N.; Mathur, S.; García, R. A.  
2021ApJS..255...17S

**Testing the Limits of Precise Subgiant Characterization with APOGEE and Gaia: Opening a Window to Unprecedented Astrophysical Studies**

Godoy-Rivera, Diego; Tayar, Jamie; Pinsonneault, Marc H.; Rodríguez Martínez, Romy; Stassun, Keivan G.; van Saders, Jennifer L.; Beaton, Rachael L.; García-Hernández, D. A.; Teske, Johanna K.  
2021ApJ...915...19G

**The complex variability of blazars: time-scales and periodicity analysis in S4 0954+65**

Raiteri, C. M. et al. (incluye a Acosta-Pulido, J. A.; Otero-Santos, J.)  
2021MNRAS.504.5629R

**The dust-gas AGN torus as constrained from X-ray and mid-infrared observations**

Esparza-Arredondo, D.; Gonzalez-Martín, O.; Dultzin, D.; Masegosa, J.; Ramos-Almeida, C.; García-Bernete, I.; Fritz, J.; Osorio-Clavijo, N.  
2021A&A...651A..91E

**The evolution of the UV luminosity and stellar mass functions of Lyman- $\gamma$  Emitters from z 2 to z 6**

Santos, S.; Sobral, D.; Butterworth, J.; Paulino-Afonso, A.; Ribeiro, B.; da Cunha, E.; Calhau, J.; Khostovan, A. A.; Matthee, J.; Arrabal Haro, P.  
2021MNRAS.505.1117S

**The OTELO Survey: The Star Formation Rate Evolution of Low-mass Galaxies**

Cedrés, Bernabé et al. (incluye a Cepa, Jordi; Nadolny, Jakub; González-Otero, Mauro)  
2021ApJ...915L..17C

**The Pristine Inner Galaxy Survey (PIGS) III: carbon-enhanced metal-poor stars in the bulge**

Arentsen, Anke et al. (incluye a González Hernández, Jonay I.)  
2021MNRAS.505.1239A

**The SAMI Galaxy Survey: the third and final data release**

Croom, Scott M. et al. (incluye a Ferreras, Ignacio)  
2021MNRAS.505..991C

**The size function of massive satellites from the Re-Rh and Mstar-Mh relations: constraining the role of environment**

Zanisi, L.; Shankar, F.; Bernardi, M.; Mei, S.; Huertas-Company, M.  
2021MNRAS.505L..84Z

**The spectra of IceCube neutrino candidate sources - I. Optical spectroscopy of blazars**

Paiano, Simona; Falomo, Renato; Treves, Aldo; Padovani, Paolo; Giommi, Paolo; Scarpa, Riccardo  
2021MNRAS.504.3338P

**The X-SHOOTER Lyman  $\gamma$  survey at  $z = 2$  (XLS-z2) I: what makes a galaxy a Lyman  $\gamma$  emitter?**

Matthee, Jorryt et al. (incluye a Calhau, João)  
2021MNRAS.505.1382M

**X-ray binary accretion states in active galactic nuclei? Sensing the accretion disc of supermassive black holes with mid-infrared nebular lines**

Fernández-Ontiveros, Juan A.; Muñoz-Darias, Teo  
2021MNRAS.504.5726F

**Zero-metallicity Hypernova Uncovered by an Ultra-metal-poor Star in the Sculptor Dwarf Spheroidal Galaxy**

Sk ladottir,  sa et al. (incluye a Battaglia, Giuseppina)  
2021ApJ...915L..30S

**A calibration of the Rossby number from asteroseismology**

Corsaro, E.; Bonanno, A.; Mathur, S.; García, R. A.; Santos, A. R. G.; Breton, S. N.; Khalatyan, A.  
2021A&A...652L...2C

**A massive open cluster hiding in full sight**

Negueruela, I.; Chen , A. -N.; Tabernero, H. M.; Dorda, R.; Borissova, J.; Marco, A.; Kurtev, R.  
2021MNRAS.505.1618N

**A Study of the Photometric and Spectroscopic Variations of the Prototypical FU Orionis-type Star V1057 Cyg**

Szabó, Zs. M. et al. (incluye a Acosta-Pulido, J. A.)  
2021ApJ...917...80S

**An extension of the MILES library with derived  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ , and  $[\alpha/\text{Fe}]$** 

García Pérez, A. E.; Sánchez-Bl zquez, P.; Vazdekis, A.; Allende Prieto, C.; Milone, A. de C.; Sansom, A. E.; Gorgas, J.; Falcón-Barroso, J.; Martín Navarro, I.; Cacho, R.  
2021MNRAS.505.4496G

**Assessing tension metrics with dark energy survey and Planck data**

Lemos, P. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.505.6179L

**Bennu's global surface and two candidate sample sites characterized by spectral clustering of OSIRIS-REx multispectral images**

Rizos, J. L. et al. (incluye a de León, J.; Licandro, J.; Tatsumi, E.)  
2021Icar..36414467R

**Brightness Fluctuation Spectra of Sun-like Stars. I. The Mid-frequency Continuum**

Brown, Timothy M.; García, Rafael A.; Mathur, Savita; Metcalfe, Travis S.; Santos,  ngela R. G.  
2021ApJ...916...66B

**CAPOS: The bulge Cluster APOgee Survey. I. Overview and initial ASPCAP results**

Geisler, D. et al. (incluye a García-Hernández, D. A.)  
2021A&A...652A.157G

**COALAS. I. ATCA CO(1-0) survey and luminosity function in the Spiderweb protocluster at  $z = 2.16$** 

Jin, S. et al. (incluye a Dannerbauer, H.; Rodríguez-Espinosa, J. M.)  
2021A&A...652A..11J

**Constraining the solar neighbourhood age-metallicity relation from white dwarf-main sequence binaries**

Rebassa-Mansergas, A. et al. (incluye a Castro-Rodríguez, N.)  
2021MNRAS.505.3165R

**Dark Energy Survey Year 3 results: Curved-sky weak lensing mass map reconstruction**

Jeffrey, N. et al. (incluye a Kovacs, A.; Carnero Rosell, A.)  
 2021MNRAS.505.4626J

**Dark Energy Survey Year 3 results: redshift calibration of the weak lensing source galaxies**

Myles, J. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
 2021MNRAS.505.4249M

**Diagnostic capabilities of spectropolarimetric observations for understanding solar phenomena. I. Zeeman-sensitive photospheric lines**

Quintero Noda, C.; Barklem, P. S.; Gafeira, R.; Ruiz Cobo, B.; Collados, M.; Carlsson, M.; Martínez Pillet, V.; Orozco Suárez, D.; Uitenbroek, H.; Katsukawa, Y.  
 2021A&A...652A.161Q

**Discovery of a young low-mass brown dwarf transiting a fast-rotating F-type star by the Galactic Plane eXoplanet (GPX) survey**

Benni, P. et al. (incluye a Burdanov, A. Y.)  
 2021MNRAS.505.4956B

**Early science with the Large Millimeter Telescope: a 1.1 mm AzTEC survey of red-Herschel dusty star-forming galaxies**

Montaña, A. et al. (incluye a Dannerbauer, H.)  
 2021MNRAS.505.5260M

**East or Easter? keys to the orientation of Romanesque churches along the way of Saint James**

Urrutia-Aparicio, Maitane; González-García, A. César; Belmonte, Juan Antonio  
 10.1177/00218286211026209

**Exploring the Sun's upper atmosphere with neural networks: Reversed patterns and the hot wall effect**

Socas-Navarro, H.; Asensio Ramos, A.  
 2021A&A...652A..78S

**Gaia Early Data Release 3. Gaia photometric science alerts**

Hodgkin, S. T. et al. (incluye a Dhillon, V. S.)  
 2021A&A...652A..76H

**Geologic History and Crater Morphology of Asteroid (162173) Ryugu**

Cho, Y. et al. (incluye a Tatsumi, E.)  
 2021JGRE..12606572C

**History of the gas fuelling star formation in EAGLE galaxies**

Scholz-Díaz, Laura; Sánchez Almeida, Jorge; Dalla Vecchia, Claudio  
 2021MNRAS.505.4655S

**Homogeneous analysis of globular clusters from the APOGEE survey with the BACCHUS code ? III. ? Cen**

Mészáros, Szabolcs et al. (incluye a Masseron, Thomas; García-Hernández, D. A.; Zamora, Olga)  
 2021MNRAS.505.1645M

**Hot planets around cool stars - two short-period mini-Neptunes transiting the late Kdwarf TOI-1260**

Georgieva, I. Y. et al. (incluye a Nowak, G.; Palle, E.; Luque, R.; Deeg, H. J.)  
 2021MNRAS.505.4684G

**Implications of new evidence for lepton-universality violation in  $b \rightarrow s \ell^+ \ell^-$  decays**

Geng, Li-Sheng; Grinstein, Benjamín; Jäger, Sebastian; Li, Shuang-Yi; Martin Camalich, Jorge; Shi, Rui-Xiang  
 2021PhRvD.104c5029G

**Internal rotation of Milky Way dwarf spheroidal satellites with Gaia Early Data Release 3**

Martínez-García, Alberto Manuel; del Pino, Andrés; Aparicio, Antonio; van der Marel, Roeland P.; Watkins, Laura L.  
 2021MNRAS.505.5884M

**Light-curve classification with recurrent neural networks for GOTO: dealing with imbalanced data**

Burhanudin, U. F. et al. (incluye a Dhillon, V.; Pallé, E.)  
 2021MNRAS.505.4345B

**Magnetic imaging of the outer solar atmosphere (MImOSA)**

Peter, H. et al. (incluye a del Pino Alemán, T.; Trujillo Bueno, J.)  
 2021ExA...tmp...95P

**MOA-2006-BLG-074: Recognizing Xallarap Contaminants in Planetary Microlensing**

Rota, P. et al. (incluye a Fukui, A.)  
 2021AJ....162...59R

**MOA-2007-BLG-400 A Super-Jupiter-mass Planet Orbiting a Galactic Bulge K-dwarf**

Revealed by Keck Adaptive Optics Imaging  
 Bhattacharya, Aparna et al. (incluye a Fukui, Akihiko)  
 2021AJ....162...60B



**Naked emergence of an anti-Hale active region. I. Overall evolution and magnetic properties**

Wang, Jincheng; Yan, Xiaoli; Kong, Defang; Xue, Zhike; Yang, Liheng; Li, Qiaoling; Zhang, Yan; Li, Hao  
2021A&A...652A..55W

**Occulter to earth: prospects for studying earth-like planets with the E-ELT and a spacebased occulter**

Janson, Markus; Henning, Thomas; Quanz, Sascha P.; Asensio-Torres, Ruben; Buchhave, Lars; Krause, Oliver; Palle, Enric; Brandeker, Alexis  
2021ExA...tmp..107J

**OGLE-2018-BLG-1185b: A Low-mass Microlensing Planet Orbiting a Low-mass Dwarf**

Kondo, Iona et al. (incluye a Fukui, A.)  
2021AJ....162...77K

**Performance of solar far-side active region neural detection**

Broock, E. G.; Felipe, T.; Asensio Ramos, A.  
2021A&A...652A.132B

**Regional Photometric Modeling of Asteroid (101955) Bennu**

Golish, D. R. et al. (incluye a Rizos, J. L.)  
2021PSJ.....2..124G

**Relation of internal attenuation, dust emission, and the size of spiral galaxies. Calibration at low-z and how to use it as a cosmological test at high-z**

López-Corredoira, M.; Gutiérrez, C. M.  
2021A&A...652A..83L

**Solving the Paradox of the Solar Sodium D1 Line Polarization**

Alsina Ballester, Ernest; Belluzzi, Luca; Trujillo Bueno, Javier  
2021PhRvL.127h1101A

**The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs. Mapping stellar activity indicators across the M dwarf domain**

Lafarga, M. et al. (incluye a Béjar, V. J. S.; Oshagh, M.)  
2021A&A...652A..28L

**The centres of M83 and the Milky Way: opposite extremes of a common star formation cycle**

Callanan, Daniel et al. (incluye a Knapen, Johan H.)  
2021MNRAS.505.4310C

**The Dark Energy Survey Data Release 2**

Abbott, T. M. C. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021ApJS..255...20A

**The Dark Energy Survey supernova programme: modelling selection efficiency and observed core-collapse supernova contamination**

Vincenzi, M. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.505.2819V

**The evolution of compact massive quiescent and star-forming galaxies derived from the Re-Rh and Mstar-Mh relations**

Zanisi, L. et al. (incluye a Huertas-Company, M.)  
2021MNRAS.505.4555Z

**The evolution of rapid optical/X-ray timing correlations in the initial hard state of MAXI J1820+070**

Paice, J. A. et al. (incluye a Shahbaz, T.; Dhillon, V. S.)  
2021MNRAS.505.3452P

**The Fornax 3D project: PNe populations and stellar metallicity in edge-on galaxies**

Galán-de Anta, P. M. et al. (incluye a Martín-Navarro, I.; Falcón-Barroso, J.)  
2021A&A...652A.109G

**The Galaxy Activity, Torus, and Outflow Survey (GATOS). I. ALMA images of dusty molecular tori in Seyfert galaxies**

García-Burillo, S. et al. (incluye a Ramos Almeida, C.; García-Lorenzo, B.)  
2021A&A...652A..98G

**The Galaxy Activity, Torus, and Outflow Survey (GATOS). II. Torus and polar dust emission in nearby Seyfert galaxies**

Alonso-Herrero, A. et al. (incluye a Ramos Almeida, C.; García-Lorenzo, B.)  
2021A&A...652A..99A

**The large scale polarization explorer (LSPE) for CMB measurements: performance forecast**

Addamo, G. et al. (incluye a Genova-Santos, R.; López-Caraballo, C. H.; Perez-de-Taoro, M.; Rubino-Martin, J. A.)  
2021JCAP...08..008A

**TIC 454140642: A Compact, Coplanar, Quadruple-lined Quadruple Star System Consisting of Two Eclipsing Binaries**

Kostov, Veselin B. et al. (incluye a Murgas, Felipe; Palle, Enric)  
2021ApJ...917...93K

**TOI-1634 b: An Ultra-short-period Keystone Planet Sitting inside the M-dwarf Radius Valley Cloutier**

Ryan et al. (incluye a Murgas, Felipe; Parviainen, Hannu; Palte, Enric; Narita, Norio; Fukui, Akihiko; Boschin, Walter)  
2021AJ....162...79C

**TOI-2076 and TOI-1807: Two Young, Comoving Planetary Systems within 50 pc Identified by TESS that are Ideal Candidates for Further Follow Up**

Hedges, Christina et al. (incluye a Narita, N.; Fukui, A.; Murgas, F.; Palte, Enric)  
2021AJ....162...54H

**TOI-220 b: a warm sub-Neptune discovered by TESS**

Hoyer, S. et al. (incluye a Deeg, H.; Luque, R.; Pallé, E.)  
2021MNRAS.505.3361H

**Tracing satellite planes in the Sculptor group. I. Discovery of three faint dwarf galaxies around NGC 253**

Martínez-Delgado, David; Makarov, Dmitry; Javanmardi, Behnam; Pawlowski, Marcel S.; Makarova, Lidia; Donatiello, Giuseppe; Lang, Dustin; Román, Javier; Vivas, Kathy; Carballo-Bello, Julio A.  
2021A&A...652A..48M

**Understanding the extreme luminosity of DES14X2fna**

Grayling, M. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.505.3950G

**A Disk and No Signatures of Tidal Distortion in the Galaxy “Lacking” Dark Matter NGC 1052-DF2**

Montes, Mireia; Trujillo, Ignacio; Infante-Sainz, Raúl; Monelli, Matteo; Borlaff, Alejandro S.  
2021ApJ...919...56M

**A large sub-Neptune transiting the thick-disk M4 V TOI-2406**

Wells, R. D. et al. (incluye a Chinchilla, P.)  
2021A&A...653A..97W

**A Shallow Dark Matter Halo in Ultra-diffuse Galaxy AGC 242019: Are UDGs Structurally Similar to Low-surface-brightness Galaxies?**

Brook, Chris B.; Di Cintio, Arianna; Macciò, Andrea V.; Blank, Marvin  
2021ApJ...919L...1B

**AGB Stars and Their Circumstellar Envelopes: An Operative Approach to Computing Their Atmospheres**

Crivellari, Lucio; Cristallo, Sergio; Piersanti, Luciano  
2021Univ....7..340C

**Atmospheric characterization of terrestrial exoplanets in the mid-infrared: biosignatures, habitability, and diversity**

Quanz, Sascha P. et al. (incluye a Pallé, Enric)  
2021ExA...tmp..118Q

**Catalog of Long-term Transient Sources in the First 10 yr of Fermi-LAT Data**

Baldini, L. et al. (incluye a Becerra Gonzalez, J.)  
2021ApJS..256...13B

**CHEOPS precision phase curve of the Super-Earth 55 Cancri e**

Morris, B. M. et al. (incluye a Oshagh, M.; Alonso, R.; Pallé, E.)  
2021A&A...653A.173M

**Development of image texture analysis technique for boulder distribution measurements: Applications to asteroids Ryugu and Itokawa**

Tanabe, Naoya et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021P&SS..20405249T

**Dust environment of active asteroids P/2019 A4 (PANSTARRS) and P/2021 A5 (PANSTARRS)**

Moreno, Fernando; Licandro, Javier; Cabrera-Lavers, Antonio; Morate, David; Guirado, Daniel  
2021MNRAS.506.1733M

**Dust in the central parsecs of unobscured AGN: more challenges to the torus**

Prieto, M. Almudena; Nadolny, Jakub; Fernández-Ontiveros, Juan A.; Mezcuca, Mar  
2021MNRAS.506..562P

**Dynamical confirmation of a stellar mass black hole in the transient X-ray dipping binary MAXI J1305-704**

Mata Sánchez, D.; Rau, A.; Álvarez Hernández, A.; van Grunsven, T. F. J.; Torres, M. A. P.; Jonker, P. G.  
2021MNRAS.506..581M

**Earth’s Albedo 1998-2017 as Measured From Earthshine**

Goode, P. R.; Pallé, E.; Shoumko, A.; Shoumko, S.; Montañes-Rodriguez, P.; Koonin, S. E.  
2021GeoRL..4894888G

**Electron temperature fluctuations in Seyfert galaxies**

Riffel, Rogemar A.; Dors, Oli L.; Krabbe, Angela C.; Esteban, César  
2021MNRAS.506L..11R

**Euclid Preparation. XIV. The Complete Calibration of the Color-Redshift Relation (C3R2) Survey: Data Release 3**

Stanford, S. A. et al. (incluye a Balaguera-Antolínez, A.; Colodro-Conde, C.)  
2021ApJS..256....9S

**Euclid: Estimation of the Impact of Correlated Readout Noise for Flux Measurements with the Euclid NISP Instrument**

Jiménez Muñoz, A. et al. (incluye a Rebolo, R.)  
2021PASP..133i4502J

**Exploiting timing capabilities of the CHEOPS mission with warm-Jupiter planets**

Borsato, L. et al. (incluye a Alonso, R.; Pallé, E.)  
2021MNRAS.506.3810B

**Extending the evolution of the stellar mass-size relation at  $z \approx 2$  to low stellar mass galaxies from HFF and CANDELS**

Nedkova, Kalina V. et al. (incluye a Huertas-Company, Marc)  
2021MNRAS.506..928N

**Gaia Early Data Release 3. Updated radial velocities from Gaia DR2**

Seabroke, G. M. et al. (incluye a Allende Prieto, C.)  
2021A&A...653A.160S

**HST grism spectroscopy of  $z \approx 3$  massive quiescent galaxies. Approaching the metamorphosis**

D'Eugenio, C.; Daddi, E.; Gobat, R.; Strazzullo, V.; Lustig, P.; Delvecchio, I.; Jin, S.; Cimatti, A.; Onodera, M.  
2021A&A...653A..32D

**Into the storm: diving into the winds of the ultra-hot Jupiter WASP-76 b with HARPS and ESPRESSO**

Seidel, J. V. et al. (incluye a Casasayas-Barris, N.; González Hernández, J. I.; Pallé, E.)  
2021A&A...653A..73S

**Limitations of the Ca II 8542 Å Line for the Determination of Magnetic Field Oscillations**

Felipe, Tobias; Socas Navarro, Hector; Sangeetha, C. R.; Milic, Ivan  
2021ApJ...918...47F

**Local variations of the Stellar Velocity Ellipsoid-I: the disc of galaxies in the Auriga simulations**

Walo-Martín, Daniel; Pérez, Isabel; Grand, Robert J. J.; Falcón-Barroso, Jesús; Pinna, Francesca; Martig, Marie  
2021MNRAS.506.1801W

**MaNGA galaxies with off-centered spots of enhanced gas velocity dispersion**

Pilyugin, L. S. et al. (incluye a Cedrés, B.; Nadolny, J.; González-Otero, M.; Navarro Martínez, R.)  
2021A&A...653A..11P

**Measurements of the Dust Properties in  $z \approx 1-3$  Submillimeter Galaxies with ALMA**

da Cunha, E. et al. (incluye a Dannerbauer, H.)  
2021ApJ...919...30D

**Microlensing of the broad emission lines in 27 gravitationally lensed quasars. Broad line region structure and kinematics**

Fian, C.; Mediavilla, E.; Motta, V.; Jiménez-Vicente, J.; Muñoz, J. A.; Chelouche, D.; Hanslmeier, A.  
2021A&A...653A.109F

**Multiple Stokes I inversions for inferring magnetic fields in the spectral range around Cr I 5782 Å**

Kuckein, C. et al. (incluye a Quintero Noda, C.; Trelles Arjona, J. C.; Ruiz Cobo, B.; Felipe, T.)  
2021A&A...653A.165K

**New giant planet beyond the snow line for an extended MOA exoplanet microlens sample**

Ranc, Clément et al. (incluye a Fukui, Akihiko)  
2021MNRAS.506.1498R

**Newly formed downflow lanes in exploding granules in the solar photosphere**

Ellwarth, M.; Fischer, C. E.; Vitas, N.; Schimiz, S.; Schmidt, W.  
2021A&A...653A..96E

**On the (Mis)Interpretation of the Scattering Polarization Signatures in the Ca II 8542 Å Line through Spectral Line Inversions**

Centeno, Rebecca; de la Cruz Rodríguez, Jaime; del Pino Alemán, Tanausú  
2021ApJ...918...15C

**Pericentric passage-driven star formation in satellite galaxies and their hosts: CLUES**

from local group simulations  
Di Cintio, Arianna; Mostoghiu, Robert; Knebe, Alexander; Navarro, Julio F.  
2021MNRAS.506..531D

**Photoionized Herbig-Haro Objects in the Orion Nebula through Deep High Spectral Resolution Spectroscopy. II. HH 204**

Méndez-Delgado, J. E.; Henney, W. J.; Esteban, C.; García-Rojas, J.; Mesa-Delgado, A.; Arellano-Córdova, K. Z.  
2021ApJ...918...27M

**Preparing for LSST data. Estimating the physical properties of  $z < 2.5$  main-sequence galaxies**

Riccio, G. et al. (incluye a Shirley, R.)  
2021A&A...653A.107R

**Pushing automated morphological classifications to their limits with the Dark EnergySurvey**

Vega-Ferrero, J. et al. (incluye a Huertas-Company, M.; Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.506.1927V

**Rates and delay times of Type Ia supernovae in the Dark Energy Survey**

Wiseman, P. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.506.3330W

**Resurfacing processes on asteroid (162173) Ryugu caused by an artificial impact of Hayabusa2's Small Carry-on Impactor**

Honda, Rie et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021Icar..36614530H

**Symbiotic Stars in the Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment Survey: The Case of LIN 358 and SMC N73 (LIN 445a)**

Washington, Jasmin E. et al. (incluye a Allende Prieto, Carlos; García-Hernández, D. A.)  
2021ApJ...918...19W

**The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs. Planet occurrence rates from a subsample of 71 stars**

Sabotta, S. et al. (incluye a Pallé, E.)  
2021A&A...653A.114S

**The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs. Spectroscopic orbits of nine M-dwarf multiple systems, including two triples, two brown dwarf candidates, and one close M-dwarf-white dwarf binary**

Baroch, D. et al. (incluye a Béjar, V. J. S.; Cardona Guillén, C.; Lodieu, N.; Pallé, E.)  
2021A&A...653A..49B

**The EBLM project - VIII. First results for M-dwarf mass, radius, and effective temperature measurements using CHEOPS light curves**

Swayne, M. I. et al. (incluye a Alonso, R.; Pallé, E.)  
2021MNRAS.506..306S

**The Einstein Ring GAL-CLUS-022058s: a Lensed Ultrabright Submillimeter Galaxy at  $z = 1.4796$**

Díaz-Sánchez, A.; Dannerbauer, H.; Sulzenauer, N.; Iglesias-Groth, S.; Rebolo, R.  
2021ApJ...919...48D

**The Fornax3D project: Planetary nebulae catalogue and independent distance measurements to Fornax cluster galaxies**

Spriggs, T. W. et al. (incluye a Falcón-Barroso, J.; Martín-Navarro, I.)  
2021A&A...653A.167S

**The GAPS Programme at TNG. XXXI. The WASP-33 system revisited with HARPS-N**

Borsa, F. et al. (incluye a Boschin, W.)  
2021A&A...653A.104B

**The lens SW05 J143454.4+522850: a fossil group at redshift 0.6?**

Denzel, Philipp et al. (incluye a Ferreras, Ignacio)  
2021MNRAS.506.1715D

**The miniJPAS survey: A preview of the Universe in 56 colors**

Bonoli, S. et al. (incluye a Cepa, J.; Balaguera-Antolínez, A.; Kitaura, F. S.; Huertas-Company, M.; Rodríguez-Espinosa, J. M.)  
2021A&A...653A..31B

**The Missing Link? Discovery of Pulsations in the Nitrogen-rich PG 1159 Star PG 1144+005**

Sowicka, Paulina; Handler, Gerald; Jones, David; van Wyk, Francois  
2021ApJ...918L...1S

**The MURALES survey. IV. Searching for nuclear outflows in 3C radio galaxies at  $z < 0.3$  with MUSE observations**

Speranza, G. et al.  
2021A&A...653A.150S

**The OTELO survey. Revealing a population of low-luminosity active star-forming galaxies at  $z \sim 0.9$**

Navarro Martínez, Rocío et al. (incluye a Nadolny, Jakub; Cedrés, Bernabé; Cepa, Jordi; de Diego, José A.; González-Otero, Mauro)  
2021A&A...653A..24N

**The Pristine survey - XII. Gemini-GRACES chemo-dynamical study of newly discovered extremely metal-poor stars in the Galaxy**

Kielty, Collin L. et al. (incluye a González Hernández, Jonay I.)  
2021MNRAS.506.1438K

**The ultraviolet luminosity function of star-forming galaxies between redshifts of 0.6 and 1.2**

Page, M. J. et al. (incluye a Ferreras, I.)  
2021MNRAS.506..473P

**TOI-674b: An oasis in the desert of exo-Neptunes transiting a nearby M dwarf**

Murgas, F. et al. (incluye a Orell-Miquel, J.; Morello, G.)  
2021A&A...653A..60M

**Understanding the Angular Momentum Evolution of T Tauri and Herbig Ae/Be Stars**

Pinzón, Giovanni et al. (incluye a Osorio, Yeisson)  
2021AJ....162...90P

**Warm terrestrial planet with half the mass of Venus transiting a nearby star**

Demangeon, O. D. S. et al. (incluye a Suárez Mascareño, A.; Oshagh, M.; Rebolo, R.; Allende Prieto, C.; Génova Santos, R.; González Hernández, J. I.; Pallé, E.)  
2021A&A...653A..41D

**Wavelength Dependence of Activity-induced Photometric Variations for Young Cool**

Stars in Hyades  
Miyakawa, Kohei; Hirano, Teruyuki; Fukui, Akihiko; Mann, Andrew W.; Gaidos, Eric; Sato, Bun'ei  
2021AJ....162..104M

**A compositional link between rocky exoplanets and their host stars**

Adibekyan, Vardan et al. (incluye a Israelian, Garik; Oshagh, Mahmoudreza)  
2021Sci...374..330A

**A feather on the hat: tracing the giant stellar stream around the Sombrero galaxy**

Martínez-Delgado, David; Román, Javier; Erkal, Denis; Schirmer, Mischa; Roca-Fàbrega, Santi; Laine, Seppo; Donatiello, Giuseppe; Jimenez, Manuel; Malin, David; Carballo-Bello, Julio A.  
2021MNRAS.506.5030M

**A geometric distance to the supermassive black Hole of NGC 3783**

Gravity Collaboration et al. (incluye a Prieto, M. A.)  
2021A&A...654A..85G

**A time-series VI study of the variable stars of the globular cluster NGC 6397**

Ahumada, J. A.; Arellano Ferro, A.; Bustos Fierro, I. H.; Lázaro, C.; Yezpez, M. A.; Schröder, K. P.; Calderón, J.H.  
2021NewA...8801607A

**A young spectroscopic binary in a quintuple system part of the Local Association**

Cardona Guillén, Carlos et al. (incluye a Lodieu, Nicolas; Béjar, Víctor J. S.; Murgas, Felipe)  
2021A&A...654A.134C

**Binary central stars of planetary nebulae identified with Kepler/K2**

Jacoby, George H.; Hillwig, Todd C.; Jones, David; Martin, Kayla; De Marco, Orsola; Kronberger, Matthias; Hurowitz, Jonathan L.; Crocker, Alison F.; Dey, Josh  
2021MNRAS.506.5223J

**Canarian Observatories Meteorology; Comparison of OT and ORM using Regional Climate Reanalysis**

Hidalgo, Sebastian L.; Muñoz-Tuñón, Casiana; Castro-Almazán, Julio A.; Varela, Antonia M.  
2021PASP..133j5002H

**Capturing dual AGN activity and kiloparsec-scale outflows in IRAS 20210+1121**

Saturni, F. G. et al. (incluye a Ramos Almeida, C.)  
2021A&A...654A.154S

**CARMENES detection of the Ca II infrared triplet and possible evidence of He I in the atmosphere of WASP-76b**

Casasayas-Barris, N. et al. (incluye a Orell-Miquel, J.; Stangret, M.; Oshagh, M.; Pallé, E.; Luque, R.; Morello, G.)  
2021A&A...654A.163C

**Constraining the magnetic vector in the quiet solar photosphere and the impact of instrumental degradation**

Campbell, R. J.; Shelyag, S.; Quintero Noda, C.; Mathioudakis, M.; Keys, P. H.; Reid, A.  
2021A&A...654A..71C

**Detecting life outside our solar system with a large high-contrast-imaging mission**

Snellen, Ignas A. G. et al. (incluye a Pallé, E.)  
2021ExA...tmp..124S



**Effect of momentum and heat losses on the hydrodynamic instability of a premixed equidiffusive flame in a Hele-Shaw cell**

Han, Yifan; Modestov, Mikhail; Valiev, Damir M.  
2021PhFl...33j3608H

**Euclid: Constraining dark energy coupled to electromagnetism using astrophysical and laboratory data**

Martinelli, M. et al. (incluye a Rebolo, R.)  
2021A&A...654A.148M

**Evidence of the multi-thermal nature of spicular downflows. Impact on solar atmospheric heating**

Bose, Souvik; Rouppevan der Voort, Luc; Joshi, Jayant; Henriques, Vasco M. J.; Nóbrega-Siverio, Daniel; Martínez-Sykora, Juan; De Pontieu, Bart  
2021A&A...654A..51B

**First detection of VHE gamma-ray emission from TXS 1515-273, study of its X-ray variability and spectral energy distribution**

Acciari, V. A. et al. (incluye a Becerra González, J.; Colombo, E.; García López, R. J.; Herrera, J.; Karjalainen, M.; López-Oramas, A.; Otero-Santos, J.; Vanzo, G.; Vazquez Acosta, M.)  
2021MNRAS.507.1528A

**Fornax 3D project: Assessing the diversity of IMF and stellar population maps within the Fornax Cluster**

Martín-Navarro, I. et al.  
2021A&A...654A..59M

**Giant white-light flares on fully convective stars occur at high latitudes**

Ilin, Ekaterina; Poppenhaeger, Katja; Schmidt, Sarah J.; Järvinen, Silva P.; Newton, Elisabeth R.; Alvarado-Gómez, Julián D.; Pineda, J. Sebastian; Davenport, James R. A.; Oshagh, Mahmoudreza; Ilyin, Ilya  
2021MNRAS.507.1723I

**HD 22496 b: The first ESPRESSO stand-alone planet discovery**

Lillo-Box, J. et al. (incluye a Suárez Mascareño, A.; González Hernández, J. I.; Rebolo, R.; Allende Prieto, C.; Pallé, E.)  
2021A&A...654A..60L

**HiPERCAM: a quintuple-beam, high-speed optical imager on the 10.4-m Gran Telescopio Canarias**

Dhillon, V. S. et al. (incluye a Casares, J.; Muñoz-Darias, T.; Pallé, E.; Rodríguez-Gil, P.; Shahbaz, T.; Torres, M. A. P.; Cabrera-Lavers, A.; Corradi, R. L. M.; Domínguez, R. D.; García-Alvarez, D.)  
2021MNRAS.507..350D

**Introducing the LBT Imaging of Galactic Halos and Tidal Structures (LIGHTS) survey. A preview of the low surface brightness Universe to be unveiled by LSST**

Trujillo, Ignacio et al. (incluye a Madrigal-Aguado, Alberto; Akhlaghi, Mohammad; Infante-Sainz, Raúl; Román, Javier)  
2021A&A...654A..40T

**J-PLUS: Systematic impact of metallicity on photometric calibration with the stellar locus**

López-Sanjuan, C. et al. (incluye a Hernández-Monteagudo, C.)  
2021A&A...654A..61L

**Large-amplitude longitudinal oscillations in solar prominences simulated with different resolutions**

Liakh, V.; Luna, M.; Khomenko, E.  
2021A&A...654A.145L

**Masses and compositions of three small planets orbiting the nearby M dwarf L231-32**

(TOI-270) and the M dwarf radius valley  
Van Eylen, V. et al. (incluye a Luque, R.; Nowak, G.; Pallé, E.; Mathur, S.; Murgas, F.; Suárez Mascareño, A.)  
2021MNRAS.507.2154V

**Molecular gas and star formation within 12 strong galactic bars observed with IRAM-30 m**

Díaz-García, S. et al.  
2021A&A...654A.135D

**Multiwavelength observations reveal a faint candidate black hole X-ray binary in IGR J17285-2922**

Stoop, M. et al. (incluye a Jiménez-Ibarra, F.; Muñoz-Darias, T.; Armas Padilla, M.)  
2021MNRAS.507..330S

**On the Use of Field RR Lyrae As Galactic Probes: IV. New Insights Into and Around the Oosterhoff Dichotomy**

Fabrizio, M. et al. (incluye a Monelli, M.)  
2021ApJ...919..118F

**On the Use of Field RR Lyrae as Galactic Probes. V. Optical and Radial Velocity Curve Templates**

Braga, V. F. et al. (incluye a Monelli, M.)  
2021ApJ...919...85B

**Opposition Observations of 162173 Ryugu: Normal Albedo Map Highlights Variations in Regolith Characteristics**

Yokota, Yasuhiro et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021PSJ.....2..177Y

**Optical photometry of two transitional millisecond pulsars in the radio pulsar state**

Stringer, J. G.; Breton, R. P.; Clark, C. J.; Voisin, G.; Kennedy, M. R.; Mata Sánchez, D.; Shahbaz, T.; Dhillon, V. S.; van Kerkwijk, M.; Marsh, T. R.  
2021MNRAS.507.2174S

**Polarization of the Ly $\gamma$  Lines of H I and He II as a Tool for Exploring the Solar Corona**

Hebbur Dayananda, Supriya; Trujillo Bueno, Javier; de Vicente, Ángel; del Pino Alemán, Tanausú  
2021ApJ...920..140H

**Properties of slowly rotating asteroids from the Convex Inversion Thermophysical Model**

Marciniak, A. et al. (incluye a Geier, S.; Medeiros, H.; Nadolny, J.; Sanabria, J. J.)  
2021A&A...654A..87M

**Radio spectral properties of star-forming galaxies in the MIGHTEE-COSMOS field and their impact on the far-infrared-radio correlation**

An, Fangxia et al. (incluye a Jin, S.)  
2021MNRAS.507.2643A

**Ready for EURONEAR NEA surveys using the NEARBY moving source detection platform**

Vaduvescu, O. et al.  
2021NewA...8801600V

**Rejuvenation triggers nuclear activity in nearby galaxies**

Martín-Navarro, Ignacio; Shankar, Francesco; Mezcuca, Mar  
2021MNRAS.tmpL..99M

**Resolving the Circumstellar Environment of the Galactic B[e] Supergiant Star MWC 137.II. Nebular Kinematics and Stellar Variability**

Kraus, Michaela; Liimets, Tiina; Moiseev, Alexei; Sánchez Arias, Julieta P.; Nickeler, Dieter H.; Cidale, Lydia S.; Jones, David  
2021AJ....162..150K

**Revealing the structure of the lensed quasar Q 0957+561. I. Accretion disk size**

Fian, C.; Mediavilla, E.; Jiménez-Vicente, J.; Motta, V.; Muñoz, J. A.; Chelouche, D.; Gómez-Alvarez, P.; Rojas, K.; Hanslmeier, A.  
2021A&A...654A..70F

**Scintillation effects and the optimal sequence of deformable mirrors in multiconjugate**

adaptive optics

Marcos A. van Dam, M. A.; Femenia-Castella, B.; Martín-Hernando, Y.; Núñez Cagigal, M.; Montoya, L.; Dirk Schmidt, D.,  
10.1117/1.JATIS.7.4.049002

**Spectrally blue hydrated parent body of asteroid (162173) Ryugu**

Tatsumi, Eri et al. (incluye a de León, Julia; Rzos, Juan Luis; Licandro, Javier)  
2021NatCo..12.5837T

**Spectrophotometric Properties of 162173 Ryugu's Surface from the NIRS3 Opposition Observations**

Domingue, Deborah et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021PSJ.....2..178D

**Star Formation Histories of Ultra-faint Dwarf Galaxies: Environmental Differences between Magellanic and Non-Magellanic Satellites?**

Sacchi, Elena et al. (incluye a Fritz, Tobias)  
2021ApJ...920L..19S

**Surface brightness fluctuations to constrain secondary stellar populations: revealing**

very low-metallicity stars in massive galaxies  
Rodríguez-Beltrán, P.; Vazdekis, A.; Cerviño, M.; Beasley, M. A.  
2021MNRAS.507.3005R

**Systematic KMTNet Planetary Anomaly Search. I. OGLE-2019-BLG-1053Lb, a Buried Terrestrial Planet**

Zang, Weicheng et al. (incluye a Fukui, Akihiko)  
2021AJ....162..163Z

**The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs. Not-so-fine hyperfine-split vanadium lines in cool star spectra**

Shan, Y. et al. (incluye a Béjar, V. J. S.; Pallé, E.)  
2021A&A...654A.118S

**The changing face of AU Mic b: stellar spots, spin-orbit commensurability, and transit timing variations as seen by CHEOPS and TESS**

Szabó, Gy. M. et al. (incluye a Alonso, R.; Pallé, E.)  
2021A&A...654A.159S

**The diffuse interstellar band around 8620 Å. II. Kinematics and distance of the DIB carrier**

Zhao, H.; Schultheis, M.; Rojas-Arriagada, A.; Recio-Blanco, A.; de Laverny, P.; Kordopatis, G.; Surot, F.  
2021A&A...654A.116Z

**The effect of active galactic nuclei on the cold interstellar medium in distant starforming galaxies**

Valentino, F. et al. (incluye a Jin, S.)  
2021A&A...654A.165V

**The EURONEAR Lightcurve Survey of Near Earth Asteroids? Teide Observatory, Tenerife, 2015**

Vaduvescu, O.; Cornea, R.; Macias, A. Aznar; Sonka, A.; Predatu, M.; Serra-Ricart, M.  
2021EM&P..125....3V

**The HARPS search for southern extra-solar planets. XLVI. 12 super-Earths around the solar type stars HD 39194, HD 93385, HD 96700, HD 154088, and HD 189567**

Unger, N. et al. (incluye a Alonso, R.)  
2021A&A...654A.104U

**The Large Early Galaxy Astrophysics Census (LEGA-C) Data Release 3: 3000 Highquality Spectra of Ks-selected Galaxies at  $z > 0.6$**

van der Wel, Arjen et al. (incluye a Calhau, Joao)  
2021ApJS..256...44V

**The Magellan-TESS Survey. I. Survey Description and Midsurvey Results**

Teske, Johanna et al. (incluye a Narita, Norio)  
2021ApJS..256...33T

**The Mass-Metallicity Relation at  $z$  1-2 and Its Dependence on the Star Formation Rate**

Henry, Alaina et al. (incluye a Sánchez Almeida, Jorge)  
2021ApJ...919..143H

**The miniJPAS survey: Photometric redshift catalogue**

Hernán-Caballero, A. et al. (incluye a Hernández-Monteaigudo, C.)  
2021A&A...654A.101H

**The obliquity and atmosphere of the ultra-hot Jupiter TOI-1431b (MASCARA-5b): A misaligned orbit and no signs of atomic or molecular absorptions**

Stangret, M. et al. (incluye a Pallé, E.; Casasayas-Barris, N.; Oshagh, M.; Luque, R.; Orell-Miquel, J.; Nowak, G.; Parviainen, H.)  
2021A&A...654A..73S

**The Rossiter-McLaughlin effect revolutions: an ultra-short period planet and a warm mini-Neptune on perpendicular orbits**

Bourrier, V. et al. (incluye a González Hernández, J. I.; Oshagh, M.; Palte, E.; Rebolo, R.; Suárez Mascareño, A.)  
2021A&A...654A.152B

**The UV-brightest Lyman continuum emitting star-forming galaxy**

Marques-Chaves, R.; Schaerer, D.; Álvarez-Márquez, J.; Colina, L.; Dessauges-Zavadsky, M.; Pérez-Fournon, I.; Saldana-Lopez, A.; Verhamme, A.  
2021MNRAS.507..524M

**TOI-1749: an M dwarf with a Trio of Planets including a Near-resonant Pair**

Fukui, A. et al. (incluye a Murgas, F.; Narita, N.; Pallé, E.; Nowak, G.; Béjar, V. J. S.; Esparza-Borges, E.; Hidalgo Soto, D.; Kawauchi, K.; Luque, R.; Madrigal-Aguado, A.; Montañes Rodríguez, P.; Morello, G.; Orell-Miquel, J.; Oshagh, M.; Parviainen, H.; Sánchez-Benavente, M.; Stangret, M.)  
2021AJ....162..167F

**Two Bright M Dwarfs Hosting Ultra-Short-Period Super-Earths with Earth-like Compositions**

Hirano, Teruyuki et al. (incluye a Fukui, Akihiko; Narita, Norio; Esparza-Borges, Emma; Murgas, Felipe; Palte, Enric; Parviainen, Hannu)  
2021AJ....162..161H

**Uncovering fossils of the distant Milky Way with UNIONS: NGC 5466 and its stellar stream**

Jensen, Jaclyn et al. (incluye a Thomas, Guillaume)  
2021MNRAS.507.1923J

**Variable Stars in Local Group Galaxies. VI. The Isolated Dwarfs VV 124 and KKr 25**

Neeley, Jillian R. et al. (incluye a Monelli, Matteo; Gallart, Carme)  
2021ApJ...920..152N

**WALLABY pre-pilot survey: two dark clouds in the vicinity of NGC 1395**

Wong, O. I. et al. (incluye a Román, J.)  
2021MNRAS.507.2905W

**X-ray observations of two candidate symbiotic binaries in the galactic bulge**

Wetuski, Joshua; Hynes, R. I.; Maccarone, T. J.; Heinke, C.; Torres, M. A. P.; Jonker, P. G.; Britt, Christopher T.; Steeghs, D.; Nelemans, G.  
2021MNRAS.506.5619W

**37 new validated planets in overlapping K2 campaigns**

de Leon, J. P. et al. (incluye a Mathur, S.; Fukui, A.; Luque, R.; Narita, N.; Palte, E.)  
2021MNRAS.508..195D

**A new radio census of neutron star X-ray binaries**

van den Eijnden, J. et al. (incluye a Armas Padilla, M.)  
2021MNRAS.507.3899V

**Ammonia-methane ratios from H-band near-infrared spectra of late-T and Y dwarfs**

Martín, E. L.; Zhang, J. -Y.; Esparza, P.; Gracia, F.; Rasilla, J. L.; Masseron, T.; Burgasser, A. J.  
2021A&A...655L...3M

**An Earth-mass planet in a time of COVID-19: KMT-2020-BLG-0414Lb**

Zang, Weicheng et al. (incluye a Fukui, Akihiko)  
2021RAA....21..239Z

**Asteroseismology of iota Draconis and Discovery of an Additional Long-period Companion**

Hill, Michelle L. et al. (incluye a Mathur, Savita)  
2021AJ....162..211H

**Black hole feeding and star formation in NGC 1808**

Audibert, A. et al.  
2021A&A...656A..60A

**CanariCam Mid-infrared Drift Scanning: Improved Sensitivity and Spatial Resolution**

Torres-Quijano, Amílcar R.; Packham, Christopher; Fernandez Acosta, Sergio  
2021PASP..133k4501T

**Capturing the Physics of MaNGA Galaxies with Self-supervised Machine Learning**

Sarmiento, Regina; Huertas-Company, Marc; Knapen, Johan H.; Sánchez, Sebastián F.; Domínguez Sánchez, Helena; Drory, Niv; Falcón-Barroso, Jesus  
2021ApJ...921..177S

**Chemical abundances of 1111 FGK stars from the HARPS GTO planet search program. IV. Carbon and C/O ratios for Galactic stellar populations and planet hosts**

Delgado Mena, E.; Adibekyan, V.; Santos, N. C.; Tsantaki, M.; González Hernández, J. I.; Sousa, S. G.; Bertrán de Lis, S.  
2021A&A...655A..99D

**CO kinematics unveil outflows plausibly driven by a young jet in the gigahertz peaked radio core of NGC 6328**

Papachristou, Michalis; Dasyra, Kalliopi M.; Fernández-Ontiveros, Juan A.; Audibert, Anelise; Ruffa, Ilaria; Combes, Françoise  
2021AN....342.1160P

**Correcting the effect of stellar spots on ARIEL transmission spectra - II. The limbdarkening effect**

Cracchiolo, G.; Micela, G.; Morello, G.; Peres, G.  
2021MNRAS.507.6118C

**Determining the full satellite population of a Milky Way-mass halo in a highly resolved cosmological hydrodynamic simulation**

Grand, Robert J. J.; Marinacci, Federico; Pakmor, Rüdiger; Simpson, Christine M.; Kelly, Ashley J.; Gómez, Facundo A.; Jenkins, Adrian; Springel, Volker; Frenk, Carlos S.; White, Simon D. M.  
2021MNRAS.507.4953G

**Double-lined Spectroscopic Binaries in the APOGEE DR16 and DR17 Data**

Kounkel, Marina et al. (incluye a García-Hernández, Domingo Aníbal)  
2021AJ....162..184K

**Euclid preparation. XII. Optimizing the photometric sample of the Euclid survey for galaxy clustering and galaxy-galaxy lensing analyses**

Euclid Collaboration et al. (incluye a Balaguera-Antolínez, A.; Colodro-Conde, C.)  
2021A&A...655A..44E

**Extragalactic Magnetism with SOFIA (Legacy Program). I. The Magnetic Field in the Multiphase Interstellar Medium of M51**

Borlaff, Alejandro S. et al. (incluye a Beckman, John E.)  
2021ApJ...921..128B

**Failed-transition outbursts in black hole low-mass X-ray binaries**

Alabarta, K.; Altamirano, D.; Méndez, M.; Cúneo, V. A.; Vincentelli, F. M.; Castro-Segura, N.; García, F.; Luff, B.; Veledina, A.  
2021MNRAS.507.5507A

**Fossil group origins. XI. The dependence of galaxy orbits on the magnitude gap**

Zarattini, S.; Biviano, A.; Aguerri, J. A. L.; Girardi, M.; D'Onghia, E.  
2021A&A...655A.103Z

**Gaia-ESO survey: Lithium abundances in open cluster Red Clump stars**

Magrini, L. et al. (incluye a Masseron, T.)  
2021A&A...655A..23M

**Gas and dust from extremely metal-poor AGB stars**

Ventura, P. et al. (incluye a Marini, E.)  
2021A&A...655A...6V

**High-resolution H $\alpha$  imaging of the northern Galactic plane and the IGAPS image database**

Greimel, R. et al. (incluye a Mampaso, A.; Fariña, C.; Fernández-Martín, A.)  
2021A&A...655A..49G

**High-resolution observations of bright boulders on asteroid Ryugu: 1. Size frequency distribution and morphology**

Sugimoto, Chiho et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021car..36914529S

**High-resolution observations of bright boulders on asteroid Ryugu: 2. Spectral properties**

Sugimoto, Chiho et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021car..36914591S

**Investigation of the correlation patterns and the Compton dominance variability of Mrk 421 in 2017**

MAGIC Collaboration et al. (incluye a Acciari, V. A.; Becerra González, J.; Colombo, E.; García López, R. J.; Herrera, J.; Karjalainen, M.; López-Oramas, A.; Otero-Santos, J.; Vanzo, G.; Vazquez Acosta, M.; Carnerero, M. I.)  
2021A&A...655A..89M

**J-PLUS: A first glimpse at the spectrophotometry of asteroids. The MOOJa catalog**

Morate, David et al.  
2021A&A...655A..47M

**KMT-2021-BLG-0322: Severe degeneracy between triple-lens and higher-order binarylens interpretations**

Han, Cheongho et al. (incluye a Fukui, Akihiko)  
2021A&A...655A..24H

**Magnetic and Rotational Evolution of ? CrB from Asteroseismology with TESS**

Metcalf, Travis S. et al. (incluye a Mathur, Savita)  
2021ApJ...921..122M

**Measurements of Photospheric and Chromospheric Magnetic Field Structures Associated with Chromospheric Heating over a Solar Plage Region**

Anan, Tetsu; Schad, Thomas A.; Kitai, Reizaburo; Dima, Gabriel I.; Jaeggli, Sarah A.; Tarr, Lucas A.; Collados, Manuel; Dominguez-Tagle, Carlos; Kleint, Lucia  
2021ApJ...921...39A

**Modeling the scattering polarization of the solar Ca I 4227 Å line with angle-dependent partial frequency redistribution**

Janett, Gioele; Ballester, Ernest Alsina; Guerreiro, Nuno; Riva, Simone; Belluzzi, Luca; del Pino Alemán, Tanausú; Trujillo Bueno, Javier  
2021A&A...655A..13J

**MONOS: Multiplicity Of Northern O-type Spectroscopic systems. II. Orbit review and analysis for 35 single-lined spectroscopic binary systems and candidates**

Trigueros Páez, E.; Barbá, R. H.; Negueruela, I.; Maíz Apellániz, J.; Simón-Díaz, S.; Holgado, G.  
2021A&A...655A...4T

**Nonsequential neural network for simultaneous, consistent classification, and photometric redshifts of OTELO galaxies**

de Diego, J. A. et al. (incluye a Nadolny, J.; Cepa, J.; Padilla Torres, C. P.; Cedrés, B.; González-Otero, M.)  
2021A&A...655A..56D

**OGLE-2019-BLG-0960 Lb: the Smallest Microlensing Planet**

Yee, Jennifer C. et al. (incluye a Fukui, Akihiko)  
2021AJ....162..180Y

**On the relation between active-region lifetimes and the autocorrelation function of light curves**

Santos, A. R. G.; Mathur, S.; García, R. A.; Cunha, M. S.; Avelino, P. P.  
2021MNRAS.508..267S

**Optical detection of the rapidly spinning white dwarf in V1460 Her**

Pelisoli, Ingrid et al. (incluye a Dhillon, V. S.)  
2021MNRAS.507.6132P



**OzDES Reverberation Mapping Programme: the first Mg II lags from 5 yr of monitoring**

Yu, Zhefu et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.507.3771Y

**Physically Motivated Fit to Mass Surface Density Profiles Observed in Galaxies**

Sánchez Almeida, Jorge; Trujillo, Ignacio; Plastino, Angel R.  
2021ApJ...921..125S

**Searching for Fermi GRB optical counterparts with the prototype Gravitational-wave Optical Transient Observer (GOTO)**

Mong, Y. -L. et al. (incluye a Pallé, E.)  
2021MNRAS.507.5463M

**Solar surges related to UV bursts. Characterization through k-means, inversions, and density diagnostics**

Nóbrega-Siverio, D.; Guglielmino, S. L.; Sainz Dalda, A.  
2021A&A...655A..28N

**Spectral diversity of the inner belt primitive asteroid background population**

Arredondo, Anicia; Campins, Humberto; Pinilla-Alonso, Noemi; de León, Julia; Lorenzi, Vania; Morate, David; Rizos, Juan Luis; De Prá, Mário  
2021Icar..36814619A

**Spectral properties of near-Earth objects with low-Jovian Tisserand invariant**

Simion, N. G.; Popescu, M.; Licandro, J.; Vaduvescu, O.; de León, J.; Gherase, R. M.  
2021MNRAS.508.1128S

**TESS-Keck Survey. V. Twin Sub-Neptunes Transiting the Nearby G Star HD 63935**

Scarsdale, Nicholas et al. (incluye a Fukui, Akihiko; Narita, Norio; Nowak, Grzegorz; Pallé, Enric)  
2021AJ...162..215S

**The Bias from Hydrodynamic Simulations: Mapping Baryon Physics onto Dark Matter Fields**

Sinigaglia, Francesco; Kitaura, Francisco-Shu; Balaguera-Antolínez, A.; Nagamine, Kentaro; Ata, Metin; Shimizu, Ikkoh; Sánchez-Benavente, M.  
2021ApJ...921..66S

**The dependence of the gradients of oxygen and nitrogen-to-oxygen on stellar age in MaNGA galaxies**

Zinchenko, I. A.; Vílchez, J. M.; Pérez-Montero, E.; Sukhorukov, A. V.; Sobolenko, M.; Duarte Puertas, S.  
2021A&A...655A..58Z

**The dwarf galaxy population in nearby clusters from the KIWICS survey**

Choque-Challapa, Nelvy; Aguerri, J. A. L.; Mancera Piña, Pavel E.; Peletier, Reynier; Venhola, Aku; Verheijen, Marc  
2021MNRAS.507.6045C

**The Evolving Interstellar Medium of Star-forming Galaxies, as Traced by Stardust**

Kokorev, Vasily I. et al. (incluye a Jin, Shuowen)  
2021ApJ...921...40K

**The intermediate polar cataclysmic variable GK Persei 120 years after the nova explosion: a first dynamical mass study**

Álvarez-Hernández, A. et al. (incluye a Torres, M. A. P.; Rodríguez-Gil, P.; Shahbaz, T.)  
2021MNRAS.507.5805A

**The mass and galaxy distribution around SZ-selected clusters**

Shin, T. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.507.5758S

**The Observed Mass Distribution of Galactic Black Hole LMXBs Is Biased against Massive Black Holes**

Jonker, Peter G.; Kaur, Karamveer; Stone, Nicholas; Torres, Manuel A. P.  
2021ApJ...921..131J

**The PICASSO map-making code: application to a simulation of the QUIJOTE northern**

sky survey  
Guidi, F.; Rubiño-Martín, J. A.; Pelaez-Santos, A. E.; Génova-Santos, R. T.; Ashdown, M.; Barreiro, R. B.; Bilbao-Ahedo, J. D.; Harper, S. E.; Watson, R. A.  
2021MNRAS.507.3707G

**The Pristine survey XIII: uncovering the very metal-poor tail of the thin disc**

Fernández-Alvar, Emma et al. (incluye a Thomas, Guillaume F.; González Hernández, Jonay I.)  
2021MNRAS.508.1509F

**Variable stars in Local Group galaxies - V.  
The fast and early evolution of the lowmass  
Eridanus II dSph galaxy**

Martínez-Vázquez, C. E. et al. (incluye a Monelli, M.; Taibi, S.; Gallart, C.; Battaglia, G.; Cicuéndez, L.)  
2021MNRAS.508.1064M

**Velocity dispersion and dynamical mass for  
270 galaxy clusters in the Planck PSZ1  
catalogue**

Ferragamo, A.; Barrena, R.; Rubiño-Martín, J. A.; Aguado-Barahona, A.; Streblyanska, A.; Tramonte, D.; Génova-Santos, R. T.; Hempel, A.; Lietzen, H.  
2021A&A...655A.115F

**Visible-near-infrared observations of  
organics and carbonates on (101955) Bennu:  
Classification method and search for  
surface context**

Ferrone, S. M. et al. (incluye a Rizos, J. -L.)  
2021car..36814579F

**A high-spectral-resolution catalog of  
emission lines in the visible spectrum of  
comet C/2020 F3 (NEOWISE)**

Cambianica, P.; Cremonese, G.; Munaretto, G.; Capria, M. T.; Fulle, M.; Boschin, W.; Di Fabrizio, L.; Harutyunyan, A.  
2021A&A...656A.160C

**Accurate sky signal reconstruction for  
ground-based spectroscopy with kinetic  
inductance detectors**

Fasano, A. et al. (incluye a Aguiar, M.; Castro-Almazán, J. A.; de Taoro, A. P.; Fernández-Torreiro, M.; Génova-Santos, R.; Gómez-Renasco, M. F.; Hoyland, R.; Peel, M. W.; Rebolo, R.; Rubiño-Martín, J. A.)  
2021A&A...656A.116F

**Ad orientem: Las iglesias románicas del  
Camino Francés en los reinos de Castilla y  
León bajo la perspectiva de la Astronomía  
Cultural\*Ad orientem: Romanesque  
Churches of the French Way in the  
kingdoms of Castile and Leon from a  
Cultural Astronomy perspecti**

Urrutia-Aparicio, M.; César González-García, A.; Belmonte, J. A.  
10.3989/arq.arqt.2021.014

**Alignment determination of the Hayabusa2  
laser altimeter (LIDAR)**

Noda, Hiroto et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021EP&S...73...21N

**Anomaly detection in Hyper Suprime-Cam  
galaxy images with generative adversarial  
networks**

Storey-Fisher, Kate; Huertas-Company, Marc; Ramachandra, Nesar; Lanusse, Francois; Leauthaud, Alexie; Luo, Yifei; Huang, Song; Prochaska, J. Xavier  
2021MNRAS.508.2946S

**APOGEE Chemical Abundance Patterns of  
the Massive Milky Way Satellites**

Hasselquist, Sten et al. (incluye a Gallart, Carme; García-Hernández, D. A.)  
2021ApJ...923..172H

**Composition of super-Earths, super-  
Mercuries, and their host stars**

Adibekyan, V. et al. (incluye a Israelian, G.)  
2021CoBAO..68..447A

**Dark Energy Survey year 3 results:  
covariance modelling and its impact on  
parameter estimation and quality of fit**

Friedrich, O. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021MNRAS.508.3125F

**Dark Energy Survey Year 3 Results: Galaxy  
mock catalogs for BAO analysis**

Ferrero, I. et al. (incluye a Carnero Rosell, A.)  
2021A&A...656A.106F

**Discovery and analysis of low-surface-  
brightness galaxies in the environment of  
NGC 1052**

Román, Javier; Castilla, Aida; Pascual-Granado, Javier  
2021A&A...656A..44R

**Discovery of a Protocluster Core Associated  
with an Enormous Lya Nebula at z = 2.3**

Li, Qiong et al. (incluye a Dannerbauer, Helmut; Jin, Shuowen)  
2021ApJ...922..236L

**Diving Beneath the Sea of Stellar Activity:  
Chromatic Radial Velocities of the Young AU  
Mic Planetary System**

Cale, Bryson L. et al. (incluye a Béjar, Víctor J. S.; Lodieu, Nicolas; Pallé, Enric; Narita, Norio)  
2021AJ....162..295C

**Do MURaM and STAGGER Simulations  
of Solar Faculae Match Observational  
Signatures from Magnetic Structures?**

Cubas Armas, Melania; Fabbian, Damian  
2021ApJ...923..207C

**Evidence for stellar contamination in the transmission spectra of HAT-P-12b**

Jiang, C.; Chen, G.; Pallé, E.; Murgas, F.; Parviainen, H.; Yan, F.; Ma, Y.  
2021A&A...656A.114J

**Extragalactic Magnetism with SOFIA (Legacy Program) - II: A Magnetically Driven Flow**

in the Starburst Ring of NGC 1097  
Lopez-Rodriguez, Enrique et al. (incluye a Beckman, John E.)  
2021ApJ...923..150L

**Final Targeting Strategy for the Sloan Digital Sky Survey IV Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment 2 North Survey**

Beaton, Rachael L. et al. (incluye a Manchado, Arturo; Zamora, Olga)  
2021AJ....162..302B

**First black hole mass estimation for the quadruple lensed system WGD2038-4008**

Melo, A.; Motta, V.; Godoy, N.; Mejia-Restrepo, J.; Assef, R. J.; Mediavilla, E.; Falco, E.; Ávila-Vera, F.; Jerez, R.  
2021A&A...656A.108M

**First deep images catalogue of extended IPHAS PNe**

Sabin, L. et al. (incluye a Corradi, R. M. L.)  
2021MNRAS.508.1599S

**Formation of the first galaxies in the aftermath of the first supernovae**

Abe, Makito; Yajima, Hidenobu; Khochfar, Sadegh; Dalla Vecchia, Claudio; Omukai, Kazuyuki  
2021MNRAS.508.3226A

**Fractal dimension of optical cirrus in Stripe82**

Marchuk, Alexander A.; Smirnov, Anton A.; Mosenkov, Aleksandr V.; Il'in, Vladimir B.; Gontcharov, George A.; Savchenko, Sergey S.; Román, Javier  
2021MNRAS.508.5825M

**GJ 367b: A dense, ultrashort-period sub-Earth planet transiting a nearby red dwarf star**

Lam, Kristine W. F. et al. (incluye a Narita, Norio)  
2021Sci...374.1271L

**GTC/CanariCam Deep Mid-infrared Imaging Survey of Northern Stars within 5 pc**

Gauza, Bartosz; Béjar, Víctor J. S.; Rebolo, Rafael; Álvarez, Carlos; Zapatero Osorio, María Rosa; Bihain, Gabriel; Caballero, José A.; Pinfield, David J.; Telesco, Charles M.; Packham, Christopher  
2021ApJ...923..119G

**Inference of electric currents in the solar photosphere**

Pastor Yabar, A.; Borrero, J. M.; Quintero Noda, C.; Ruiz Cobo, B.  
2021A&A...656L..20P

**Is the orbit of the exoplanet WASP-43b really decaying? TESS and MuSCAT2 observations confirm no detection**

Garai, Z. et al. (incluye a Parviainen, H.; Pallé, E.; Béjar, V. J. S.; Fukui, A.; Murgas, F.; Narita, N.; Oshagh, M.)  
2021MNRAS.508.5514G

**LeMMINGs III. The e-MERLIN legacy survey of the Palomar sample: exploring the origin of nuclear radio emission in active and inactive galaxies through the [O III] - radio connection**

Baldi, R. D. et al. (incluye a Knapen, J. H.)  
2021MNRAS.508.2019B

**Milky Way-like Gas Excitation in an Ultrabright Submillimeter Galaxy at  $z = 1.6$** 

Sulzenauer, N.; Dannerbauer, H.; Díaz-Sánchez, A.; Ziegler, B.; Iglesias-Groth, S.; Rebolo, R.  
2021ApJ...923L..27S

**Modeling the Unresolved NIR-MIR SEDs of Local ( $z < 0.1$ ) QSOs**

Martínez-Paredes, M. et al. (incluye a Geier, S.; Ramos Almeida, C.)  
2021ApJ...922..157M

**NGC 5746: Formation history of a massive disc-dominated galaxy**

Martig, Marie; Pinna, Francesca; Falcón-Barroso, Jesús; Gadotti, Dimitri A.; Husemann, Bernd; Minchev, Ivan; Neumann, Justus; Ruiz-Lara, Tomás; van de Ven, Glenn  
2021MNRAS.508.2458M

**Observation of the Gamma-Ray Binary HESS J0632+057 with the H.E.S.S., MAGIC, and VERITAS Telescopes**

Adams, C. B. et al. (incluye a Acciari, V. A.; Becerra González, J.; Colombo, E.; García López, R. J.; Herrera, J.; Karjalainen, M.; López-Oramas, A.; Otero-Santos, J.; Vanzo, G.; Vazquez Acosta, M.)  
2021ApJ...923..241A

**Orbital period refinement of CoRoT planets with TESS observations**

Klagyivik, Peter; Deeg, Hans J.; Csizmadia, Szilárd; Cabrera, Juan; Nowak, Grzegorz  
2021FrASS...8..210K

**Outflows from starburst galaxies with various driving mechanisms and their X-ray properties**

Yu, B. P. Brian; Owen, Ellis R.; Pan, Kuo-Chuan; Wu, Kinwah; Ferreras, Ignacio  
2021MNRAS.508.5092Y

**Periodicities in the Daily Proton Fluxes from 2011 to 2019 Measured by the Alpha**

Magnetic Spectrometer on the International Space Station from 1 to 100 GV  
Aguilar, M. et al. (incluye a García-López, R. J.; Reina Conde, A.; Vázquez Acosta, M.; AMS Collaboration)  
2021PhRvL.127A1102A

**Planetary nebulae in Gaia EDR3: Central star identification, properties, and binarity**

González-Santamaría, I.; Manteiga, M.; Manchado, A.; Ulla, A.; Dafonte, C.; López Varela, P.  
2021A&A...656A..51G

**Preliminary analysis of the Hayabusa2 samples returned from C-type asteroid Ryugu**

Yada, Toru et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021NatAs.tmp..265Y

**Preliminary analysis of the Hayabusa2 samples returned from C-type asteroid Ryugu**

Yada, Toru et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
2021NatAs.tmp..255Y

**Probing Galaxy Evolution in Massive Clusters Using ACT and DES: Splashback as a Cosmic Clock**

Adhikari, Susmita et al. (incluye a Carnero Rosell, Aurelio)  
2021ApJ...923...37A

**Probing the atmosphere of WASP-69 b with low- and high-resolution transmission spectroscopy**

Khalafinejad, S. et al. (incluye a Oshagh, M.; Pallé, E.)  
2021A&A...656A.142K

**Rapid contraction of giant planets orbiting the 20-million-year-old star V1298 Tau**

Suárez Mascareño, A. et al. (incluye a Lodieu, N.; Béjar, V. J. S.; Rebolo, R.; Murgas, F.; González Hernández, J. I.; Cardona Guillén, C.; Toledo-Padrón, B.; Chinchilla, P.; Esparza-Borges, E.; Martín, E. L.; Nowak, G.; Oshagh, M.; Pallé, E.; Parviainen, H.)  
2021NatAs.tmp..234S

**Rapid contraction of giant planets orbiting the 20-million-year-old star V1298 Tau**

Suárez Mascareño, A. et al. (incluye a Lodieu, N.; Béjar, V. J. S.; Rebolo, R.; Murgas, F.; González Hernández, J. I.; Cardona Guillén, C.; Toledo-Padrón, B.; Chinchilla, P.; Esparza-Borges, E.; Martín, E. L.; Nowak, G.; Oshagh, M.; Pallé, E.; Parviainen, H.)  
2021NatAs.tmp..252S

**Revisiting the Distance to Radio Loops I and IV Using Gaia and Radio/Optical Polarization Data**

Panopoulou, G. V.; Dickinson, C.; Readhead, A. C. S.; Pearson, T. J.; Peel, M. W.  
2021ApJ...922..210P

**Search for Very High-energy Emission from the Millisecond Pulsar PSR J0218+4232**

Acciari, V. A. et al. (incluye a Becerra González, J.; Colombo, E.; García López, R. J.; Herrera, J.; Karjalainen, M.; López-Oramas, A.; Otero-Santos, J.; Vanzo, G.; Vazquez Acosta, M.)  
2021ApJ...922..251A

**Submillimetre compactness as a critical dimension to understand the main sequence of star-forming galaxies**

Puglisi, Annagrazia et al. (incluye a Jin, Shuowen)  
2021MNRAS.508.5217P

**SWEET-Cat 2.0: The Cat just got SWEETer. Higher quality spectra and precise parallaxes from Gaia eDR3**

Sousa, S. G. et al. (incluye a Israelian, G.)  
2021A&A...656A..53S

**TESS Asteroseismology of ? Mensae: Benchmark Ages for a G7 Dwarf and Its M Dwarf Companion**

Chontos, Ashley et al. (incluye a Mathur, Savita)  
2021ApJ...922..229C

**The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs. Stellar atmospheric parameters of target stars with SteParSyn**

Marfil, E. et al. (incluye a González Hernández, J. I.)  
2021A&A...656A.162M

**The Milky Way bar and bulge revealed by APOGEE and Gaia EDR3**

Queiroz, A. B. A. et al. (incluye a García-Hernández, D. A.)  
2021A&A...656A.156Q

**The Phantom Dark Matter Halos of the Local Volume in the Context of Modified Newtonian Dynamics**

Oria, P. -A. et al. (incluye a Thomas, G. F.)  
2021ApJ...923...68O

**The Pristine survey - XIV. Chemical analysis of two ultra-metal-poor stars**

Lardo, C. et al. (incluye a González Hernández, J. I.)  
2021MNRAS.508.3068L

**TIC 172900988: A Transiting Circumbinary Planet Detected in One Sector of TESS Data**

Kostov, Veselin B. et al. (incluye a Murgas, Felipe)  
2021AJ....162..234K

**TOI-1201 b: A mini-Neptune transiting a bright and moderately young M dwarf**

Kossakowski, D. et al. (incluye a Béjar, V. J. S.; Cardona Guillén, C.; Lodieu, N.; Oshagh, M.; Pallé, E.; Morello, G.; Nowak, G.)  
2021A&A...656A.124K

**TOI-1431b/MASCARA-5b: A Highly Irradiated Ultrahot Jupiter Orbiting One of the Hottest and Brightest Known Exoplanet Host Stars**

Addison, Brett C. et al. (incluye a Nowak, Grzegorz; Luque, Rafael; Stangret, Monika; Palle, Enric; Murgas, Felipe; Parviainen, Hannu; Esparza-Borges, Emma; Narita, Norio; Fukui, Akihiko; Pallé, Pere)  
2021AJ....162..292A

**TOI-2109: An Ultrahot Gas Giant on a 16 hr Orbit**

Wong, Ian et al. (incluye a Esparza-Borges, Emma; Fukui, Akihiko; Murgas, Felipe; Narita, Norio; Pallé, Enric)  
2021AJ....162..256W

**TOI-2285b: A 1.7 Earth-radius planet near the habitable zone around a nearby M dwarf**

Fukui, Akihiko et al. (incluye a Narita, Norio; Pallé, Enric; Murgas, Felipe; Parviainen, Hannu; Kawauchi, Kiyoe; Esparza-Borges, Emma; Béjar, Víctor J. S.; Madrigal-Aguado, Alberto; Morello, Giuseppe; Orell- Miquel, Jaume; Oshagh, Mahmoudreza; Sánchez-Benavente, Manuel; Stangret, Monika)  
2021PASJ..tmp..121F

**Ultra-diffuse galaxies at the crossroads**

Trujillo, Ignacio  
2021NatAs...5.1182T

**Velocity-imaging the rapidly precessing planetary disc around the white dwarf HE 1349-2305 using Doppler tomography**

Manser, Christopher J. et al. (incluye a Izquierdo, Paula; Rodríguez-Gil, Pablo)  
2021MNRAS.508.5657M

**Vinylacetylene synthesis with a low power submerged carbon arc in n-hexane**

Cataldo, Franco; García-Hernández, D. Anibal; Machado Torres, Arturo  
2021FNCN...29..956C

**Weighing stars from birth to death: mass determination methods across the HRD**

Serenelli, Aldo et al. (incluye a Beck, Paul G.; Lodieu, Nicolas)  
2021A&ARv..29....4S

**Widely distributed exogenic materials of varying compositions and morphologies on asteroid (101955) Bennu**

Tatsumi, Eri et al. (incluye a Popescu, Marcel; de León, Julia; García, Juan Luis Rizos; Licandro, Javier)  
2021MNRAS.508.2053T

**Wolf 503 b: Characterization of a Sub-Neptune Orbiting a Metal-poor K Dwarf**

Polanski, Alex S. et al. (incluye a Nowak, Grzegorz; Luque, Rafael; Pallé, Enric)  
2021AJ....162..238P



**X-ray bubbles in the circumgalactic medium of TNG50 Milky Way- and M31-like**

galaxies: signposts of supermassive black hole activity Pillepich, Annalisa; Nelson, Dylan; Truong, Nhut; Weinberger, Rainer; Martin-Navarro, Ignacio; Springel, Volker; Faber, Sandy M.; Hernquist, Lars  
*2021MNRAS.508.4667P*

**YORP Effect on Asteroid 162173 Ryugu: Implications for the Dynamical History**

Kanamaru, Masanori et al. (incluye a Tatsumi, Eri)  
*2021JGRE..12606863K*

**Towards Long-term and Archivable Reproducibility**

Mohammad Akhlaghi; Raul Infante-Sainz; Boudewijn Roukema; Mohammadreza Khellat; David Valls-Gabaud; Roberto Baena Galle  
*10.1109/MCSE.2021.3072860*

## INVITED REVIEWS (ARTÍCULOS DE REVISIÓN INVITADOS)

**Muñoz Darías T.** "Observation meets theory: accretion and outflows from black hole and neutron star LMXBs" en "COSPAR Scientific Assembly, Session E.1.18", 28 Enero-4 Febrero.

**Martín I** "Initial mass function measurements from absorption spectra" en "European Astronomical Meeting (EAS) Annual Meeting 2021", 28 Junio - 2 Julio

**Ramos Almeida C** "Multi-scale and multi-wavelength observations of the AGN torus and its surroundings" en "EAS 2021 Symposium 10: The many faces of black hole accretion", 1 Julio.

**Martín Camalich V** "Flavor Physics" en "XLVIII International Meeting on Fundamental Physics", 5-11 Septiembre.

**Belmonte J A** "Land- and skylscapes within the Astronomy and World Heritage Initiative: the antas of Alentejo and beyond" en "1st International Astrotourism Conference by Starlight", 7-10 Septiembre.

**Beckman J E** "Velocidad de Escape" en "IX Jornadas Astronómicas de Almería", 18-23 Octubre, Almería.

**Muñoz Darías T.** "Accreting stellar-mass black holes", en "EAS Scientific Assembly 2021, S9", 28 Junio - 2 de Julio.

## COMUNICACIONES A CONGRESOS INTERNACIONALES

### **“AAS 237”, 10-15 enero**

Allende Prieto “First Scientific Results from HORuS on GTC” (P)

Bonanos A. et al. (Incluye Lennon D.) “Time Domain Science from the Hubble Catalog of Variables”

Díaz-García, S.; Moyano, F.; Comerón, S.; Knapen, J.; Salo, H.; Bouquin, A. “Distribution of star formation in galactic bars as seen in the S4G survey” (CO)

Rosado Belza D. “The kinematics of young and old stellar populations in nuclear rings of MUSE TIMER galaxies” (CO)

Sarmiento R. “Classifying MaNGA galaxies with unsupervised machinelearning techniques” (CO)

### **“SKA Cosmology WG meeting”, 12-15 enero**

Hernández Monteagudo C. “Angular Redshift Fluctuations (ARF): First results and Future Prospects” (CO)

### **“Time-Domain Cosmology with Strong Gravitational Lensing”, 25 enero - 2 febrero**

Esteban A. “Contribution of Primordial Black Holes to Quasar Microlensing considering a Bimodal Mass-Spectrum of BHs and Stars” (pre-recorded Talk)

### **“43rd COSPAR Scientific Assembly”, 28 enero - 4 febrero**

Armas M. “The Hunt for Ultracompact X-Ray Binaries” (CO)

Casares J “Photometric Detection of Quiescent Black Holes” (IT)

### **“MW-Gaia Workshop 2021 on the Galactic Center and inner Galaxy”, 10-12 febrero**

Gallart C. “Unbiased age distributions for the Milky Way inner halo and disk through colour-magnitude diagram fitting” (CO)

### **“Tehran Meeting on Cosmology at the Crossroads 2021”, 22-25 febrero**

Kovaks A. “Anomalous cold spots in the CMB: corroborating evidence from DES and a possible solution” (CO)

### **“Streams 21: Constraints on Dark Matter”, 22-26 febrero**

Thomas G “The M92 stream” (CO)

### **“Cool Stars 20.5”, 2-4 marzo**

Dorda R “On the nature of VX Sagittarii: Is it the first galactic super-AGB star found?” (P)

Mathur S “Surface rotation and magnetic activity for 55,000+ Kepler solar-type stars” (P)

Perdomo A “Modeling of 3D atmospheres of cool stars with the mancha code” (P)

### **“Astroworkshop online 2021”, 4-5 marzo**

Chrobáková Z. “Revealing Galactic warp precession” (CO)

### **“Clash of the Titans: the Enigmatic Role of Mergers in Galaxy Evolution”, 8-12 marzo**

Ramos Almeida C. “The diverse cold molecular gas contents and kinematics of type-2 quasars as seen by ALMA” (CO)

### **“2021 UNIONS/ CFIS/Pan-STARRS/WISHES Collaboration Meeting”, 9-10 marzo**

Thomas G. “The hidden past of M92” (CO)

**“Virtual VFTS”, 9-11 marzo**

de Burgos A. “Results from the analysis of the IACOB B Sg/Gs sample” (CO)

**“VLT Flames Tarantula Meeting 13”, 9-11 marzo**

Lennon D. “Another weird binary/triple star in the LMC” (CO)

**“Exoplanet atmosphere characterization: from HST and Spitzer to JWST”, 9-12 marzo**

Oshagh M. “The widest broadband transmission spectrum (0.38-1.71 micron) of HD 189733b from ground-based observations” (CO)

**“A Precursor View of the Ska Sky”, 15-19 marzo**

Poidevin F, Perez-Fournon I, Jimenez Angel C.E., Peel M., Génova-Santos R. “Looking for anomalous microwave emission in high redshift galaxies with the SKA” (P)

**“52nd Lunar and Planetary Science Conference (LPSC), 15-19 marzo**

C. A. Thomas, A. S. Rivkin, N. A. Moskovitz, et al. (incluye J. de León, position 6/23) “Constraining the Orbital Parameters of the Didymos-Dimorphos System: Lightcurve Observations in Preparation for AIDA/DART” (P)

M. Popescu, E. Tatsumi, H. Campins, J. de León, J. L. Rivos-García, J. Licandro, et al. “Widely Distributed Exogenic Materials of Varying Compositions on Asteroid (101955) Bennu” (P)

E. Dotto, M. Banaszekiewicz, S. Banchi, et al. (incluye J. de León, position 9/18) “The EU Project NEOROCKS - The NEO Rapid Observation, Characterization, and Key Simulations Project” (P)

A. Arredondo, H. Campins, N. Pinilla-Alonso, J. de León, V. Lorenzi, D. Morate, J. L. Rivos, M. De Pra “Spectroscopic Survey of the Inner Belt Primitive Background Population” (CO)

K. Yumoto, E. Tatsumi, T. Kouyama, et al. (incluye J. de León, position 11/28) “Cross Calibration Between Hayabusa2 ONC-T and OSIRIS-REx MapCam for Comparative Analyses of Asteroids Ryugu and Bennu” (P)

J. L. Rivos, J. de León, J. Licandro, D. R. Golish, H. Campins, E. Tatsumi, et al. “Bennu’s Candidate Sample Sites and Global Surface Characterized by Spectral Clustering of OSIRIS-REx Images” (CO)

**“III Workshop chemical abundances in gaseous nebulae: from the milky way to the early universe”, 24 marzo**

Méndez-Delgado J. E. “Echelle spectroscopy of HH objects in the Orion Nebula. Laboratories to better understand ionized nebulae” (CO)

**“Triple Evolution and Dynamics 3 (TRENDY3)”, 22-25 marzo**

Jones D. “Triple Evolution through the Planetary Nebula Phase” (CO)

**“III Workshop chemical abundances in gaseous nebulae: from the milky way to the early universe”, 24 marzo**

Esteban C “Precise determination of He, C, N, O, Ne, S, Cl, and Ar radial abundance gradients of the Milky Way from spectra of HII regions” (CO)

**“Preamble to the Solar Orbiter School”, 6-9 abril**

Nóbrega D. “A first look at Solar Orbiter campfires from numerical models” (P)

**“LPSZ 2021 Meeting”, 11-12 abril**

Barrena R. “Status of the optical follow-up of NIKA2 clusters” (CO)

**“Galspec21”, 12-16 abril**

Martín I. “IMF variations in the Fornax cluster” (CO)

**“DELVE: The death-throes of evolved stars, a virtual encounter”, 12-16 abril**

Dorda R “On the nature of VX Sagittarii: Is it the first galactic super-AGB star found?” (P)

**“Coefis XIII”, 15-16 abril**

Chrobáková Z. “Structure of the outer galactic disc with Gaia DR2” (CO)

**“7th IAA Planetary Defense Conference”, 26-30 abril**

J. de León, J. Licandro, M. Popescu, D. Morate, H. Medeiros, P. Abell, F. Pérez Toledo “Characterization of NEAs in the frame of NHATS program using the 10.4m Gran Telescopio Canarias” (CO)

R. M. Gherase, O. Vaduvescu, J. de León, M. Popescu, J. Licandro, D. Morate, G. Simion “The physical properties of the near-Earth asteroid 2001 SG286” (P)

H. Medeiros, J. de León, J. Licandro, M. Serra-Ricart, M. Popescu, N. Pinilla-Alonso, M. Devogele “Photometric analysis of NEOs in Arecibo supporting from NEOROCKS project” (P)

J. Licandro, J. de León, D. Morate, M. Popescu, H. Medeiros, M. Serra-Ricart, M. Alarcón, A. Oscoz-Abad “The 99942 Apophis observational campaign at the Canary Islands observatories during its 2021 close approach: preliminary results” (P)

C.Thomas,A.Rivkin,N.Moskovitz,etal.(includingJ.deLeón,position6/23)“ConstrainingtheOrbitalParametersoftheDidymos-DimorphosSystem:LightcurveobservationsinpreparationforAIDA/DARTe-Lighting” (CO)

D.Morate,J.Licandro,J.deLeón,M.Popescu,A.Oscoz-Abad,H.Medeiros,A.Cabrera-Lavers,N.Castro-Rodriguez“SSPHAIN:SpectroscopicSurveyofPHAsIntheNear-infrared(preliminaryresults)”.e-Lighting” (CO)

M. Popescu, J. de León, J. Licandro, G. Simion, D. Morate, O. Vaduvescu, J. L. Rizo García, H. Medeiros, R. Gherase “Simultaneous observations in four optical bands for near-Earth asteroids using TCS/MuSCAT2 instrument” e-Lighting2 (CO)

**“IAUS 361: Massive Stars Near & Far”, 3-7 mayo**

Dorda R “The binary fraction of the cool supergiants in the Magellanic Clouds” (CO)

**“RAS Specialist Discussion Meeting: MHD oscillations and waves from the photosphere to the corona”, 14 de mayo**

Arregui I. “Bayesian evidence for the nonlinear damping of coronal loop oscillations” (CO)

**“Dark Energy Survey Collaboration meeting”, 17-20 mayo**

Kovacs A “2D voids and super-clusters X Planck CMB kappa” (CO)

Kovacs A “The lensing signal from a supervoid aligned with the Cold Spot” (CO)

**“Applications of statistical methods and machine learning in the space sciences”, 17-21 mayo**

Arregui I. “Applications of Bayesian methods in the solar corona” (CO)

García Broock E “Performance of solar far-side active regions neural detection” (P)

**“EAST African Conference”, 20-22 mayo**

Rodríguez Espinosa J M “Using archival data to find two ionised bubbles in the BDF at z= 7” (CO)

**“III Workshop on Chemical Abundances in Gaseous Nebulae”, 24-28 mayo**

García-Rojas J “Neutron-capture emission lines in planetary nebulae” (CO)

**“Invisibles 2021 Workshop”, 31 mayo - 4 junio**

Terol J “Supernova constraints in dark flavoured sectors” (CO y (P)

**“Gaia EDR3 online workshop”, 1-4 junio**

Martínez García A M “Internal rotation of MW dSph satellites with Gaia EDR3” (CO)

**“AAS 238”, 7-9 junio**

Sarmiento R “Capturing the Physics of MaNGA Galaxies with Self-supervised Learning” (CO)

**“SF2A Semaine de l’Astrophysique Française 2021”, 7-11 junio**

Thomas G. “Contribution title: Measuring precise distances with Machine Learning methods” (P)



Mathur S “Stellar magnetic activity of solar-like stars along their evolution: impact on exoplanet habitability” (IT)

**“Statistical Challenges in Modern Astronomy VII”, 7-10 junio**

García Broock E “Performance of solar far-side active regions neural detection” (P)

**“GAPS 2021: unsolved problems in red Giants And suPergiantS”, 14-18 junio**

Dorda R “The first strong candidate to super-AGB found in the Galaxy” (CO)

Jones D. “Open questions in planetary nebula researc” (IT)

**“Extragalactic jets on all scales - launching, propagation, termination (Jets2021)”, 14-18 junio**

Disentangling the optical spectral variability of gamma-ray bright blazars through statistical studies” (P)

**“SO Hypatia Colloquium”, 22 de junio**

Méndez-Delgado J. E. “Photoionized Herbig-Haro objects in the Orion Nebula through deep high-spectral resolution spectroscopy” (CO)

**“OSA Optical design and fabrication congress 2021”, 27 junio -1 julio**

Sola la Serna P Optical glass selection for colour corrected broad band instrumentation: an overview” (CO)

**“European Astronomical Meeting (EAS) Annual Meeting 2021”, 28 junio - 2 julio**

Alonso Asencio I “The intra-cluster light as a tracer of the total matter density distribution: a view from simulations” (P)

Calhau J “Searching for Ha emission in the outskirts of galaxies using MUSE” (P)

Chrobáková Z. “Warp and flare in the outer Galactic disk” (P)

Chrobáková Z. “Corrections to the Jeans equation in the Milky Way” (P)

Comeron S “A detailed view of the medium around the SMBH in NGC 7130 with MUSE and adaptive optics” (P)

Díaz-García S “Star formation main sequence and Kennicutt-Schmidt law within 12 strong galactic bars observed with IRAM-30m” (P)

Díaz-García S “Galaxy-galaxy interactions and starbursts” (P)

Dorda R “The binary fraction of the cool supergiants in the Magellanic Clouds” (P)

Dorda R “VX Sagittarii: not a red hypergiant, but a (super)-AGB star. Properties and implications” (P)

Eftekhari E “Constraining the low-mass end shape of the IMF using a new system of near-IR spectral indices” (CO)

Eftekhari E “CO absorption lines in the NIR: A challenge for stellar population modelling and a tool for breaking stellar population degeneracies” (P)

Esteban C “Precise determination of He, C, N, O, Ne, S, Cl, and Ar radial abundance gradients of the Milky Way from spectra of HII regions” (CO)

Holgado G “On the elusive detection of O-type stars close to the ZAMS: new empirical clues about the empirical birthline of massive stars” (CO)

Martín “Evolution of individual galaxies across the main sequence from their integrated spectra” (CO).

Romero Gómez J “Spectral properties of UDGs in A2152” (CO)

Panizo G “Accretion disc winds from Neutron Star X-ray binaries: the case of Aquila X-1” (P)

Poidevin F “Testing the magnetar progenitor model of type I superluminous supernovae” (P)

Rodríguez Beltrán P “The impact of metallicity and star formation rate dependant galaxy wide stellar initial mass function (IGIMF) on stellar population spectra” (CO)

Rodríguez Beltrán P “Using Surface Brightness Fluctuations to disentangle composite stellar populations in massive galaxies.” (P)

Rodríguez Espinosa J M “Two ionised bubbles in the BDF at  $z=7$ ” (P)

Rodríguez Gil P. “The impact of metallicity and star formation rate dependant galaxy wide stellar initial mass function (IGIMF) on stellar population spectra” (CO)

Rodríguez Gil P. “Using Surface Brightness Fluctuations to disentangle composite stellar populations in massive galaxies” (P)

Sarmiento R “Exploring MaNGA maps with contrastive learning” (CO)

Scholz L “Stellar population properties across the stellar-to-halo mass relation” (P)

Speranza G “A Multi-Phase Outflow Characterization in The Obscured Quasar J0945+1737” (P)

Speranza G “Ionized outflow properties in a sample of 37 radio galaxies” (P)

Thomas G “Measuring precise distances with Machine Learning methods” (P)

Trujillo I “Evolution of the morphological properties of the massive galaxies over cosmic time” (IT)

### **“EAS2021. S12. The Renaissance of the low surface brightness Universe”, julio**

Trujillo I “Symposium summary EAS LSB 2021” (CO)

Di Cintio A. “Simulating the low surface brightness universe:state-of-the-art and future challenges” (CO)

### **“EAS 2021 S15 “The (TWO) Billion Star Galaxy Census: The Science of EDR3 and the promise of DR3] Surveys & Instruments”, julio**

Battaglia G “Gaia eDR3 systemic motions of Local Group dwarf galaxies” (CO).

### **“CLUES Meeting”, 5 julio**

Di Cintio A. “Pericentric passage-driven star formation in satellite galaxies and their hosts: CLUES from Local Group simulations” (CO)

### **“Cosmology from Home 2021”, 5-16 julio**

Kovacs A “A New ISW Anomaly from eBOSS Super-Structures” (CO)

### **“Satellite Constellations 2 Workshop (<https://noirlab.edu/satcon2>)”, 12-16 julio**

Peel M “Reports and Conclusions of the Observations WGÇ” (CO)

### **“International Cosmic Ray Conference (ICRC 2021)”, 12-23 julio**

López Oramas A. “Prospects for Galactic transient sources detection with the Cherenkov Telescope Array” (CO)

Nievas M “A model-driven search for extreme BL Lacs among Fermi-LAT blazar candidates.” (P)

Nievas M “The throughput calibration of the VERITAS telescopes” (P)

Nievas M “A data-driven evaluation of Fermi-LAT extrapolation schemes to the VHE regime.” (P)

Otero J. “BL Lac object 1ES 0647+250, a decade of MWL observations” (P)

### **“UK National Astronomy Meeting 2021” 19-23 julio**

Arregui I. “Bayesian evidence for the nonlinear damping of coronal loop oscillations” (P)

García Broock E “Performance of solar far-side active regions neural detection” (P).

### **“The Royal Astronomical Society’s National Astronomy Meeting 2021”, 19-23 julio**

Felipe T “Numerical modeling of umbral flashes” (IT)

### **“EPS-HEP Conference 2021”, 26-30 julio**

Terol J “Supernova constraints in dark flavoured sectors” (P)

### **“Neutrinos in Colombia NuCo”, 28-30 julio**

Castillo A “Background from neutrino interactions in dark matter searches at DUNE ND” (CO)

**“TESS Science Conference 2”, 2-6 agosto**

Mathur S “Extracting rotation rates on 27-d TESS-like light curves downgrading Kepler data” (P)

**“COSMO21 - 24th International Conference on Particle Physics and Cosmology”, 2-6 agosto**

Kovacs A “A new ISW anomaly from eBOSS super-structures” (P)

**“Beyond Standard Model Meeting DUNE”, 10 agosto**

Castillo A “Background from neutrino interactions in dark matter searches at DUNE ND” (CO)

**“Star Cluster Science with LSST”, 10 agosto**

Lodieu N “A 5D map of the nearest open clusters from high-mass stars down to the substellar regime” (CO)

**“ESO Workshop 2021”, 25 agosto**

Esparza-Borges E. “Retrieving the Transmission Spectrum of HD209458b using CHOCOLATE: a new Chromatic Line-Profile Technique, Atmospheres, Atmospheres! Do I look like I care about atmospheres?” (CO)

**“17th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP 2021)”, 26 agosto-3 septiembre**

Terol J “Supernova constraints in dark flavoured sectors” (CO)

**“22nd Particles and Nuclei International Conference”, 5-10 septiembre**

Terol J “Supernova constraints in dark flavoured sectors” (CO)

**“28th Annual Meeting of the European Society for Astronomy in Culture (SEAC)” 5-12 septiembre**

Urrutia M. “On the orientation of Romanesque churches along the Way of St James: preliminary results” (CO)

**“16th European Solar Physics Meeting”, 6-10 septiembre**

Arregui I “Bayesian evidence for the nonlinear damping of coronal loop oscillations” (P)

Chitrapadi S “Magnetic field Fluctuations in Sunspot Umbra in He I 1083 nm” (P)

Felipe T “Sunspot oscillations in Ca II 854.2 nm” (P)

García Broock E “Performance of solar far-side active regions neural detection” (P)

Kuckein C “Multi-line Stokes I inversions to infer magnetic fields in the spectral range around Cr I 578.2 nm” (CO)

Martínez D “Simulations of the Biermann battery mechanism in two-fluid partially ionised plasmas” (CO)

Navarro A M “Modeling the thermal conductivity in the solar atmosphere with the code MANCHA” (P)

Nóbrega D “Solar surges related to UV bursts: Characterization through k-means, inversions and density diagnostics” (CO)

Perdomo A “The opacity pipeline: from atomic data to realistic RMHD simulations” (P)

**“Black hole accretion disc winds”, 6-9 septiembre**

Muñoz Darías T. “Optical accretion disc winds” (CO)

**“28th SEAC conference Cultural Astronomy & Ancient Skywatching”, 6-10 septiembre**

Belmonte J.A., Urrutia-Aparicio, M. “The solstice delusion: challenging winter solstice alignments in ancient Egypt” (CO)

Urrutia-Aparicio, M.; González-García, A.C.; Belmonte J.A. “On the orientation of Romanesque churches along the Way of St James: preliminary results” (CO)

**“ENAA XXXI (Encuentro Nacional de Astronomía e Astrofísica)”, 7-9 septiembre**

Calhau J “Searching for Ha emission in the outskirts of galaxies using MUSE” (CO)

**“Europlanet Science Congress 2021”, 13-24 septiembre**

Medeiros H “Physical characterization of near-Earth asteroid (159402) 1999 AP10 in support of the Arecibo Planetary Radar Program within the NEOROCKS project” (CO)

Esparza-Borges E “Retrieving the transmission spectrum of HD 209458b using CHOCOLATE: a new Chromatic Doppler Tomography technique” (C=)

**“Stellar spectroscopy and Astrophysical parametrization from Gaia to large spectroscopic surveys”, 21-23 septiembre**

Gaspar Gorostieta I “The effect of RAM pressure on star formation in jellyfish galaxies” (CO)

**“Dark and Quiet Skies for Science and Society II”, 3-7 octubre**

Peel M “The impact of satellite constellation on Cosmic Microwave Background experiments” (CO)

**“53rd Annual Meeting of the Division for Planetary Sciences”, 3-8 octubre**

Medeiros H “Physical properties of 5 near-Earth asteroids observed with the Arecibo Planetary Radar within NEOROCKS project” (CO)

Tinaut-Ruano, Fernando de Leon, Julia ; Tatsumi, Eri ; Rousseau, Batiste ; Rizos, Juan Marchi, Simone “Spectroscopic study of Ceres’ collisional family candidates”, Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 53, No. 7 e-id 2021n7i309p05

**“Dark and Quiet Skies for Science and Society 2”, 4-8 octubre**

Peel M “The impact of satellite constellation on Cosmic Microwave Background experiments” (CO)

**“Star Clusters: the Gaia Revolution (ICCUB-IEEC)”, 5-7 octubre**

Ramos Chernenko N “Gravitational Redshift in Open Clusters” (P)

**“Tuorla-Tartu Meeting 2021”, 6-8 octubre**

AlonsoAsensio I “The intra-cluster light as a tracer of the total matter density distribution: a view from Simulations” (CO)

Dalla Vecchia C “The size of galaxies” (CO)

**“New Physics from the Sky”, 9-17 octubre**

Martín Camalich J “Supernova Constraints in dark flavored sectors (IT)

**“Debating the potential of machine learning in astronomical surveys”, 18-22 octubre**

Vega J “Pushing automated morphological classifications to their limits with the Dark Energy Survey” (CO)

Huertas-Company M “Debate: what flavours of ML are more suited for astronomical applications?” (IT)

Sarmiento R “Capturing the physics of MaNGA galaxies with self-supervised machine learning” (CO)

**“PLATO Mission Conference 2021”, 11-15 octubre**

Deeg H. “High-precision characterizations of K2 and TESS planet candidates from the KESPRINT consortium: Outlook for PLATO” (CO)

Savita, M. “Evolution of magnetic activity on the main sequence as a function of spectral type using Kepler data” (CO)

Esparza-Borges E. “CHOCOLATE: a new Chromatic Line-Profile Tomography Technique to retrieve Transmission Spectroscopy”

**“Hinode 14 / IRIS 11 Joint Science Meeting”, 25-29 octubre**

Arregui I. "Evidence for a nonlinear damping mechanism for waves in the solar corona" (P)

Nóbrega D. "Contribution title: Modeling solar coronal jets and surges" (IT)

**"Probes of transport in stars", 15-18 noviembre**

Mathur S. "Stellar dynamical evolution on the main sequence from Kepler data" (CO)

**"Second generation surveys with the JAST80 at OAJ", 24-25 noviembre**

Casares J. "Mini-HAWKS, a pilot survey to unveil dormant black holes" (CO)



## COMUNICACIONES A CONGRESOS NACIONALES

### **“I Curso Internacional de Antropología y Arqueología Mediterránea”, 6 mayo**

Esteban C “Arqueología del cielo. Elementos astrales en la religiosidad ibérica” (IT)

### **“DNC2021: Día de Nuestra Ciencia”, 10-11 junio**

Belmonte, J.A. “Akhenaten’s dream: why leaving home to create a new city in the middle of nowhere” (CO)

Chrobáková Z. “Revealing Galactic warp precession” (CO)

Medeiros H “Photometric analysis of NEOs in Arecibo supporting from NEOROCKS Project” (P)

Panizo G “News from a classic: Aquila X-1” (CO)

Perdomo A “Modeling of 3D atmospheres of cool stars with the mancha code” (P)

Ramos Chernenko N “Detection of Gravitational Redshift in main-sequence stars” (CO)

### **“Congreso Internacional 500 Años del Océanos Pacífico. De la Primera Vuelta al Mundo a Nuestros Días”, 3-5 septiembre**

Esteban C “Astronomía y navegación entre europeos y oceánicos en el momento del contacto” (CO)

### **“VIII Congreso de Comunicación Social de la Ciencia (CCSC21)”, 29 septiembre - 1 octubre**

González cuesta L “Allande Stars: Divulgación Científica en Astronomía en el contexto de Covid-19 en zonas rurales del norte de España” (CO)

### **“Cartografiados de segunda generación con el JAST80 del OAJ”, 24-25 noviembre**

Holgado Alijo G. “MULTiepoch Disparity Examination of H-Alpha and infraRed (MUDEHaR) (CO)

Trujillo Cabrera I. “Propuesta de cartografiado de segunda generación” (CO)

## ARTÍCULOS EN REVISTAS INTERNACIONALES SIN ÁRBITRO Y COMUNICACIONES CORTAS

**Marconi, A. et al. (Incluye Allende Prieto, C., Amate, M., Belen Fragoso, A., González Hernández, J., Pallé, E., Peñate, J., Rasilla Piñeiro, J. L, Rebolo R., Tenegi, F.)**

“HIRES, the High-resolution Spectrograph for the ELT”

*The Messenger* 2021Msng.182...27M

**Thatte, N. et al. (incluye Garcia Lorenzo, B.)**

“HARMONI: the ELT’s First-Light Near-infrared and Visible Integral Field Spectrograph”

*The Messenger* 2021Msng.182...7T

**Castro, N. et al. (incluye Monreal-Ibero, A.)**

“Mapping the Youngest and Most Massive Stars in the Tarantula Nebula with MUSE-NFM”

*The Messenger* 2021Msng.182...50C

**Martín, E.; Villafañe, J.**

“Searching for biomarkers in the potentially habitable atmospheric zones of Y dwarfs”

*2021BAAS...53c1229M*

**McWhirter, Paul Ross; Lam, Marco C.**

“Time-resolved Low-resolution Spectra of BLAP-009 and BLAP-014”

*Research Notes of the American Astronomical Society* 2021RNAAS...5..131M

## LIBROS Y CAPÍTULOS DE LIBROS

**Sánchez, F. (transl. T. J. Mahoney)**

“The Rise of Astrophysics in Modern Spain: From Dictatorship to Democracy”  
(Springer: New York). 2021rams.book.....S

**Benítez de Lugo L.; Mejías, M.; López Sáez, J.A.; Esteban, C.**

“The origins of social inequality in prehistoric Europe: rituals and monuments to control wealth in Bronze Age of La Mancha”  
Bibliotheca Praehistorica Hispana XXXVI  
(CSIC: Madrid), 249-260.

**Belmonte J.A.**

“What Equinox?”  
Advancing Cultural Astronomy: Studies in Honour of Clive Ruggles Efrosyni Boutsikas, Stephen C. McCluskey and John Steele (eds.)  
Springer, 11-31

**Beckman, J.E.**

“Multimessenger Astronomy (Astronomers’ Universe)”  
Springer, ISBN 978-3030683719

**González-García, A.C.; Frank, R., Sims, L.D., Rappenglueck, M., Zotti, G.; Belmonte, J.A.; Sprajc, I.**

“Beyond paradigms in cultural astronomy”  
Oxford, BAR IS

**Perera Betancor, M.A.; Belmonte Avilés, J.A.**

“Las Escrituras del Pueblo Majo: claves para el poblamiento de Canarias”  
La Orotava LeCanarien Ediciones

**Marín, C.; de León Hernández, J.; Belmonte, J.A., Cuenca Sanabria, J.; Guillen Medina, J.**

“El Paisaje Cultural de Risco caído y las montañas sagradas de Gran Canaria: un territorio conectado con el cielo”  
Patrimonio Cultural de España 12, 298-315

**Marín, C.; Belmonte J.A.; de León Hernández J.; Guillén medina, J.**

“Risco Caído et les Montagnes Sacrées de Gran Canaria: valeur, authenticité et politique de préservation d’un refuge de montagne Amazigh”  
Chateaux et Cités fortifiées, 130-142. Editions Loubatières

**Belmonte J.A.; Cuenca Sanabria, J.; Gil, J.C.; Marín, C.; de León, J. ; Ruggles, C.L.**

“The cultural landscape ‘Risco caído and the sacred mountains of Gran Canaria: a paradigmatic proposal within UNESCO Astronomy and World Heritage initiative”  
New Frontiers in Archaeoastronomy, Tristan Howell (ed.), 16-25. Ed.Clanrye International

## TESIS DOCTORALES

**Chinchilla Gallego, Patricia.** "Search for Super-Jupiters around Young nearby Stars"  
**Director: Dr. Víctor J. Sánchez Bejar**

**Sökmen, Efsan.** "Revealing the stellar populations of the galactic disk using the ESO-VVV survey"  
**Director: Dr. Sebastián Hidalgo Rodriguez**

**Vanzo, Gaia.** "Studies of the Extragalactic Background Light with the MAGIC telescopes"  
**Directores: Dra. Mónica Vázquez Acosta y Prof. Ramón García López**

**Casasayas Barris, Nuria.** "Characterising exoplanet atmospheres by means of high-resolution spectroscopy"  
**Directores: Prof. Enric Pallé y Dr. Guo Chen**

**Nadolny, Jakub.** "Morphology and metallicities of OTELO galaxies"  
**Directores: Dr. Jordi Cepa Nogué, Dr. Ángel Bongiovanni y Dr. Miguel Cerviño**

**Aguado Barahona, Alejandro.** "Cosmology and Galaxy Cluster Physics with the Second Planck Galaxy Cluster Catalogue"  
**Directores: Dr. José Alberto Rubiño Martín y Dr. Rafael Barrena Delgado**

**Luque Ramírez, Rafael.** "Planetary systems around red dwarfs and activity of their host stars"  
**Directores: Prof. Enric Pallé Bago y Dr. Grzegorz Nowak**

**Salvador Rusiñol, Núria.** "Exploring the UV spectral range to constrain the evolution of massive galaxies in varying environments and varying redshift"  
**Directores: Dr. Alexandre Vazdekis Vazdekis y Dr. Michael A. Beasley**

**Infante Sainz, Raúl.** "The low surface brightness Universe: the last frontier"  
**Director: Dr. Ignacio Trujillo Cabrera**

**Chrobáková, Žofia.** "Revealing the outer Galactic disc with Gaia DR2"  
**Director: Dr. Martín López Corredoira**

**Guidi, Federica.** "The QUIJOTE-MFI northern sky survey at 10–20 GHz: construction and study of the maps, and characterization of the microwave Haze"  
**Directores: Prof. José Alberto Rubiño Martín y Dr. Ricardo T. Genova Santos**

**Bermejo Climent, José Ramón.** "Cross-correlation between cosmic microwave background"  
**Directores: Dr. José Alberto Rubiño Martín y Dr. Fabio Finelli (INAF-IASF Bologna)**

**Toledo Padrón, Borja.** "Search and characterization of exo-Earths orbiting solar type stars".  
**Director: Dr. Jonay I. González Hernández**

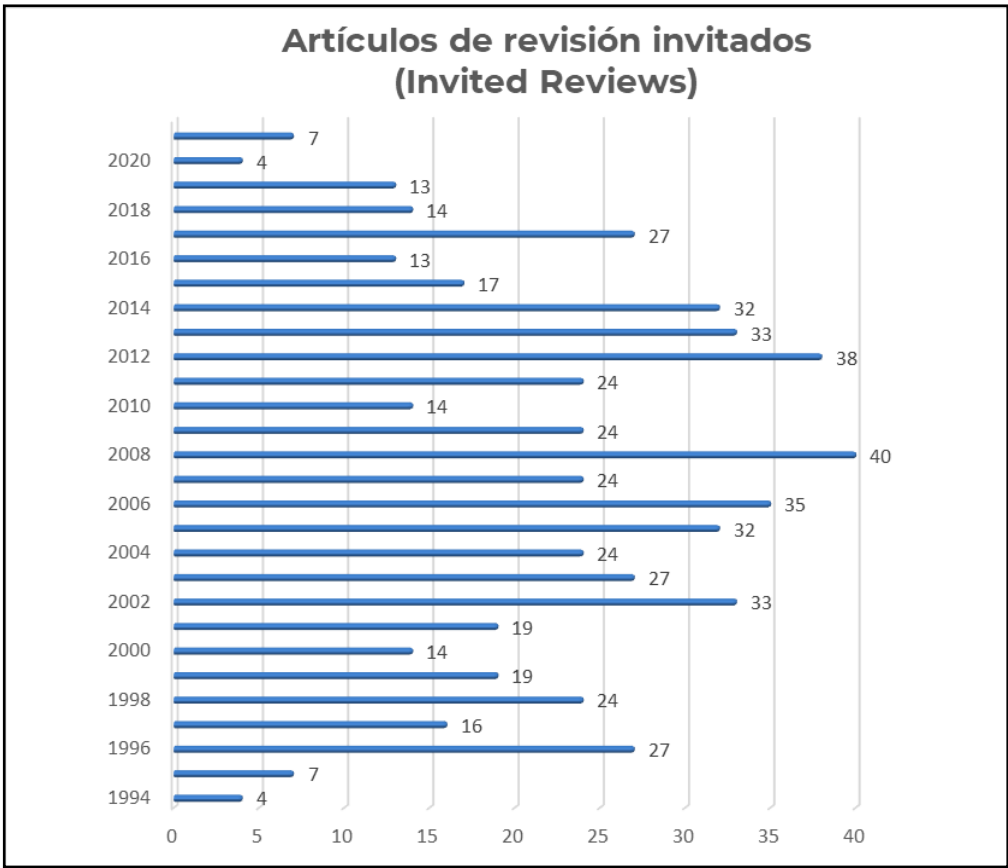
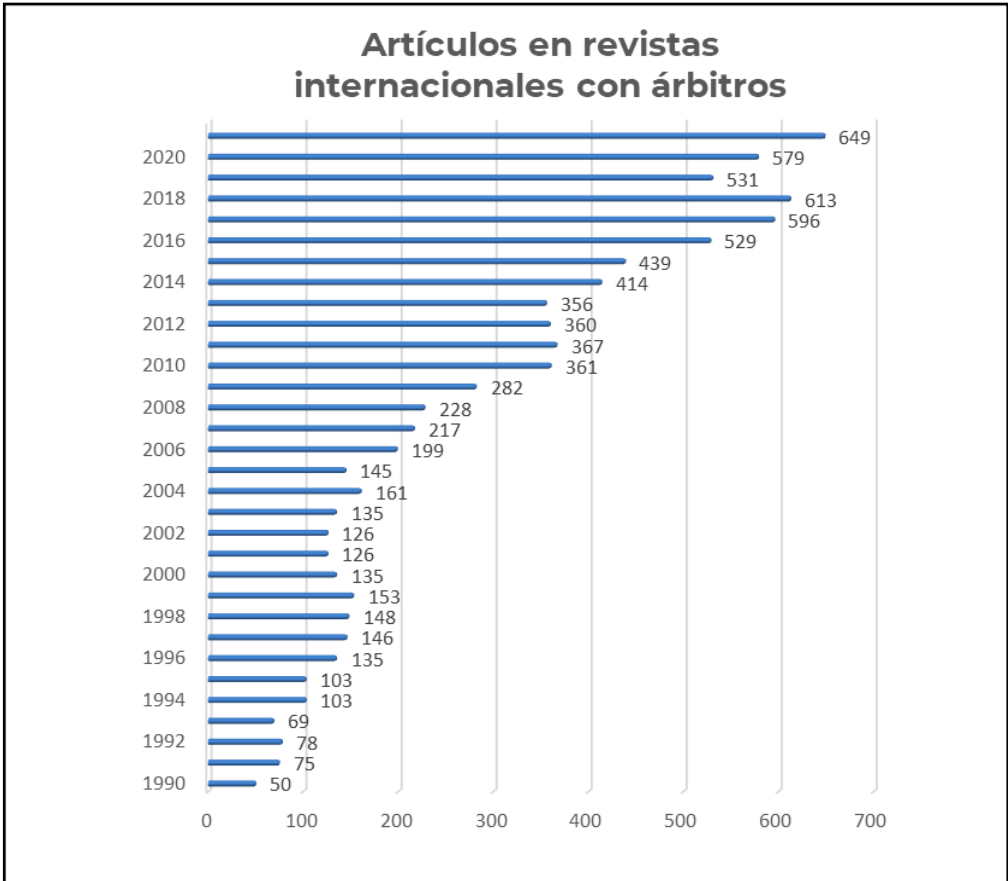
**Eftekhari Ardakani, Elham.** "Stellar populations of massive galaxies in the near-IR: exploiting new ground- and space-based large diameter telescope facilities"  
**Directores: Dr. Alexandre Vazdekis Vazdekis y Dr. Francesco La Barbera**

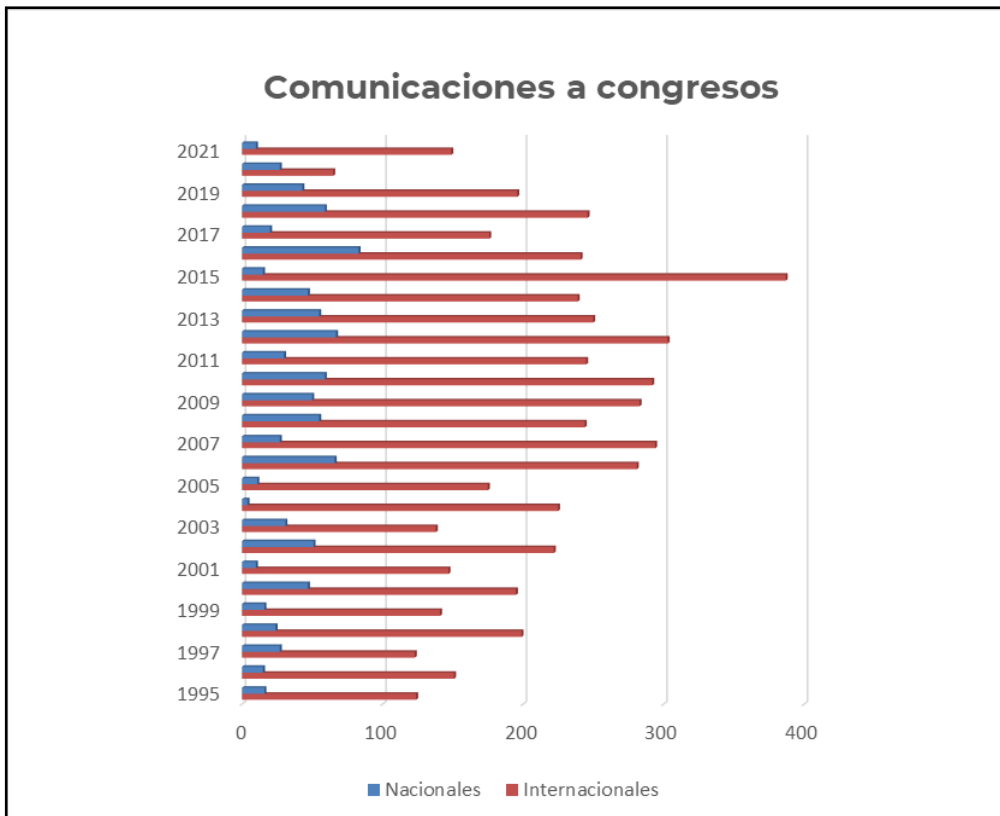
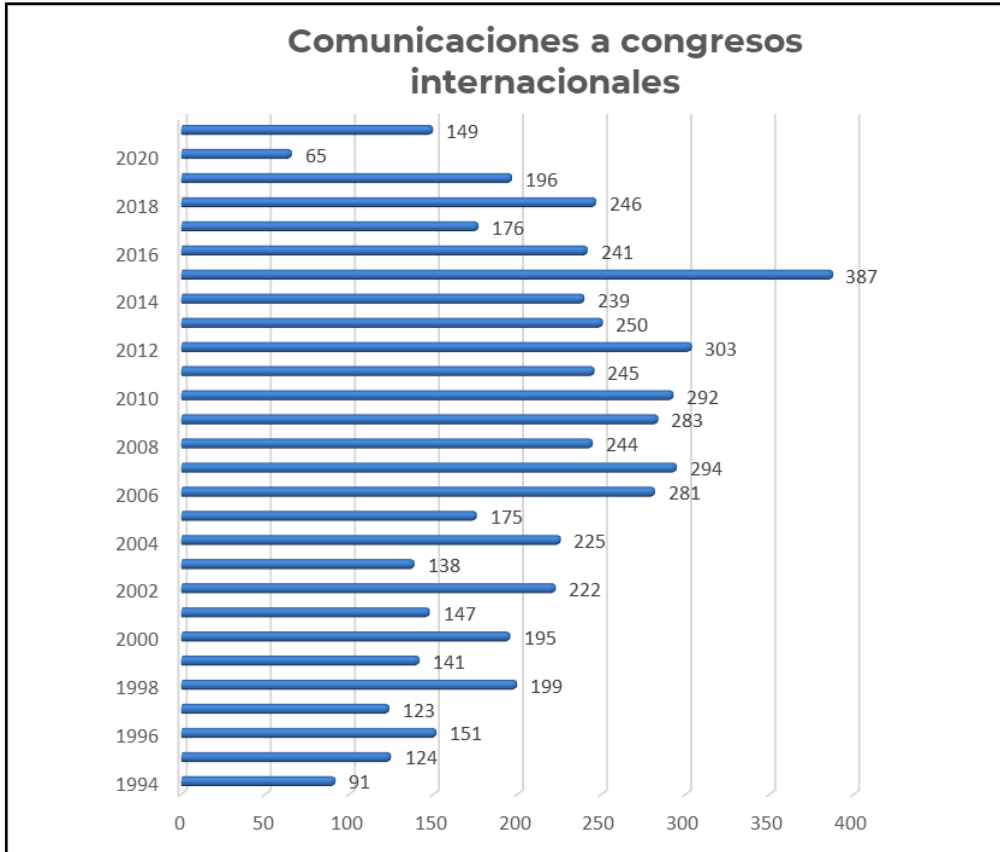
**Liakh, Valeriia (10/12/21)** "Large-Amplitude Oscillations in Erupting and Quiescent Solar Prominences"  
**Directores: Dr. Manuel Luna y Dra. Elena Khomenko**

**TOTALES**

<b>649</b>	<i>Artículos en revistas internacionales con árbitro</i>
<b>7</b>	<i>Invited Reviews (Conferencias invitadas) y Invited Talks (Charlas invitadas)</i>
<b>149</b>	<i>Comunicaciones a Congresos Internacionales</i>
<b>10</b>	<i>Comunicaciones a Congresos Nacionales</i>
<b>5</b>	<i>Artículos en revistas internacionales sin árbitro y comunicaciones cortas</i>
<b>9</b>	<i>Libros y capítulos de libros</i>
<b>15</b>	<i>Tesis doctorales</i>









# REUNIONES CIENTÍFICAS



## REUNIONES CIENTÍFICAS

### **“AAS 237”**

Enero.

### **“SKA Cosmology WG meeting”**

Enero.

### **“Time-Domain Cosmology with Strong Gravitational Lensing”**

Enero – febrero.

### **“43rd COSPAR Scientific Assembly”**

Enero – febrero.

### **“MW-Gaia Workshop 2021 on the Galactic Center and inner Galaxy”**

Febrero.

### **“Tehran Meeting on Cosmology at the Crossroads 2021”**

Febrero.

### **“Streams 21: Constraints on Dark Matter”**

Febrero.

### **“Cool Stars 20.5”**

Marzo.

### **“Astroworkshop online 2021”**

Marzo.

### **“Clash of the Titans: the Enigmatic Role of Mergers in Galaxy Evolution”**

Marzo.

### **“2021 UNIONS/ CFIS/Pan-STARRS/WISHES Collaboration Meeting”**

Marzo.

### **“Virtual VFTS”**

Marzo.

### **“VLT Flames Tarantula Meeting 13”**

Marzo.

### **“Exoplanet atmosphere characterization: from HST and Spitzer to JWST”**

Marzo.

### **“A Precursor View of the Ska Sky”**

Marzo.

### **“52nd Lunar and Planetary Science Conference (LPSC)**

Marzo.

### **“III Workshop chemical abundances in gaseous nebulae: from the milky way to the early universe”**

Marzo.

### **“Triple Evolution and Dynamics 3 (TRENDY3)”**

Marzo.

### **“III Workshop chemical abundances in gaseous nebulae: from the milky way to the early universe”**

Marzo.

### **“Preamble to the Solar Orbiter School”**

Abril.

### **“LPSZ 2021 Meeting”**

Abril.

### **“Galspec21”**

Abril.

### **“DELVE: The death-throes of evolved stars, a virtual encounter”**

Abril.

### **“Coefis XIII”**

Abril.

### **“7th IAA Planetary Defense Conference”**

Abril.

### **“IAUS 361: Massive Stars Near & Far”**

Mayo.

### **“I Curso Internacional de Antropología y Arqueología Mediterránea”**

Mayo.

### **“RAS Specialist Discussion Meeting: MHD oscillations and waves from the photosphere to the corona”**

Mayo.



**“Dark Energy Survey Collaboration meeting”**

Mayo.

**“Applications of statistical methods and machine learning in the space sciences”**

Mayo.

**“EAST African Conference”**

Mayo.

**“III Workshop on Chemical Abundances in Gaseous Nebulae”**

Mayo.

**“Invisibles 2021 Workshop”**

Mayo – junio.

**“Gaia EDR3 online workshop”**

Junio.

**“AAS 238”**

Junio.

**“SF2A Semaine de l’Astrophysique Française 2021”**

Junio.

**“Statistical Challenges in Modern Astronomy VII”**

Junio.

**“DNC2021: Día de Nuestra Ciencia”**

Junio.

**“GAPS 2021: unsolved problems in red Giants And suPergiantS”**

Junio.

**“Extragalactic jets on all scales - launching, propagation, termination (Jets2021)”**

Junio.

**“SO Hypatia Colloquium”**

Junio.

**“OSA Optical design and fabrication congress 2021”**

Junio – julio.

**“European Astronomical Meeting (EAS) Annual Meeting 2021”**

Junio – julio.

**“EAS2021. S12. The Renaissance of the low surface brightness Universe”**

Julio.

**“EAS 2021 S15 “The (TWO) Billion Star Galaxy Census: The Science of EDR3 and the promise of DR3] Surveys & Instruments”**

Julio.

**“CLUES Meeting”**

Julio.

**“Cosmology from Home 2021”**

Julio.

**“Satellite Constellations 2 Workshop (<https://noirlab.edu/satcon2>)”**

Julio.

**“International Cosmic Ray Conference (ICRC 2021)”**

Julio.

**“UK National Astronomy Meeting 2021”**

Julio.

**“The Royal Astronomical Society’s National Astronomy Meeting 2021”**

Julio.

**“EPS-HEP Conference 2021”**

Julio.

**“Neutrinos in Colombia NuCo”**

Julio.

**“TESS Science Conference 2”**

Agosto.

**“COSMO21 - 24th International Conference on Particle Physics and Cosmology”**

Agosto.

**“Beyond Standard Model Meeting DUNE”**

Agosto.

**“Star Cluster Science with LSST”**

Agosto.

**“ESO Workshop 2021”**

Agosto.

**“17th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP 2021)”**

Agosto – septiembre.

**“Congreso Internacional 500 Años del Océano Pacífico. De la Primera Vuelta al Mundo a Nuestros Días”**

Septiembre.

**“22nd Particles and Nuclei International Conference”**

Septiembre.

**“28th Annual Meeting of the European Society for Astronomy in Culture (SEAC)”**

Septiembre.

**“16th European Solar Physics Meeting”**

Septiembre.

**“Black hole accretion disc winds”**

Septiembre.

**“28th SEAC conference Cultural Astronomy & Ancient Skywatching”**

Septiembre.

**“ENAA XXXI (Encontro Nacional de Astronomia e Astrofísica)”**

Septiembre.

**“Europlanet Science Congress 2021”**

Septiembre.

**“Stellar spectroscopy and Astrophysical parametrization from Gaia to large spectroscopic surveys”**

Septiembre.

**“Dark and Quiet Skies for Science and Society II”**

Octubre.

**“53rd Annual Meeting of the Division for Planetary Sciences”**

Octubre.

**“Dark and Quiet Skies for Science and Society 2”**

Octubre.

**“Star Clusters: the Gaia Revolution (ICCUB-IIEC)”**

Octubre.

**“Tuorla-Tartu Meeting 2021”**

Octubre.

**“New Physics from the Sky”**

Octubre.

**“Debating the potential of machine learning in astronomical surveys”**

Octubre.

**“PLATO Mission Conference 2021”**

Octubre.

**“Hinode 14 / IRIS 11 Joint Science Meeting”**

Octubre.

**“Probes of transport in stars”**

Noviembre.

**“Second generation surveys with the JAST80 at OAJ”**

Noviembre.

**“Cartografiados de segunda generación con el JAST80 del OAJ”**

Noviembre.

# DISTINCIONES



## Premio Internacional a la Conservación del cielo de Canarias

El Centro Internacional para la Conservación del Patrimonio (CICOP) otorgó al Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), el Premio Internacional a la Conservación y Protección de la calidad astronómica del cielo de Canarias, por su contribución a preservar la oscuridad y transparencia del cielo de las Islas a través de los Observatorios de Canarias y su Oficina Técnica para la Protección del Cielo (OTPC), que lo protegen de la contaminación lumínica, radioeléctrica y atmosférica, lo que supone una aportación de carácter excepcional, relevante y ejemplar para la protección medioambiental de Canarias.

El evento que tuvo lugar en el Teatro Circo de Marte (La Palma), se celebró en el marco del XXI Simposio de Centros Históricos y Patrimonio Cultural de Canarias, y que cuenta con el respaldo de la Consejería de Cultura y Patrimonio del Cabildo de La Palma.

La Organización Centro Internacional para la Conservación del Patrimonio (CICOP), con sede en La Laguna en Canarias, en colaboración con las instituciones que constituyen el Patronato de la Fundación CICOP, distingue con estos premios a organismos, instituciones o personas, cuyo trabajo intelectual y aportación creadora técnica o humanista, contribuyan de forma ejemplar y destacada a la difusión, comunicación, mantenimiento, conservación, restauración o rehabilitación del Patrimonio Cultural en cualquiera de sus facetas.

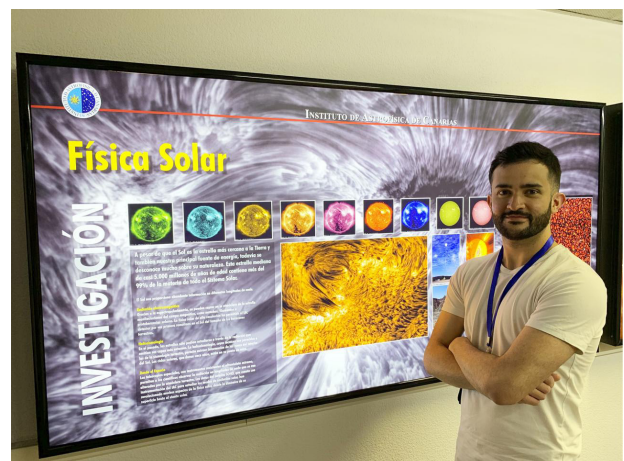


Rafael Rebolo, director del IAC, en la ceremonia de los Premios Internacionales CICOP. Crédito: Cabildo de La Palma.

## Daniel Nóbrega, galardonado recientemente con el “Early Career Researcher Prize”

Daniel Nóbrega Siverio, investigador postdoctoral del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), ha sido galardonado recientemente con el “Early Career Researcher Prize” que entrega la División de Física Solar de la Sociedad Europea de Física (*European Physical Society*, EPS).

Este prestigioso premio a jóvenes investigadores ha sido concedido “por sus importantes contribuciones a la comprensión de los fenómenos cromosféricos solares y otros procesos relacionados, combinando teoría, observaciones y experimentación numérica”.



Daniel Nóbrega. Crédito: Carmen del Puerto (IAC).

## Nayra Rodríguez Eugenio nombrada vicecoordinadora en España de la Oficina para la Educación de la Astronomía de la IAU

Nayra Rodríguez Eugenio, astrofísica divulgadora del IAC, fue nombrada vicecoordinadora nacional en España de la Oficina para la Educación de la Astronomía de la IAU, cargo que ocupará durante el periodo 2021-2024.



## “Premio Taburiente” de la Fundación Diario de Avisos

Francisco Sánchez, director fundador del IAC, recibió el “Premio Taburiente” que entrega anualmente la Fundación Diario de Avisos.

## European Technology Awards 2021

El Telescopio LST-1 fue reconocido como hito tecnológico en los “European Technology Awards 2021”, que concede El Suplemento, un galardón que pone en valor la interacción entre ciencia e industria.







# PERSONAL



<b>DIRECCIÓN</b>	
<b>Director</b>	
Rafael Rebolo López (AD)	
<b>Secretaría</b>	
Julia G. Lecuona Allende (CLT)	M. Nieves Villoslada Dionis (CL)
<b>Asesor Relaciones Institucionales</b>	
* Emilio García García (PO)	
<b>IAC TECNOLOGÍA (IACTEC)</b>	
<b>Responsable técnico</b>	
Pablo G. Redondo Caicoya (CLT)	
<b>Responsable legal y económico</b>	
* Antonio Maudes Gutiérrez (PO)	
<b>Secretaría</b>	
Noelia Morales García (CLT)	
<b>Mantenimiento general</b>	
Ignacio del Rosario Pérez (CL)	
<b>CAPACITACIÓN</b>	
<b>Gestor/a</b>	
José Alonso Burgal (CLT)	Gara Ramos Rodríguez (CLT)
<b>Ingenieros/as</b>	
Natalia Arteaga Marrero (CLT)	José Carlos Sanluis Leal (CLT)
Carlos Colodro Conde (CLT)	Ignacio Sidrach-Cardona Martínez (CLT)
Xana Delpueyo Español (CLT)	Jorge Socas Negrín (CLT)
Pablo González de Chaves Fernández (CLT)	Samuel Sordo Ibáñez (CLT)
Ana Marcos Martín (CLT)	Joan Torras Estruch (CLT)
Alba Eva Peláez Santos (CLT)	Enrique Villa Benito (CLT)
Robabeh Salehiozoumchelouei (CLT)	Alfonso Ynigo Rivera (CLT)
<b>CTA</b>	
<b>Gestor</b>	
Javier Herrera Llorente (CLT)	
<b>Secretaría</b>	
M. Cristina Castro González (CLT)	Víctor López Molina (CLT)
<b>Ingeniero</b>	
Francisco J. Aragunde Gutiérrez (CLT)	

<b>EST</b>	
<b>Secretaría</b>	
M. Luz Sánchez Rodríguez (CLT)	
<b>Ingenieros/as</b>	
Marta Belio Asin (CLT)	Francisco González Pérez (CLT)
Jonay Bienes Pérez (CLT)	Ángela Hernández Delgado (CLT)
Sergio Bonaque González (CLT)	Antonio A. Matta Gómez (CLT)
Maria Yanira Carballo Martín (CLT)	Fernando Merlos García (CLT)
Juan Cozar Castellano (CLT)	Cristina Padilla Hernández (CLT)
Noelia Feijoo Amoedo (CLT)	Claudia Itziar Ruiz de Galarreta Fajul (CLT)
Irene M. Ferro Rodríguez (CLT)	Alejandro Mahy Soler Trujillo (CLT)
José Manuel González Cava (CLT)	Nauzet Vega Reyes (CLT)
<b>ROBÓTICO</b>	
<b>Ingenieros</b>	
Josué Barrera Martín (CLT)	Pablo A. Fuerte Rodríguez (CLT)
Marta Escriche Velilla (CLT)	Javier León Gil (CLT)
Juan José Fernández Valdivia (CLT)	Miguel Ángel Torres Gil (CLT)
<b>UNIDAD DE COMUNICACIÓN Y CULTURA CIENTÍFICA</b>	
<b>Jefa</b>	
Carmen del Puerto Varela (CL)	
<b>Secretaría</b>	
Ana M. Quevedo González (CL)	
<b>Gestión Administrativa</b>	
Elena González Álvarez (CLT)	
<b>Web</b>	
Concepción Anguita Fontecha (CL)	
<b>Astrofísicos/as divulgadores</b>	
Sandra Benítez Herrera (CLT)	Alfred Rosenberg González (CL)
Nayra Rodríguez Eugenio (CLT)	
<b>Diseño gráfico y audiovisual</b>	
Inés Bonet Márquez (CL)	
<b>Documentalista</b>	
Lara M. Infante Fernández (CLT)	
<b>Periodista</b>	
Iván Jiménez Montalvo (CLT)	

<b>SUBDIRECCIÓN</b>	
<b>Subdirectora</b>	
* Casiana Muñoz-Tuñón (PO)	
<b>OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (ORM)</b>	
<b>Administrador</b>	
Juan Carlos Pérez Arencibia (CL)	
<b>SERVICIOS INFORMÁTICOS ESPECÍFICOS (SIE)</b>	
Aytami Y. Peñate Rodríguez (CL)	
<b>Gestión Administrativa</b>	
Ana Luisa Lozano Pérez (CL)	Nieves Gloria Pérez Pérez (CL)
Eva María Martín Cruz (CL)	
<b>Mantenimiento</b>	
Joaquín Arce Costa (CL)	Jesús M. Mendoza González (CL)
Jorge Gmelch Ramos (CL)	Alfredo Pérez Concepción (CL)
Darío Hernández Cabrera (CLT)	
<b>Conductor</b>	
José Adelto Hernández Sánchez (CL)	
<b>OBSERVATORIO DEL TEIDE (OT)</b>	
<b>Administrador</b>	
Miquel Serra Ricart (CL)	
<b>Gestión Administrativa</b>	
F. Javier Cosme Morán (CL)	
<b>Periodista</b>	
Alejandra Rueda Moral (CLT)	
<b>Mantenimiento</b>	
Jonay Alemán González (CLT)	Rafael A. Ramos Medina (CL)
M. Angel Ginovés Bethencourt (CL)	Carlos Quintana González de Chaves (CLT)
Samuel Lemes Perera (CLT)	



## OPERACIÓN DE LAS INSTALACIONES TELESCÓPICAS

### Jefe

Alejandro Oscoz Abad (CL)

### Astrónomo de soporte

Matteo Monelli (CLT)

### Observador

Antonio Pimienta de la Rosa (CL)

### Operadores/as

Leticia Álvarez Hernández (CLT)

Marta Puig Subira (CLT)

Andrés Laza Ramos (CLT)

Beatriz Varona Fernández (CLT)

Alberto Madrigal Aguado (CLT)

Juan Villefañé Calvo (CLT)

## CARACTERIZACIÓN DE LOS OBSERVATORIOS

Julio A. Castro Almazán (CL)

Antonia M. Varela Pérez (CL)

Sebastián Hidalgo Rodríguez (PO)

## MANTENIMIENTO INSTRUMENTAL

### Jefe

Emilio J. Cadavid Delgado (CL)

### Técnicos

Pedro A. Ayala Esteban (CL)

José Julio González Nóbrega (CL)

Jesús E. García Velázquez (CL)

Javier Hernández Vera (CLT)

## OFICINA TÉCNICA PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO (OTPC)

### Jefe

Francisco Javier Díaz Castro (CL)

### Técnico

J. Federico de la Paz Gómez (CL)

<b>SERVICIOS INFORMÁTICOS (SI)</b>	
<b>Responsable Científico</b>	
* Carlos Allende Prieto (PO)	
<b>Gerente</b>	
Carlos A. Martín Galán (CL)	
<b>Jefe de Departamento</b>	
Antonio J. Díaz Chinaa (CL)	
<b>Secretaría</b>	
M. Adela Rivas Fortuna (CL)	
<b>GRUPO DE SISTEMAS Y COMUNICACIÓN (GSC)</b>	
<b>Ingenieros</b>	
Ubay Dorta Guerra (CL)	Francisco Orta Soler (CL)
Jorge Goya Pérez (CL)	Diego M. Sierra González (CL)
Justo Luna López (CL)	
<b>GRUPO DE ANÁLISIS Y DESARROLLO (GAD)</b>	
<b>Ingenieros/as</b>	
Susana Delgado Marante (CL)	María Elena Díaz Rodríguez (CLT)
Ricardo Díaz Campos (CL)	Estrella Zatón Martín (CL)
<b>Técnico</b>	
José Manuel Ramos Aguilar (CL)	
<b>GRUPO DE OPERACIONES Y CENTRO DE ATENCIÓN AL USUARIO (GOP + CAU)</b>	
<b>Encargados</b>	
Aurelio A. Gutiérrez Padrón (CL)	Francisco J. López Molina (CL)
<b>Técnicos/as</b>	
Irene Corona Hernández (CL)	Isabel M. Plasencia García (CL)
Joaquín Gutiérrez Rodríguez (CL)	Héctor Rodríguez Rodríguez (CL)
Víctor Plasencia Darías (CL)	

## ÁREA DE INVESTIGACIÓN

### Coordinador

\* Jesús Falcón Barroso (PO)

### Gerente

Irene Fernández Fuarrós (CL)

### Secretaría

Judith de Araoz Vigil (CL)

Eva Patricia Bejarano Padrón (CL)

Rebeca Sánchez Rodríguez (CL)

## SERVICIOS INFORMÁTICOS ESPECÍFICOS (SIE)

### Jefe

Nicola Caon (CL)

### Soporte

Maximiliano Hernández Gil (CLT)

Carlos Westendorp Plaza (CL)

\* Jorge Andrés Pérez Prieto (PO)

## SERVICIO MULTIMEDIA (SMM)

Gabriel A. Pérez Díaz (CL)

## SERVICIO DE CORRECCIÓN LINGÜÍSTICA (SCL)

Terence John C. Mahoney (CL)

## PERSONAL INVESTIGADOR

### Astrofísicos/as

\* José Antonio Acosta Pulido (V)

\* Olena Khomenko (PO)

\* Roi Alonso Sobrino (PO)

\* Johan Knapen (PO)

\* Antonio Aparicio Juan (ULL)

\* Carlos Lázaro Hernando (ULL)

\* M. Jesús Arévalo Morales (ULL)

Daniel Lennon (V)

\* Carlos Arregui Uribe-Echevarria (PO)

\* Javier Licandro Goldaracena (PO)

\* Andrés Asensio Ramos (PO)

\* Nicolas Cedric Lodieu (PO)

\* Giuseppina Battaglia (PO)

\* Martín L. López Corredoira (PO)

Josefa Becerra González (CL)

\* Antonio Mampaso Recio (PO)

John E. Beckman (V)

\* Arturo Manchado Torres (CSIC)

\* Juan A. Belmonte Avilés (PO)

\* Eduardo Martín Guerrero de Escalante (CSIC)

\* Juan E. Betancort Rijo (ULL)

\* Valentín Martínez Pillet (PO)

Chris Brook (ULL)

\* Evencio Mediavilla Gradolph (ULL)

\* Jorge Casares Velázquez (PO)

\* Fernando Moreno Insertis (ULL)

\* Jordi Cepa Nogué (ULL)

\* Enric Pallé Bagó (PO)

\* Manuel Collados Vera (ULL)

\* Pere Lluís Pallé Manzano (PO)

\* Helmut Dannerbauer (PO)

\* Ismael Pérez Fournon (ULL)

Julia de León Cruz (CL)

\* Fernando Pérez Hernández (ULL)

\* Hans Deeg (PO)

\* Almudena Prieto Escudero (PO)

* César Esteban López (ULL)	* Cristina Diosco Ramos Almeida ((PO)
* Ignacio Alfonso Ferreras Páez ((PO)	* Teodoro Roca Cortés (ULL)
* M. Carmen Gallart Gallart (PO)	* José Miguel Rodríguez Espinosa (PO)
* Aníbal García Hernández (PO)	* Pablo Rodríguez Gil (ULL)
* Ramón J. García López (ULL)	* José Alberto Rubiño Martín (PO)
* Begoña García Lorenzo (PO)	* Jorge F. Sánchez Almeida (PO)
* Francisco Garzón López (ULL)	* Víctor Sánchez Bejar (PO)
Ricardo Tanausú Génova Santos (CL)	Francisco Sánchez Martínez (V)
* Jonay Isai González Hernández (PO)	* Tariq Shahbaz (PO)
* Ignacio González Martínez-Pais (ULL)	Sergio Simón Díaz (CL)
* Carlos M. Gutiérrez de la Cruz (PO)	* Héctor Socas Navarro (PO)
* Carlos Hernández Monteagudo (PO)	* Javier Trujillo Bueno (CSIC)
* Artemio Herrero Davó (ULL)	* Alejandro Vazdekis Vazdekis (PO)
* Garik Israelian Shatinyan (PO)	* Mónica L. Vázquez Acosta (PO)
* Antonio Jiménez Mancebo (PO)	* Olga M. Zamora Sánchez (PO)
* Ignacio Trujillo Cabrera (PO)	
<b>Becarios/as y contratados/as</b>	
Ernest Alsina Ballester (CLT)	Andras Kovacs (CLT)
Montserrat Armas Padilla (CLT)	Christoph A. Kuckein (CLT)
Anelise Audibert (CLT)	Hao Li (CLT)
Andrés Balaguera Antolínez (CLT)	Carlos Hugo López Caraballo (CLT)
Rafael D. Barrena Delgado (CLT)	David López Fernández-Nespral (CLT)
Andrew M. Beasley (CLT)	Alicia López Oramas (CLT)
Patricia Sonia B. Bessiere (CLT)	Hissa Maria Lucio Medeiros (CLT)
Victor Paul M. Bonjean (CLT)	Jorge Martín Camalich (CLT)
Iballa Beatriz Cabello García (CLT)	Ignacio Martín Navarro (CLT)
Rosa Calvi (CLT)	David Martínez Gómez (CLT)
Edgar Samuel Carlín Ramírez (CLT)	M. Jesús Martínez González (CLT)
Aurelio Carnero Rosell (CLT)	Thomas Masseron (CLT)
Andrés F. Castillo Ramírez (CLT)	Daniel Mata Sánchez (CLT)
Sangeetha Chitrapadi Rajaram (CLT)	Savita Mathur (CLT)
Rosa Clavero Jiménez (CLT)	Mijhail Modestov (CLT)
Virginia Anahi Cuneo (CLT)	David Morate González (CLT)
Claudio Dalla Vecchia (CLT)	Giuseppe Morello (CLT)
Chiara D'Eugenio (CLT)	Teodoro Muñoz Darias (CLT)
Adriana de Lorenzo-Cáceres Rodríguez (CLT)	Felipe Andrés Murgas Alcaino (CLT)
Ángel Manuel de Vicente Garrido (CLT)	Ana María Navarro Noguera (CLT)
Tanausú del Pino Alemán (CLT)	Andrea Negri (CLT)
Ricardo Dorta Laforet (CLT)	Mireia Nieves Rosillo (CLT)
Sara Esteban Pozuelo (CLT)	Daniel Elias Nobrega Siverio (CLT)
Joao Jose Feio Calhau (CLT)	Grzegorz Nowak (CLT)

Tobías Felipe García (CLT)	Javier Olivares Romero (CLT)
Bruno Femenía Castello (CLT)	Hannu Parviainen (CLT)
Anna Ferre Mateu (CLT)	Michael Peel (CLT)
Jorge García Rojas (CLT)	Manuel Ángel Pérez Torres (CLT)
Zohreh Ghaffari (CLT)	Frederic Nicolas D. Poidevin (CLT)
Diego Orlando Godoy Rivera (CLT)	Carlos Cristo Quintero Noda (CLT)
Sergio González Manrique (CLT)	Emmanuel Ríos López (CLT)
Ana Luisa González Moran (CLT)	Javier Román García (CLT)
Robert John J. Grand (CLT)	José Carlos Ruiz Luque (CLT)
Supriya Hebbur Dayananda (CLT)	Alina Streblyanska (CLT)
Gonzalo Holgado Alijo (CLT)	Alejandro Suárez Mascareño (CLT)
Marc Huertas-Portocarrero Company (CLT)	Andrii Sukhorokov (CLT)
Peter Hunana (CLT)	Guillaume Thomas (CLT)
Susana Iglesias Groth (CLT)	Jesús Vega Ferrero (CLT)
David Jones (CLT)	Nikolas Vitas (CLT)
Kiyoe Kawauchi (CLT)	Maruska Zerjal (CLT)
<b>Afiliados/as</b>	
Marc Ballcels Comas (V)	David García Álvarez (V)
Paul Beck (V)	Stefan Geier (V)
Walter Boschini (V)	Gabriel Gómez Velarde (V)
Antonio Luis Cabrera Lavers (V)	Gianluca Lombardi (V)
Nieves Dolores Castro Rodríguez (V)	Vania Lorenzi (V)
Eduardo Héctor Colombo (V)	Yeisson Martínez Osorio (V)
Romano Corradi (V)	Norio Narita (V)
Lucio Crivellari (V)	Carmen Pilar Padilla Torres (V)
Vikram Dhillon (V)	Daniel Reverte Paya (V)
Lilian Domínguez Palmero (V)	Juan Ruiz Alzola (V)
Cecilia Fariña (V)	Riccardo Scarpa (V)
Akihiko Fukui (V)	Ovidiu Vaduvescu (V)
<b>Colaboradores</b>	
Emilio Casuso Romate (V)	Antonio Eff-Darwich Peña (V)



<b>ÁREA DE ENSEÑANZA SUPERIOR</b>	
<b>Coordinador</b>	
* Basilio Ruiz Cobo (ULL)	
<b>Gerente</b>	
Irene Fernández Fuarrós (CL)	
<b>Secretaría</b>	
Lourdes González Pérez (CL)	
<b>PERSONAL EN FORMACIÓN</b>	
<b>Astrofísicos/as Residentes</b>	
<b>IV Año de Residentes (2018)</b>	
Paz Alonso Arias (CLT)	José Eduardo Méndez Delgado (CLT)
Isaac Alonso Asensio (CLT)	Monica Beata Stangret (CLT)
Zofia Chrovakova (CLT)	Daniel Walo Martín (CLT)
Mónica Hernández Sánchez (CLT)	
<b>III Año de Residentes (2019)</b>	
David Afonso Delgado (CLT)	Pablo Rodríguez Beltrán (CLT)
Ayoze Álvarez Hernández (CLT)	Javier Sánchez Sierras (CLT)
M. Guayente Panizo Espinar (CLT)	Regina Sarmiento (CLT)
<b>II Año de Residentes (2020)</b>	
Abel de Burgos Sierra (CLT)	Paula Sola La Serna (CLT)
Iveth Gaspar Gorostieta (CLT)	Fernando Tinaut Ruano (CLT)
Manuel Mallorquín Díaz (CLT)	Idaira Vanessa Yanes Rizo (CLT)
<b>I Año de Residentes (2021)</b>	
Erni Angeloudi (CLT)	Miguel Rodríguez Alarcçpm (CLT)
Andrés Bañares Hernández (CLT)	Junyan Zhang (CLT)
Juan Francisco Hernández Cabrera (CLT)	

<b>Contratos/as FPI</b>	
Elena Arjona Gálvez (CLT)	Jaume Orell Miquel (CLT)
Maren Brauner (CLT)	Jorge Otero Santos (CLT)
Salvador Cardona Barrero (CLT)	Andrea Perdomo García (CLT)
Belén Coronado Granados (CLT)	Nataliya Rammos Chernenko (CLT)
Emma Esparza Gorger (CLT)	Jorge Romero Gómez (CLT)
Ana Esteban Gutiérrez (CLT)	David Rosado Belza (CLT)
Mateo Fernández Torreiro (CLT)	Pablo Manuel Sánchez Alarcón (CLT)
Elena García Broock	Laura Elizabeth Scholz Díaz (CLT)
Giulia Golini (CLT)	Zahra Sharbaf (CLT)
Martín Manuel Gómez Mínguez (CLT)	Esther Soria Hernández (CLT)
Lucía González Cuesta (CLT)	Giovanna Speranza (CLT)
Mauro González Otero (CLT)	Jorge Terol Calvo (CLT)
Alberto Manuel Martínez García (CLT)	Maitane Urrutia Aparicio (CLT)
Alex Massaro Acha (CLT)	Andrés Vicente Arévalo (CLT)
<b>Varios</b>	
Carlos Cardona Guillén (V)	Alejandro Reina Conde (V)
Ignacio del Moral Castro (V)	Juan Carlos Trelles Arjona (V)
Paula Izquierdo Sánchez (V)	

<b>ÁREA DE INSTRUMENTACIÓN</b>	
<b>Coordinador</b>	
* José Alfonso López Aguerri (PO)	
<b>Secretaría</b>	
Rocío Mesa Martínez (CL)	
<b>INGENIERÍA</b>	
<b>DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA</b>	
<b>Jefe</b>	
Luis Fernando Rodríguez Ramos (CL)	
<b>Ingenieros/as</b>	
Haresh Mangharam Chulani (CL)	César A. López Segura (CLT)
Graciela C. Delgado García (CLT)	Yolanda Martín Hernando (CL)
José Miguel Delgado Hernández (CL)	Saúl Menéndez Mendoza (CLT)
José Javier Díaz García (CL)	Miguel Ángel Núñez Cagigal (CL)
Hugo García Vázquez (CLT)	Horacio Rodríguez Delgado (CLT)
David Hernández Expósito (CLT)	Oscar Manuel Tubio Araujo (CLT)
Roger Hoyland (CL)	Teodora A. Viera Curbelo (CL)
Enrique Joven Álvarez (CL)	
<b>Técnicos</b>	
Roberto Barreto Rodríguez (CL)	José Ramón Olives Mora (CL)
Ángel L. Morales Ayllón (CL)	Jesús S. Rodríguez Díaz (CLT)
<b>DEPARTAMENTO DE MECÁNICA</b>	
<b>Jefe</b>	
Juan Calvo Tovar (CL)	
<b>Ingenieros/as</b>	
Patricia Fernández Izquierdo (CL)	Ángel Mato Martínez (CLT)
Eduardo González Carretero (CLT)	Antonio Félix Moreno Martín (CLT)
Alberto Hernández González (CLT)	Yeray José Peñate Castro (CL)
Elvio Hernández Suárez (CL)	Fabio Tenegi Sanginés (CL)
Haroldo Lorenzo Hernández (CLT)	Afrodísio Vega Moreno (CLT)
Roberto M. Luis Simoes (CLT)	Antonio Zamora Jiménez (CLT)
Alejandro A. Luján González (CLT)	
<b>DEPARTAMENTO DE ÓPTICA</b>	
<b>Jefe</b>	
José Luis Rasilla Piñeiro (CL)	
<b>Ingenieros/as</b>	
M. Ángel Cagigas García (CLT)	Iciar Montilla García (CLT)
Verónica Canto Caño (CLT)	Luz María Montoya Martínez (CL)
Ana Belén Fragoso López (CL)	Marta Puga Antolín (CLT)
Félix Gracia Tremich (CLT)	Silvia Regalado Olivares (CLT)

Maidier Insausti Múgica (CLT)	Jorge Sánchez-Capuchino Revuelta (CL)
Roberto López López (CL)	Aitor Torres Sacramento (CLT)
<b>DEPARTAMENTO DE SOFTWARE</b>	
<b>Jefe</b>	
Carlos Martín Díaz (CL)	
<b>Ingenieros/as</b>	
Marta del C. Aguiar González (CL)	Heidy Moreno Arce (CL)
M. Francisca Gómez Reñasco (CL)	Esperanza Páez Mañá (CL)
Francisco J. Hernández Hernández (CLT)	Alberto Jesús Prieto Antúnez (CLT)
Pablo López Ramos (CL)	Jorge Quintero Nehrkorn (CLT)
Manuel Luis Aznar (CLT)	Yousef Rajaeitabrizi (CLT)
José Marco de la Rosa (CLT)	Josefina Rosich Minguell (CL)
<b>PROYECTOS</b>	
<b>Jefe</b>	
Marcos Reyes García-Talavera (CL)	
<b>Gestores/as</b>	
Ángel Alonso Sánchez (CL)	Víctor M. González Escalera (CL)
Manuel Amate Plasencia (CL)	José Miguel Herreros Linares (CL)
Carmen M. Barreto Cabrera (CL)	Jesús Patrón Recio (CL)
Laura M. Calero Hernández (CL)	M. Rosario Pérez de Taoro (CL)
<b>PRODUCCIÓN</b>	
<b>Jefe</b>	
Juan Calvo Tovar (CL)	
<b>DELINEACIÓN TÉCNICA</b>	
Juan Carlos Díaz Pérez (CL)	Juan José Perdigón Peña (CL)
<b>TALLER DE MECÁNICA</b>	
<b>Técnicos</b>	
Juan Gabriel Cruz Delgado (CLT)	
Juan José Dionis Díaz (CL)	Esteban González Díaz (CL)
Carlos A. Flores García (CL)	Cristóbal Morell Delgado (CL)
Higinio Gabino Pérez (CL)	Ricardo Negrín Martín (CL)
Jesús Felipe García López (CL)	Héctor Quintero Arocha (CL)
<b>Almacén</b>	
León Pérez Jacinto del Castillo (CL)	

## ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS GENERALES

### Administrador

Jesús Burgos Martín (AD)

### Secretaria/Registro

Patricia M. Alemán Morillo (CLT)

Diana C. Paredes Martín (CL)

Rocío Álvaro Santimoteo (CLT)

### Responsable Administrativo

Álvaro Lavers Hernández (CL)

### Gestión Financiación Externa

Sonia Sagrario Fumero de Sande (CL)

Jorge Juan Rivero Pérez (CLT)

M. José González Díaz (CL)

## GERENCIA ADMINISTRATIVA

### CONTABILIDAD

#### Jefe Departamento Contabilidad

Dionisio Pérez de la Rosa (CL)

#### Jefa Contabilidad

A. Delia García Méndez (CL)

Gema María Afonso Almenara (CLT)

Ana M. Maroto Álvarez (CLT)

Otilia de la Rosa Yanes (CL)

Jeymi Katherine Mora Leones (CLT)

Laura Hernández Doniz (CLT)

### TESORERÍA

Ruth Fernández Ribera (CL)

José M. Rodríguez Acosta (CL)

Nieves Fátima Ferraz Gutiérrez (CL)

### CONTRATACIÓN

Mónica Díaz Rivero (CL)

Cristian Rodríguez Alonso (CLT)

Carmen Aloys García Suárez (CL)

C. Yolanda Zamora Expósito (CL)

Nataly Mestres González (CLT)

## GERENCIA OPERACIONAL

### Gerente

Germán R. Pescador Rodríguez (CL)

### MANTENIMIENTO GENERAL

#### Jefe de Taller

José Antonio Arvelo Dorta (CL)

#### Jefe de Mantenimiento

Sergio Medina Morales (CL)

### Técnicos

Ramón Hernández Mendoza (CL)

Juan Manuel Martín Pérez (CL)



<b>Conductor</b>	
Cándido Álvarez García (CL)	
<b>RECURSOS HUMANOS</b>	
<b>Responsable</b>	
Alfonso Ruigómez Momeñe (CL)	
<b>Personal</b>	
M. Ángeles Quintana Pérez (CL)	M. Belén Rodríguez González (CL)
<b>Selección y contratación</b>	
Carmen Garcia de Sola Moyano (CL)	M. José Rodríguez González (CL)
Adrián Montesdeoca Hernández (CLT)	
<b>Unidad de Prevención de Riesgos Laborales</b>	
Rosa Miriam Galván González (CL)	
<b>OFICINA DE PROYECTOS INSTITUCIONALES Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN (OTRI)</b>	
<b>Gerente</b>	
Anselmo C. Sosa Méndez (CLT)	
<b>Ingenieros/as</b>	
Elizabeth Carrillo Padrón (CLT)	Jonatan Martínez Pérez (CLT)
Pablo Carro Portos (CLT)	Victor Manuel Quintero León (CLT)
Alberto M. Escobar Rodríguez (CLT)	Francisco Yeray Ramos Sapena (CLT)
Alfredo García Piñero (CL)	Marco Sangiorgi (CLT)
M. Alejandra Martín Gálvez (CL)	
<b>BIBLIOTECA</b>	
<b>Documentalista/Encargada</b>	
Monique María Gómez (CL)	
<b>Gestión Administrativa</b>	
M. Eulalia Alsina Casals (CL)	Antonio J. Bacallado Abreu (CL)

## DISTRIBUCIÓN Y PROCEDENCIA DEL PERSONAL DEL IAC

(a 31-12-2021)

	PO	CL	CLT	ULL	CSIC	V	AD	TOTAL
Astrofísicos	42	6	83	19	3	30	1	<b>184</b>
Técnicos	3	97	92					<b>192</b>
Administrativos	1	40	21				1	<b>63</b>
Doctorandos			52			5		<b>57</b>
<b>TOTAL</b>	<b>46</b>	<b>143</b>	<b>248</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>35</b>	<b>2</b>	<b>496</b>

	PO	ULL	CSIC	OTROS	TOTAL
PERSONAL FUNCIONARIO *	46	18	3	2	<b>69</b>
PERSONAL NO FUNCIONARIO		1		426	<b>427</b>
<b>TOTAL</b>	<b>46</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>428</b>	<b>496</b>

PERSONAL FIJO	213
PERSONAL TEMPORAL	283
<b>TOTAL</b>	<b>496</b>

\* = Personal Funcionario

AD = Alta Dirección

CL = Contrato Laboral

CLT = Contrato Laboral Temporal

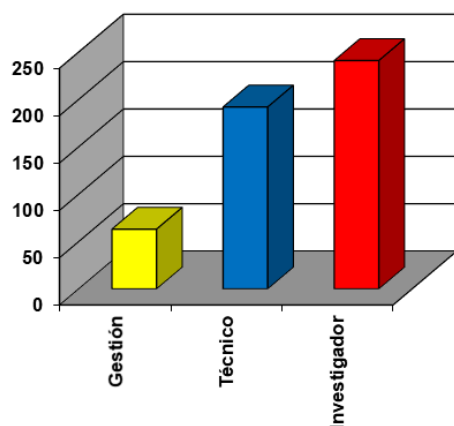
CSIC = Consejo Superior de Investigaciones Científicas

PO = Plantilla Orgánica del IAC

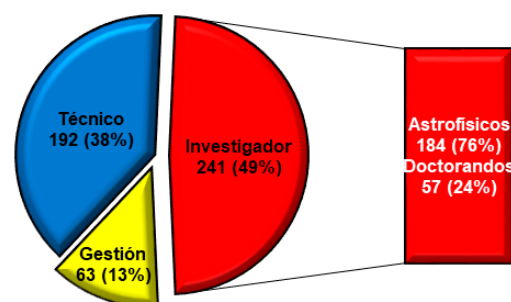
ULL = Universidad de La Laguna

V = Varios (becas, colaboradores, etc.)

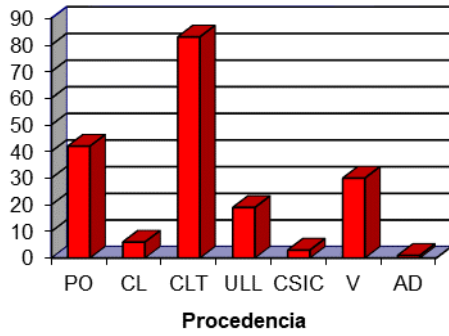
PERSONAL DEL IAC



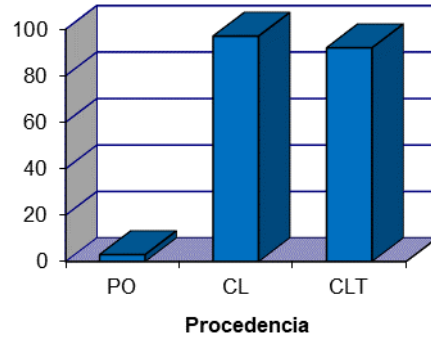
PERSONAL DEL IAC



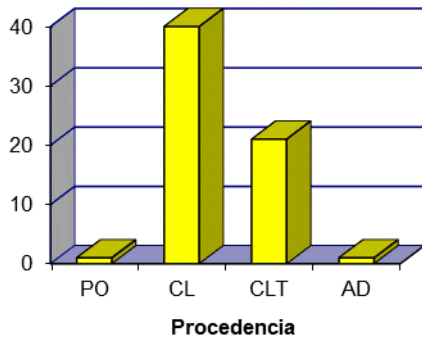
**ASTROFÍSICOS**



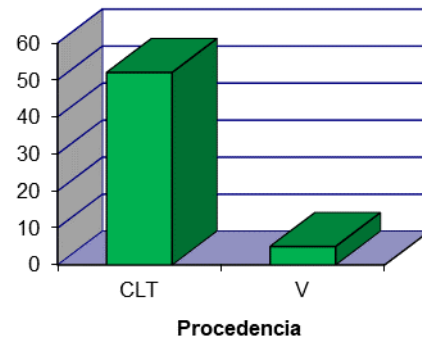
**TÉCNICOS**



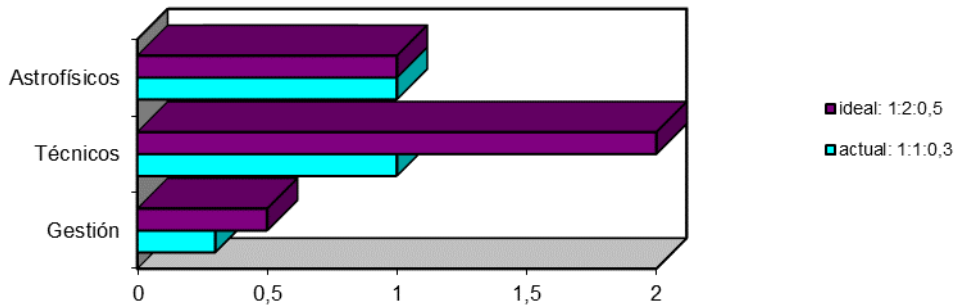
**GESTIÓN**



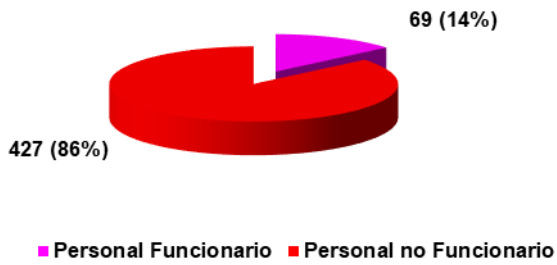
**DOCTORANDOS**



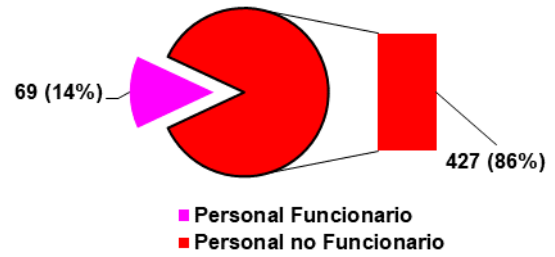
**RELACIÓN**  
Astrofísicos: Técnicos: Gestión



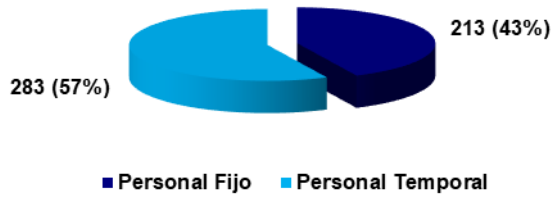
TOTAL 496



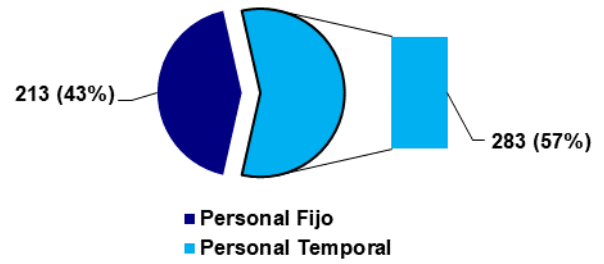
TOTAL 496



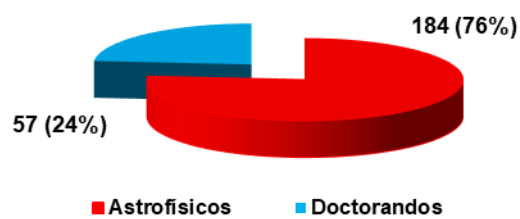
TOTAL 496



TOTAL 496



PERSONAL INVESTIGADOR



# DIRECCIONES Y TELÉFONOS







# INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS



## \* INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS (IAC)

### (TENERIFE)

C/ Vía Láctea s/n  
E-38205 LA LAGUNA - TENERIFE  
ESPAÑA  
Teléfono: (34) 922-605200  
Fax: (34) 922-605210  
E-mail: [secadm@iac.es](mailto:secadm@iac.es)  
Web: <http://www.iac.es>



## \* CENTRO DE ASTROFÍSICA DE LA PALMA (CALP)

### (LA PALMA)

Apartado de Correos 50  
Cuesta de San José s/n  
E-38712 BREÑA BAJA (LA PALMA)  
ESPAÑA  
Teléfono: (34) 922-425700  
Fax: (34) 922-425701  
E-mail: [@recepicalp@iac.es](mailto:@recepicalp@iac.es)



## \* OBSERVATORIO DEL TEIDE (OT)

### (TENERIFE)

Teléfono: (34) 922-329100  
Fax: (34) 922-329117  
E-mail: [@teide@iac.es](mailto:@teide@iac.es)



## \* OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (ORM)

### (LA PALMA)

Apartado de Correos 303  
E-38700 SANTA CRUZ DE LA PALMA  
ESPAÑA  
Teléfono: (34) 922-405500  
Fax: (34) 922-405501  
E-mail: [@adminorm@iac.es](mailto:@adminorm@iac.es)



## \* IACTEC

Edificio IACTEC, Parque Tecnológico y Científico  
de las Mantecas

E-38320 SANTA CRUZ DE TENERIFE  
ESPAÑA  
Teléfono: (34) 922-605200  
Fax: (34) 922-605210  
E-mail: [info.iactec@iac.es](mailto:info.iactec@iac.es)



# MEMORIA 2021