57
FEBRERO DE 2019
revista.iaa.es

IAA

Información y actualidad astronómica

Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía

El IAA: centro de excelencia Severo Ochoa

Imagen: galaxia NGC 7331.
Fuente: Vicent Peris (OAUV / PTeam), Gilles Bergond (Observatorio de Calar Alto)

Directora: Silbia López de Lacalle. **Comité de redacción:** Antxon Alberdi, Carlos Barceló, René Duffard, Emilio J. García, Pedro J. Gutiérrez, Susana Martín-Ruiz, Enrique Pérez-Montero, Pablo Santos y Montserrat Villar. **Edición, diseño y maquetación:** Silbia López de Lacalle. **Contacto:** revista@iaa.es

Este número ha contado con el apoyo económico de la Agencia Estatal de Investigación (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) a través de la acreditación de Centro de Excelencia Severo Ochoa para el Instituto de Astrofísica de Andalucía (SEV-2017-0709).

La página web de esta revista ha sido financiada por la Sociedad Española de Astronomía (SEA).
Copyright: © 2018 CSIC. Esta es una revista de acceso abierto distribuida bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Instituto de Astrofísica de Andalucía, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Excelencia Severo Ochoa 07/2018 - 07/2022

NIPO: 694-19-060-5
Depósito legal: GR-605/2000
ISSN: 1576-5598

SUMARIO

El IAA: un centro de excelencia...3
Desde Granada hasta los confines del universo...4
El Observatorio de Sierra Nevada...21
El Observatorio de Calar Alto...22
La Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico del IAA...24
Grandes proyectos de futuro...26
Protohistoria y prehistoria del IAA...28
El IAA: hacia un centro igualitario...33
Y así te lo contamos...35

Hace justo diez números, en el 47 de esta publicación, cambiábamos el formato y los contenidos habituales por una ocasión especial: el IAA cumplía 40 años y lo celebramos recordando algunos de los resultados científicos más relevantes de la casa.

Ahora nos hallamos, de nuevo, ante un motivo de celebración: el IAA obtenía en 2018 la acreditación como Centro de Excelencia Severo Ochoa, y desde la revista hemos querido hacernos eco de esta magnífica noticia. Así que hemos dedicado este número a contaros quiénes somos y qué hacemos. No con el detalle que nos gustaría, porque la página impresa siempre obliga a sintetizar, pero con el ánimo de ofrecer una visión amplia de nuestro centro.

Silbia López de Lacalle



El IAA: un centro de excelencia

EL FUTURO INMEDIATO DEL IAA DEPARA GRANDES RETOS Y OPORTUNIDADES

Antxon Alberdi, director del IAA-CSIC
Isabel Márquez, directora científica del proyecto *Severo Ochoa IAA*

Fundado en 1975, el Instituto de Astrofísica de Andalucía pronto cumplirá 44 años. Un puñado de personas valientes, especialistas en astronomía e ingeniería, crearon el instituto y supieron encauzarlo en el camino de la ciencia competitiva internacional. En estos años, el IAA ha pasado de sus primeros fotómetros, contadores de fotones que ahora miramos como piezas de museo, a desarrollar instrumentación de primera línea tanto para observatorios en tierra como para el espacio. El IAA entonces empezaba a codearse con la investigación en la astrofísica mundial; hoy día forma parte de la élite de los centros de investigación de nuestro país como centro de excelencia Severo Ochoa. Y todo ello ha sido posible gracias a la inteligencia e iniciativa, a la capacidad y determinación, al esfuerzo y la lealtad al IAA de todas las personas que han formado parte de su historia.

Mucho han evolucionado la ciencia, el conocimiento y la tecnología en estos años, transformando retos en logros indiscutibles en los que el IAA ha tenido una contribución muy importante. Por citar algunos ejemplos:

> Se han explorado planetas, satélites y cometas, con una activa participación del IAA en prácticamente todas las misiones espaciales de la Agencia Espacial Europea para el estudio del Sistema Solar. La misión Rossetta, que orbitó alrededor del cometa 67P/Churyumov-Guerasimenko, es un ejemplo especialmente destacado, pero en el camino se ha participado también, por ejemplo, en Cassini-Huyggens, Mars Express, Venus Express, ExoMars, Sunrise o la recientemente lanzada BepiColombo;

> Desde el hallazgo, en 1995, del primer exoplaneta, se han hallado numerosos planetas más allá de nuestro Sistema Solar. Ahora el desafío consiste en detectar planetas de tipo rocoso en la zona de habitabilidad de las estrellas, campo en el que el IAA ha desempeñado un papel muy relevante con el desarrollo y la explotación del instrumento CARMENES, ubicado en Calar Alto y dedicado a la detección de exoplanetas en estrellas de tipo M y al estudio de sus atmósferas.

> El satélite Hipparcos, lanzado en 1997, proporcionaba los primeros resultados astrométricos para cien mil estrellas. Hoy, el satélite GAIA es capaz de estudiar mil millones de estrellas. GAIA realizará un cartografiado en ocho dimensiones de nuestra Galaxia, incluyendo la posición, velocidad, metalicidad y fotometría de los objetos estelares, proyecto que cuenta con la participación activa de personal investigador del IAA.

> Hemos pasado del estudio de un número relativamente modesto de galaxias individuales en detalle a liderar el proyecto CALIFA, un cartografiado espectroscópico tridimensional de más de medio millar de galaxias de diferentes morfologías (el más extenso realizado hasta la fecha), estudiadas desde el observatorio de Calar Alto, legado y referente para la comunidad astronómica internacional.

> Pasando por el estudio teórico de los agujeros negros y el estudio observacional de las galaxias activas y los jets relativistas que emanan de su corazón, hoy acariciamos la posibilidad real de obtener la primera imagen directa de un agujero negro mediante el Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT), en cuyo equipo científico participa activamente el IAA.

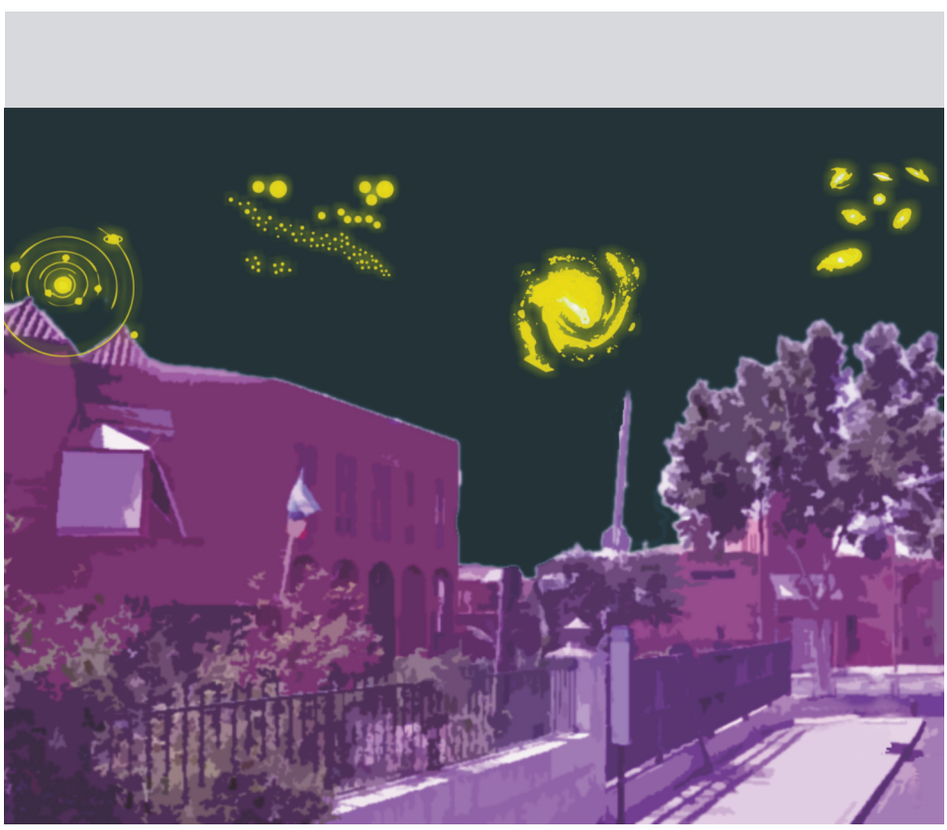
> Desde las primeras detecciones de estallidos de rayos gamma (GRBs), ahora se estudia una gran variedad de fuentes transitorias en el cielo y se ha conseguido un avance sustancial en el conocimiento de su naturaleza. En este tiempo se han detectado las primeras ondas gravitacionales, nuevo mensajero cósmico que tan solo muy recientemente hemos empezado a recibir. En la primera e histórica detección de la contrapartida electromagnética de estos eventos, en 2017, también participó el IAA.

El futuro inmediato depara grandes retos y oportunidades a nuestro centro. La participación en las misiones de la Agencia Espacial Europea (ESA) que volarán en los próximos años, como Solar Orbiter, JUICE o PLATO 2.0, la contribución a los desarrollos instrumentales en el Observatorio de Calar Alto, el liderazgo nacional del IAA en la participación española en el *Square Kilometre Array* (SKA), la explotación de los telescopios del Observatorio Europeo Austral (ESO), junto a los resultados científicos más novedosos que publicará nuestro personal científico, permitirán fortalecer el impacto y liderazgo científico del IAA a nivel internacional. La consecución del sello de excelencia Severo Ochoa, que el Ministerio de Ciencia otorga a los centros que cuentan con programas de investigación de frontera y altamente competitivos, y que se encuentran entre los mejores del mundo en sus respectivas áreas científicas, así como la financiación extraministerial asociada, suponen un impulso y una fuente de ilusión y compromiso especialmente oportunos. Basándonos en una estrategia científica sólida y transversal, nuestro desafío es, a través de nuestra investigación, alcanzar un lugar privilegiado en la explotación de la generación inmediatamente venidera de experimentos astrofísicos en la frontera del conocimiento.

Desde Granada hasta los confines del universo

LA ACTIVIDAD DEL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA CUBRE LAS PRINCIPALES ÁREAS DE LA ASTROFÍSICA, APOYÁNDOSE EN LOS TRES PILARES FUNDAMENTALES DE LA CIENCIA MODERNA: LA OBSERVACIÓN DE FENÓMENOS ASTROFÍSICOS, EL DESARROLLO DE NUEVA INSTRUMENTACIÓN Y EL ESTUDIO TEÓRICO Y DESARROLLO DE SIMULACIONES NUMÉRICAS

Por Silbia López de Lacalle (IAA-CSIC)



Las ciencias del espacio cubren multitud de objetos (planetas, cometas, asteroides, nubes de gas, estrellas, galaxias, cúmulos de galaxias... e incluso objetos que no brillan, como los agujeros negros o la materia oscura) y manejan unas distancias de vértigo, que abarcan desde nuestra propia atmósfera, literalmente sobre nuestras cabezas, hasta miles de millones de años luz. Y, aunque la principal fuente de información sobre el universo es la luz, se trata de un mensajero con muchas caras y la observación en diferentes longitudes de onda permite estudiar según qué objetos: los rayos X y gamma, por ejemplo, revelan información sobre objetos muy energéticos, como las supernovas o los núcleos activos de galaxias, mientras que el infrarrojo remite a regiones frías, como las nubes de gas donde se forman las estrellas; sin olvidar, claro, un nuevo tipo de mensajero predicho hace décadas pero detectado hace apenas cuatro años, las ondas gravitatorias.

De modo que para obtener un panorama completo del cosmos hay que cubrir muchos objetos y distancias, pero también distintos tipos de luz. E, incluso, diseñar y desarrollar la instrumentación necesaria para abordar el objeto de estudio. Y, en el Instituto de Astrofísica de Andalucía, cuya andadura comenzó hace más de cuarenta años con estudios de física estelar y con un enérgico

impulso hacia el desarrollo tecnológico, tenemos la suerte de poder abarcar a día de hoy todo ese panorama -una suerte, claro, producto de décadas de trabajo-, y participar además en proyectos internacionales revolucionarios. La acreditación Severo Ochoa como centro de excelencia confirma la destacada situación del IAA en el marco de la astrofísica nacional e internacional y, a lo largo de estas páginas, vamos a intentar desgranar la actividad que desarrollamos. Como siempre, el medio escrito exige brevedad y no podemos detallar cada proyecto y línea del centro, pero intentaremos elaborar la panorámica más completa posible.

ATMÓSFERAS

Nuestra primera parada recala cerca, tan cerca que la estamos respirando. En la última década hemos vivido una época dorada de observación de la atmósfera terrestre con varias misiones espaciales que han suministrado datos globales durante más de un ciclo solar, así como un gran avance en los modelos, que afrontan el sistema climático como un todo. En el IAA trabajamos con datos de misiones, como TIMED (NASA) o ENVISAT (ESA), así como con instrumentación en tierra, con especial énfasis en el estudio de los efectos del Sol sobre la atmósfera: el Sol muestra un ciclo de once años a lo largo del que su actividad aumenta y disminuye, y que produce cambios en la cantidad de energía que emite. Conocido como forzamiento solar, se trata de un factor que debe tenerse en cuenta en simulaciones de modelos climáticos, y estudios coordinados por la Universidad de Kiev y el IAA mostraban en 2017 una mayor influencia de la actividad solar sobre la atmósfera de la Tierra, especialmente en la estratosfera. Este conjunto de datos, que incluye los efectos de las partículas y una nueva estimación de la constante solar (o la cantidad de radiación promedio del Sol) fue posible gracias al trabajo de un grupo multidisciplinar y constituye, a día de hoy, la mejor evaluación posible de la variabilidad solar pasada, presente y futura. Ayudará a mejorar nuestra comprensión de la variabilidad del clima a escala de décadas y a distinguir más claramente los procesos naturales de los antropogénicos*1, y servirá de base para el próximo informe sobre la evaluación del clima del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).
La atmósfera terrestre presenta una serie de fenómenos eléctricos conocidos desde hace tiempo, como los rayos*2, y otros descu-

*1

LA LUZ COMO FUENTE DE CONTAMINACIÓN

LA ILUMINACIÓN NOCTURNA, UN PROBLEMA GLOBAL



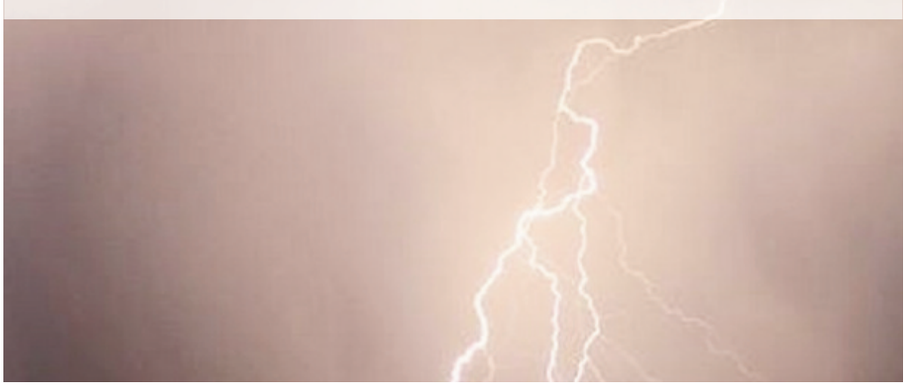
El cambio climático es uno de los factores que muestran cómo la actividad humana afecta a la vida en el planeta, pero existe otro, la contaminación lumínica, que apenas empezamos a comprender. Producida por un exceso de iluminación nocturna o una iluminación incorrecta, sus efectos sobre las observaciones astronómicas se conocen desde mediados del siglo pasado, pero a principios de este siglo se han documentado sus riesgos para los ecosistemas y para la salud humana debido a la modificación de los ciclos de día y noche: la mitad de Europa sufre una "pérdida de la noche" generalizada.
El IAA ha participado en estudios pioneros que analizan la evolución y los efectos de la contaminación lumínica y que mostraron, en 2017 y 2018 respectivamente, que las superficies iluminadas en el planeta crecen de media más de un 2% al año, a pesar de la introducción de sistemas de iluminación más eficientes, y que la exposición a la luz azul durante la noche produce un mayor riesgo de padecer cáncer de mama y próstata. Este ámbito de estudio vino acompañado de la creación de la Oficina de calidad del cielo del IAA, para defender el cielo oscuro como recurso científico, cultural y medioambiental.

*2

E-LIGHTNING

UN PROYECTO PARA COMPRENDER LA ELECTRICIDAD ATMOSFÉRICA

Hace tres siglos se descubrió la naturaleza eléctrica de los rayos y, aunque sabemos que afectan a la composición de nuestra atmósfera y que existen en Júpiter y Saturno (y tal vez en Venus, Urano y Neptuno), constituyen uno de los fenómenos menos conocidos de las ciencias planetarias.
Se estima que, cada segundo, se producen unos cincuenta relámpagos. En su descenso, los rayos avanzan en una serie de saltos discontinuos cuyo origen se ignora. Tampoco se comprende por qué, al propagarse, los rayos emiten pulsos de muy alta energía, o qué es lo que produce un fenómeno conocido como "destellos terrestres de rayos gamma" relacionados con las tormentas eléctricas.
La instrumentación actual no permite resolver las escalas espaciales necesarias para investigar estos procesos, pero el proyecto *eLightning* (H2020), coordinado por el IAA, emplea técnicas computacionales avanzadas para desvelar, con el detalle de un microscopio, los procesos físicos involucrados en el avance de un rayo.



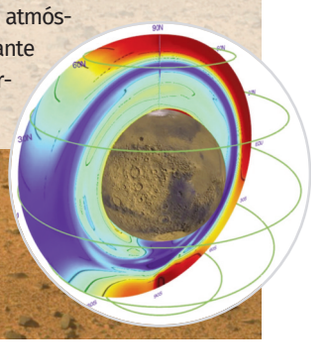
UPWARDS: HACIA UNA COMPRENSIÓN GLOBAL DE MARTE

EL PROYECTO HA REVISADO Y ACTUALIZADO LOS DATOS OBTENIDOS POR *MARS EXPRESS* Y OTRAS MISIONES MARCIANAS

El objetivo principal de UPWARDS (2015-2018) residía en desarrollar nuevas técnicas matemáticas para extraer más información de los datos disponibles sobre Marte que permiten, por ejemplo, combinar datos de instrumentos y misiones diferentes.

Se han diseñado métodos de análisis de datos para el limbo del planeta, que han proporcionado perfiles verticales de vapor de agua (un gas muy escaso en Marte pero de gran importancia) y de dióxido de carbono (el gas más abundante en el planeta), unos resultados imposibles hace cinco años.

El proyecto también ha podido adentrarse en las tormentas de polvo, al hallar y cuantificar por primera vez una anticorrelación entre la cantidad de polvo y la de vapor de agua atmosféricos dentro de la tormenta. Además, se ha confeccionado un mapa completo de la distribución y del ciclo anual de las nubes de hielo de agua, que señala el importante papel de estas nubes sobre el ciclo anual del agua, y se han medido las emisiones de hidrógeno en las capas más altas de la atmósfera cuando estas moléculas escapan al espacio, y que podrían explicarse gracias a un resultado reciente que apunta a que grandes cantidades de vapor de agua podrían alcanzar elevadas alturas en la atmósfera marciana durante los periodos de tormentas de polvo.



Corte de la atmósfera en 3D de Marte, desde la superficie hasta los 200 kilómetros (las dimensiones se han ampliado). En ausencia de vientos, el planeta sólido y la atmósfera rotan conjuntamente.

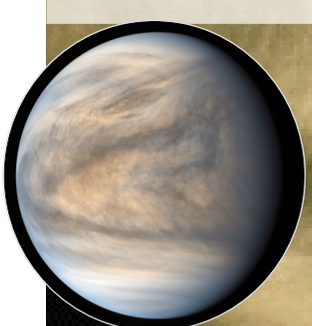
LA GIGANTESCA "Y" DEL CIELO DE VENUS

LA ATMÓSFERA DE VENUS APARECE DOMINADA POR UNA "Y" DE NUBES OSCURAS CUYA FORMA Y EVOLUCIÓN RESULTABAN INEXPLICABLES

Cuando se descubrió, los astrónomos pensaron que la Y era una agrupación de nubes arrastrada por el viento. Sin embargo, los datos de la misión Mariner 10 (NASA) desvelaron en 1973 que la estructura se propagaba como un todo, y que lo hacía a una velocidad distinta a la del medio a su alrededor.

Se llegó a la conclusión de que solo podía tratarse de una onda, o una perturbación periódica en la variables atmosféricas, pero se ignoraba de qué tipo. Un trabajo, encabezado por el IAA, describía el mecanismo que la sustenta e incluso lograba reproducir, por primera vez, su evolución a lo largo de un mes.

El estudio invalidaba la hipótesis aceptada durante décadas, que asumía que esta onda era similar a las ondas ecuatoriales atmosféricas que existen en la Tierra, y mostraba que la forma de Y se debe a la distorsión de los vientos.



Venus. Fuente: NASA

biertos más recientemente, como los eventos luminosos transitorios o TLEs, una serie de eventos eléctricos relacionados con los rayos de tormenta pero situados decenas de kilómetros sobre las nubes. Se sabe que estos fenómenos influyen sobre la composición química de la atmósfera, pero aún presentan muchas incógnitas. En el IAA se investigan estos fenómenos tanto desde tierra como desde el espacio, con el desarrollo de instrumentación propia y a través de la participación en misiones como ASIM, que estudia los TLEs desde la Estación Espacial Internacional.

El estudio de nuestra atmósfera nos lleva, de manera natural, a las atmósferas de los planetas del Sistema Solar, como Marte*3 y Venus*4, o a la de satélites de otros planetas: en 2016 investigadores del IAA participaban en el hallazgo de un fenómeno único en el Sistema Solar al mostrar cómo la atmósfera de Ío, uno de los satélites mayores de Júpiter, prácticamente desaparece cada vez que la sombra del planeta se cierne sobre el satélite. Incluso, llegamos a las atmósferas de planetas fuera del Sistema Solar, los planetas extrasolares, un campo de estudio joven y muy prometedor que agrupa investigadores de distintos grupos del IAA.

HASTA LOS CONFINES DEL SISTEMA SOLAR

El Sistema Solar no presenta, ni remotamente, una distribución uniforme. Tenemos una estrella, el Sol, que aglutina más del 99% de la masa total del Sistema, cuatro planetas rocosos de tamaño más bien pequeño (Mercurio, Venus, Tierra y Marte), otros cuatro planetas gaseosos gigantes (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno), varios planetas enanos confirmados (Plutón entre ellos), cientos de miles de asteroides, más de seis mil cometas identificados y más de dos mil objetos helados situados más allá de Neptuno. Pero constituye un vecindario bastante conocido: sabemos que el Sistema Solar se formó hace unos 4.600 millones de años a partir de una única nube de gas y polvo, que comenzó a concentrarse y a rotar hasta aplanarse en forma de disco en cuyo centro, la región más densa y caliente, nació el Sol. A su alrededor se crearon pequeños grumos de gas y polvo, los llamados planetesimales, que poco a poco acumularon suficiente materia para convertirse en planetas, rocosos en las regiones internas y cálidas, y gaseosos en las regiones externas

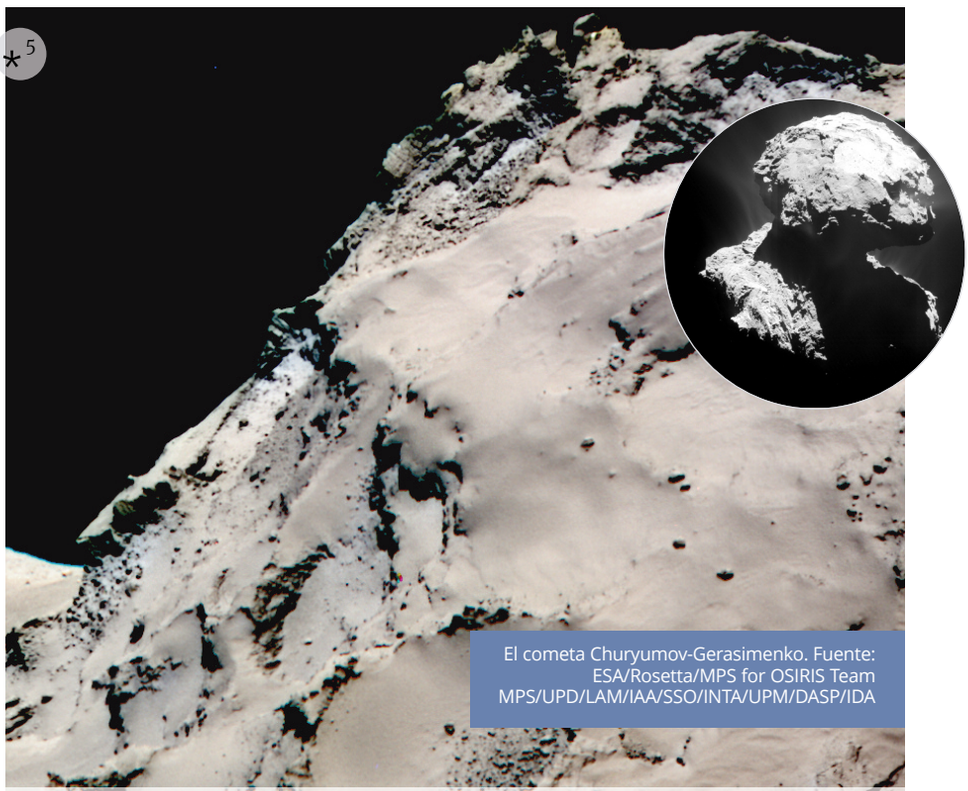
El IAA ha participado en numerosas misiones, tanto a nivel científico como tecnológico

y frías. Encontramos un ejemplo de este proceso en lo que hoy conocemos como cinturón de asteroides, un conjunto de cuerpos rocosos situados entre Marte y Júpiter que constituyen los restos de un planeta que no llegó a formarse debido a la fuerza gravitatoria de Júpiter. También quedaron algunos "escombros" en las regiones más externas del Sistema, que forman el cinturón de objetos transneptunianos (o cinturón de Kuiper) y, mucho más lejos, en la nube de Oort, una burbuja que rodea todo el Sistema Solar y que puede contener millones de cometas.

Dada su proximidad, el estudio de este complejo vecindario se aborda de diversas formas en el Instituto de Astrofísica de Andalucía: hemos participado, por ejemplo, en Mars Express y Venus Express, misiones espaciales de la Agencia Espacial Europea (ESA) que han sobrevolado Marte y Venus respectivamente; en Cassini-Huygens (NASA/ESA) que, además de sobrevolar Saturno, liberó un módulo que descendió sobre la superficie de Titán, una de sus lunas; y en Rosetta*5, una misión pionera al acompañar al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko en su viaje hacia las regiones internas del Sistema Solar.

El IAA ha participado en ellas tanto en la parte técnica como en el aprovechamiento científico de los datos obtenidos, y el futuro depara excitantes novedades con las misiones BepiColombo y ExoMars, que despegaban camino a Mercurio y Marte en 2016 y

*5



El cometa Churyumov-Gerasimenko. Fuente: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

EL COMETA 67P CON TOTAL NITIDEZ

LA MISIÓN ROSETTA NOS HA PERMITIDO CONOCER UN COMETA CON UN DETALLE ÚNICO

Tras recorrer casi seis mil cuatrocientos millones de kilómetros a través del Sistema Solar, la sonda Rosetta se situó en órbita en torno a su objetivo, el cometa 67P, en agosto de 2014. La operación permitió, por primera vez, observar in situ cómo un núcleo cometario desplegaba su actividad y desarrollaba la coma -la mancha difusa central- y las colas, que aportan a los cometas su aspecto característico.

Esta maniobra supuso un hito en la exploración espacial, pero no fue el único: además acompañar a 67P en su viaje hacia las regiones internas del Sistema Solar, la nave liberó un módulo robótico que se posó sobre el núcleo del cometa. Su aterrizaje fue accidentado y no pudo anclarse, pero sí tuvo tiempo para recoger muestras y enviar los datos antes de entrar en hibernación.

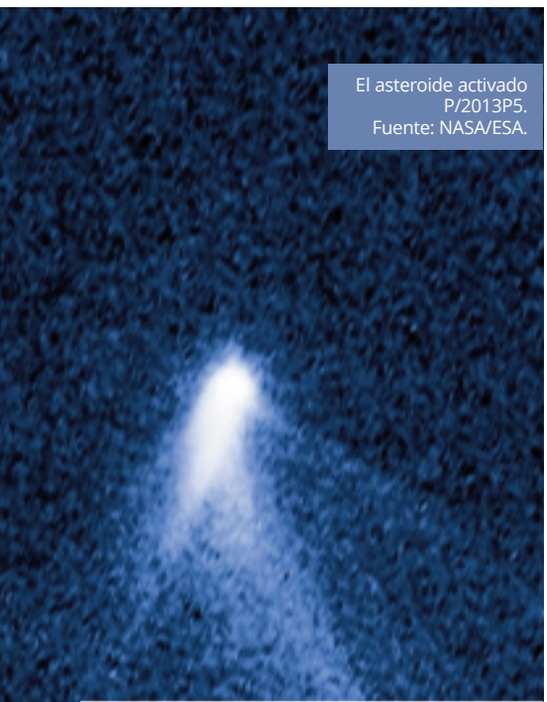
La misión Rosetta supuso una fuente inagotable de sorpresas: las imágenes no mostraban una roca irregular y esférica, sino un cometa bilobulado que parecía un patito de goma; el cometa despertó (o mostró actividad) antes de tiempo; el módulo Philae comprobó que su superficie era más dura de lo esperado (cuando se temía que hasta pudiera hundirse en el polvo suelto); se observaron sus estaciones, sus ciclos de hielo de agua y de dióxido de carbono, y una diversidad de terrenos sorprendente para un cuerpo tan pequeño.

Rosetta permitió detectar varios compuestos clave en los cometas, como oxígeno y nitrógeno molecular, xenón o agua, cuyo estudio apunta a que los cometas sí afectaron a la atmósfera pero no (o no mayormente) a los océanos terrestres. La misión también proporcionó la primera detección inequívoca de glicina en un cometa (la glicina es el único aminoácido que no requiere un medio acuoso para su formación), y multitud de moléculas orgánicas así como fósforo, uno de los elementos clave en los organismos vivos, lo que apoya la teoría de que, en efecto, los cometas surtieron a la Tierra primigenia de moléculas clave para la química prebiótica.

Las observaciones de Rosetta indican que 67P se formó en condiciones muy frías y que su procesado fue mínimo, lo que confirma que su interior es prístino y, por lo tanto, un ejemplo de cómo era el material de la nebulosa durante la formación del Sistema Solar.

El Instituto de Astrofísica de Andalucía participó en dos de los once instrumentos a bordo de la nave, la cámara OSIRIS y el instrumento para el análisis de polvo GIADA, y participa activamente en la obtención de resultados científicos de la misión.

El futuro depara excitantes novedades con las misiones BepiColombo y ExoMars, rumbo a Mercurio y Marte



El asteroide activado P/2013P5. Fuente: NASA/ESA.

EL ASTEROIDE QUE SE ROMPIÓ Y DESARROLLÓ COLAS *6

Los asteroides, a diferencia de los cometas, no se caracterizan por exhibir una cola, pero hay excepciones

Los asteroides del cinturón principal giran en torno al Sol en órbitas casi circulares, de modo que no sufren los cambios de temperatura que, en el caso de los cometas, producen las colas. Sin embargo, ya se han documentado unos veinte casos en los que un asteroide aumenta su brillo y despliega una cola de polvo, como P/2016 J1, un peculiar par de asteroides.

Los pares de asteroides se producen cuando un asteroide progenitor se fragmenta en dos asteroides, o por la desestabilización de sistemas binarios. Los asteroides que forman pares no están ligados gravitatoriamente y van alejándose de manera progresiva, pero dibujan órbitas similares en torno al Sol.

Un estudio, encabezado por el IAA, mostraba que el asteroide P/2016 J1 se fragmentó hace aproximadamente seis años, por lo que el sistema constituye el par de asteroides más joven del Sistema Solar. Pero, además, los dos fragmentos se hallan activados, es decir, muestran estructuras de polvo similares a las de los cometas. Es la primera vez que se observa un par de asteroides con actividad simultánea y los datos apuntan a que la fragmentación del asteroide se produjo en el perihelio de la órbita anterior.

2018 con instrumentación desarrollada en el IAA. En el caso de BepiColombo (ESA/JAXA), que estudiará la composición, geofísica, magnetosfera e incluso la historia de Mercurio, uno de los planetas menos explorados del Sistema Solar, la contribución del IAA se ha centrado en el altímetro láser BeLA, mientras que en el de ExoMars hemos participado en el desarrollo de NOMAD, una pieza clave del orbital de ExoMars específicamente diseñada para estudiar el metano, un gas que en la Tierra producen sobre todo los seres vivos y cuyo hallazgo en Marte supuso una sorpresa en 2004.

En un futuro algo más lejano llegaremos a las lunas heladas de Júpiter: el Instituto de Astrofísica de Andalucía es la única institución española que contribuye tecnológica y científicamente a la misión JUICE (*Jupiter ICy moons Explorer*, ESA), que partirá en 2022 rumbo a Júpiter para estudiar sus características y las de sus principales satélites para analizar las posibilidades del desarrollo de la vida alrededor de los planetas gigantes gaseosos.

Los datos que aportan estas misiones se combinan con estudios desde Granada: el IAA cuenta con un laboratorio experimental que estudia cómo las partículas de polvo dispersan la luz, algo esencial para el estudio tanto de las atmósferas planetarias como de la envoltura de gas y polvo que rodea el núcleo de los cometas.

El estudio de estos últimos, junto con los asteroides*6 y los cuerpos helados más allá de Neptuno*7, constituye una línea de investigación en el centro que busca comprender la historia del Sistema Solar: estos objetos son los bloques originales que, muy transformados, vemos hoy dar forma a cuerpos tan distintos como nuestro sólido planeta y el liviano Saturno, cuya densidad es tan baja que flotaría en el mar.

Y nuestra estrella, el Sol, también es objeto de investigación en el centro: sabemos que tiene manchas (o regiones algo más frías), que sufre fenómenos violentos (que, además de producir las auroras boreales, pueden interrumpir las comunicaciones terrestres e incluso provocar apagones), y que su actividad se ciñe a un ciclo de once años. Sabemos que todo ello se debe a su campo magnético, pero desconocemos con exactitud cómo funciona. Investigadores del IAA estudian ese motor de la actividad solar, y participan de manera destacada en misiones como Sunrise y *Solar Orbiter* (ESA) *8, o en la construcción del Telescopio Solar Europeo (EST).

ESTRELLAS: SU INTERIOR, SUS PULSACIONES Y SUS PLANETAS

Auguste Comte aseguraba, en 1825, que nunca conoceríamos las estrellas de otra forma que como inalcanzables puntos de luz en el cielo debido a su enorme distancia. Claramente, se equivocó.

Las estrellas son enormes esferas de gas (el radio del Sol es ciento nueve veces el de la Tierra, y es una estrella mediana), compuestas sobre todo por hidrógeno y helio, que generan energía gracias a las reacciones termonucleares que se producen en su núcleo: el hidrógeno, su combustible, se convierte en helio en un proceso que produce energía. Esta energía se abre camino hacia la superficie estelar y viaja enormes distancias hasta llegar a nuestros ojos.

En el IAA se estudian las estrellas desde muy diversos puntos de vista y a través de diferentes técnicas: se emplea la fotometría, que mide con precisión el flujo de luz de una estrella y sus posibles variaciones, la espectroscopía, una técnica que descompone su luz y permite estudiar su composición, temperatura o velocidad de rota-



Concepción artística de Haumea y su anillo.

*7

LOS ANILLOS EN MINIATURA DEL SISTEMA SOLAR

LOS SISTEMAS DE ANILLOS, MÁS HABITUALES DE LO QUE SE CREÍA

Hasta hace apenas cinco años se creía que los anillos eran rasgos exclusivos de los grandes planetas gaseosos, como Saturno o Urano. Pero el hallazgo de anillos alrededor de cuerpos no planetarios del Sistema Solar, con participación destacada del IAA, obligó a revisar estas estructuras, aparentemente más comunes de lo que se pensaba.

En 2013 y 2017, respectivamente, dos cuerpos del Sistema Solar ingresaban en el grupo de objetos con anillo: Cariclo, el mayor de una población de objetos conocidos como centauros, que se hallan entre Júpiter y Neptuno y que comparten características tanto con los cometas como con los asteroides; y Haumea, un planeta enano situado más allá de Neptuno con un tamaño, en su lado mayor, similar al de Plutón. Ambos presentan anillos estrechos y confinados, lo que sugiere la existencia de satélites "pastores", cuya gravedad contribuiría a que los anillos permanezcan confinados, como los que se observan alrededor de Saturno y Urano. Sin embargo, existe una diferencia importante entre los planetas gigantes y los cuerpos no planetarios, ya que estos últimos pueden mostrar formas muy irregulares: pueden presentar relieves, como cráteres o montañas, inexistentes en los planetas gaseosos, o mostrar una forma alargada (Haumea, por ejemplo, presenta una forma achatada como un balón de rugby). Así, la dinámica de estos sistemas de anillos en miniatura puede resultar más compleja que la de los planetas gigantes.



*8

UN INSTRUMENTO PARA CARTOGRAFIAR EL CAMPO MAGNÉTICO SOLAR

SO/PHI ES EL MAYOR Y QUIZÁ MÁS COMPLEJO INSTRUMENTO A BORDO DE *SOLAR ORBITER*

La misión *Solar Orbiter* (ESA) girará en torno al Sol en una órbita con una distancia mínima similar a la de Mercurio, lo que le proveerá de una perspectiva única y le permitirá observar los polos del Sol.

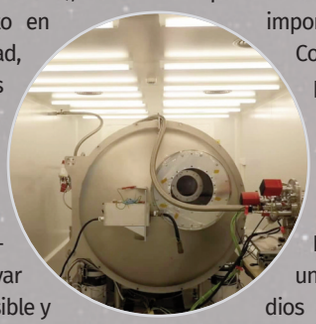
El instrumento SO/PHI, coliderado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), realizará un cartografiado preciso del campo magnético solar, responsable de prácticamente todos los fenómenos que observamos en el Sol, como las manchas, las tormentas solares o el viento solar (un flujo continuo de partículas eléctricamente cargadas que emanan del Sol y viajan por el espacio interplanetario). SO/PHI medirá también la velocidad del plasma en la fotosfera, la capa más interna de la atmósfera del Sol y origen del viento solar.

SO/PHI es heredero del instrumento IMaX, realizado en España para la misión SUNRISE, y se ha diseñado para la toma de imágenes, la polarimetría y la espectroscopía. Además, en lugar de enviar los datos originales, hará la ciencia a bordo: un dispositivo diseñado en el IAA, con una velocidad equivalente a unos cincuenta ordenadores trabajando en paralelo, convertirá las medidas en mapas de las magnitudes físicas solares; las primeras se destruirán para liberar memoria y los segundos se enviarán a tierra.

CARMENES: DETECCIÓN DE EXOPLANETAS Y ESTUDIO DE ATMÓSFERAS *9

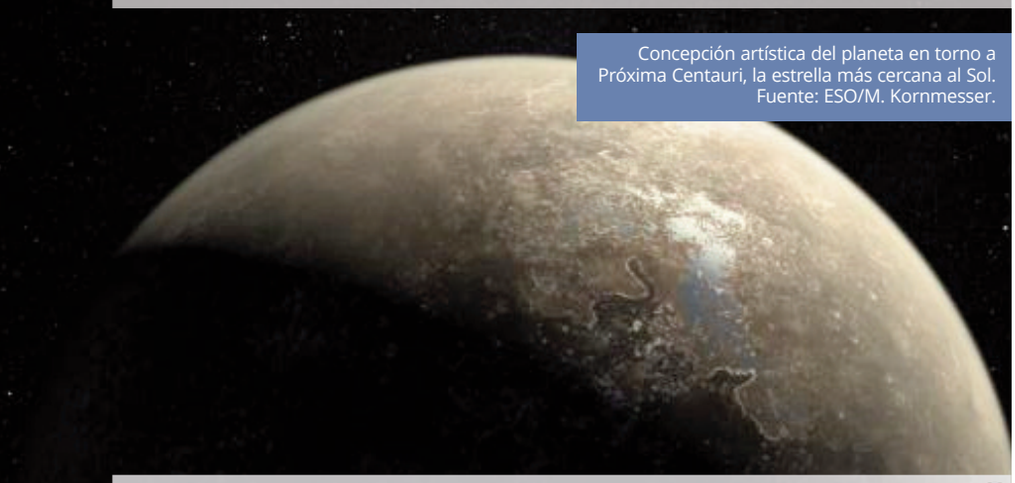
PLANETAS DE TIPO TERRESTRE DESDE CALAR ALTO

CARMENES, un espectrógrafo de alta resolución coliderado por el IAA e instalado en el Observatorio de Calar Alto (Almería), es un instrumento único, tanto en precisión como en estabilidad, cualidades indispensables para medir las pequeñas variaciones de velocidad que un planeta produce en las estrellas.



Se trata realmente de dos instrumentos en uno, al observar de forma simultánea en el visible y en el infrarrojo. Esto le permite realizar detecciones de planetas directas evitando falsos positivos, un campo en el que ya ha demostrado su eficacia y que ha propiciado una colaboración con la misión TESS (MIT-NASA), que constituye uno de los proyectos para la búsqueda de exoplanetas más importantes del momento.

Con más de tres mil ochocientos planetas extrasolares detectados hasta la fecha, el siguiente paso consiste en describir sus características y conocer estos mundos en detalle. Y CARMENES se está posicionando como un instrumento líder en los estudios atmosféricos gracias al canal infrarrojo (CARMENES-NIR), que fue desarrollado en el Instituto de Astrofísica de Andalucía y que constituye una referencia en su campo a nivel mundial.



Concepción artística del planeta en torno a Próxima Centauri, la estrella más cercana al Sol. Fuente: ESO/M. Kornmesser.

PLATO, LA MISIÓN QUE BUSCARÁ EXOTIERRAS HABITABLES *10

TRÁNSITOS PLANETARIOS Y OSCILACIONES ESTELARES

PLATO (ESA) se centrará especialmente en la búsqueda de planetas del tamaño de la Tierra o mayores (lo que se conoce como "supertierras"), que giran en torno a estrellas parecidas al Sol en la zona de habitabilidad. También estudiará las oscilaciones estelares, producidas por el movimiento del gas dentro de las estrellas y que permiten conocer el interior de las estrellas, así como determinar parámetros esenciales como su densidad, composición o dinámica interna.

La misión se compone de un conjunto de veintiséis telescopios que le aportarán una precisión suficiente para hallar planetas más pequeños que la Tierra situados a una distancia a su estrella similar a la existente entre nuestro planeta y el Sol. Estos telescopios podrán combinarse de diferentes formas, trabajando como un solo ojo o divididos en grupos. PLATO estará equipado con el sistema de cámaras más grande enviado nunca al espacio, con un total de ochenta millones de píxeles.

Esta misión supondrá un hito en la participación tecnológica española en misiones espaciales europeas. En particular, el Instituto de Astrofísica de Andalucía será el responsable, en colaboración con la Universidad de Granada, del diseño y construcción de la unidad electrónica principal de la misión.

ción, y la astrosismología, que mide las oscilaciones en la superficie de las estrellas, un fenómeno parecido a los terremotos terrestres pero, en este caso, causado por el movimiento del gas en su interior. La misión internacional CoRoT, en la que participó el Instituto de Astrofísica de Andalucía, empleaba esta técnica, que permite analizar la estructura interna de las estrellas.

CoRoT fue pionera en los estudios astrosismológicos pero, también, en la búsqueda de planetas más allá de nuestro Sistema Solar, un campo en el que, en el IAA, le han tomado el relevo CARMENES*9 y PLATO*10, y en el que el centro atesora varios hitos científicos recientes: en 2016 se hallaba un planeta de tipo rocoso en torno a la estrella más cercana al Sol, Próxima Centauri. Situado en la zona de habitabilidad de la estrella, o la región donde las condiciones permiten la existencia de agua líquida, el planeta Próxima Centauri b tiene una masa mínima equivalente a 1,3 veces la terrestre y gira en torno a su estrella cada 11,2 días a una distancia de unos siete millones de kilómetros. Esta distancia supone tan solo un 5% de la existente entre la Tierra y el Sol, pero Próxima es mucho más fría que el Sol y, por ello, la zona de habitabilidad se halla mucho más cercana que en el caso de nuestra estrella. Y, en 2018, se hallaba una supertierra fría orbitando alrededor de la estrella de Barnard, el segundo sistema estelar más cercano a la Tierra. Ambos hallazgos se han producido en estrellas rojas de baja masa y en la vecindad solar, y suponen un impulso para continuar la búsqueda de exoplanetas en torno a nuestros vecinos estelares.

En el IAA también se desarrollan herramientas teóricas que ayudan a comprender las observaciones y que se centran en aspectos específicos, como la rotación de la estrella, sus modos de oscilación, su estadio evolutivo o, incluso, las características de su atmósfera*11.

EL MEDIO INTERESTELAR Y EL NACIMIENTO DE LAS ESTRELLAS

¿Y qué ocurre en el espacio que hay entre las estrellas? Existe una tendencia a pensar que se trata de un espacio vacío y, aunque constituye un entorno extremadamente tenue, el medio interestelar, formado por gas y un pequeño porcentaje de polvo, resulta fundamental para comprender cómo funcionan las galaxias. Tanto, que cuesta imaginar el

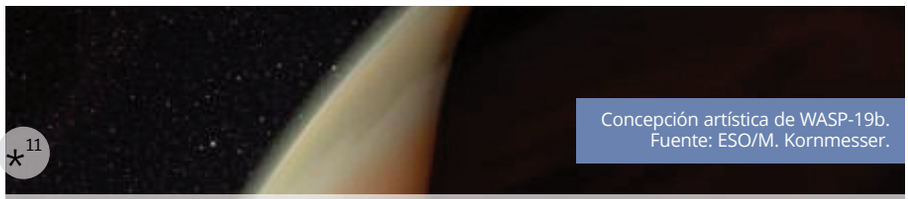
El IAA atesora varios hitos científicos recientes sobre exoplanetas

ciclo de vida de las estrellas sin él.

Las estrellas se forman en las nubes moleculares, regiones especialmente densas del medio interestelar, y son las responsables de enriquecerlo. Mediante las reacciones nucleares que se producen en su interior, las estrellas generan elementos cada vez más pesados y, cuando mueren, expulsan al medio la mayor parte de su masa; así este se va enriqueciendo y surgen generaciones de estrellas que, al igual que el Sol, ya cuentan desde su nacimiento con elementos más pesados que el hidrógeno y el helio que componían las primeras generaciones. En el IAA se estudia el ciclo de vida de las estrellas, con especial atención a las primeras y últimas etapas, durante las que su relación con el entorno resulta significativa.

Las primeras nos remiten a épocas en la que las estrellas aún no brillan, lo que conocemos como protoestrellas, que crecen acumulando gas de la nube molecular progenitora mediante un disco en rotación a su alrededor. Al mismo tiempo, estos embriones estelares liberan el material sobrante a través de dos chorros que emergen de los polos y que, según un estudio reciente coordinado por el IAA podrían inducir, a su vez, la formación de una estrella en el vecindario: el choque del material a alta velocidad del chorro podría generar inestabilidades en otras regiones de la nube molecular y desencadenar el nacimiento de otra estrella.

La formación de las estrellas nos lleva, necesariamente, a la de los planetas. A lo largo de las últimas décadas, el descubrimiento de miles de planetas en torno a otras estrellas ha demostrado una gran diversidad de sistemas planetarios*12, cuya arquitectura desafía nuestra comprensión de



Concepción artística de WASP-19b. Fuente: ESO/M. Kornmesser.

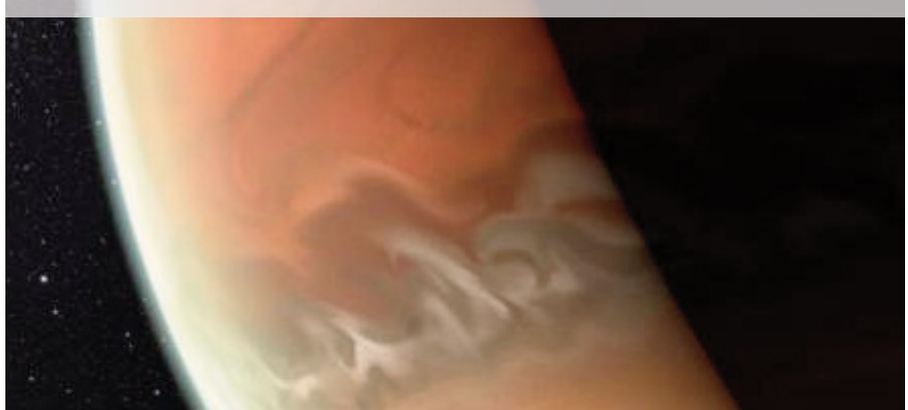
*11

ESTUDIO SIN PRECEDENTES DE LA ATMÓSFERA DE UN PLANETA EXTRASOLAR

Abre las puertas para el estudio detallado de la química en las atmósferas exoplanetarias

WASP-19b resulta especialmente exótico porque cuenta con una masa algo mayor que la de Júpiter pero es un 40% mayor -lo que lo sitúa casi en el rango de las estrellas de baja masa-, y es el planeta gigante con el periodo orbital más corto conocido: gira en torno a su estrella en apenas diecinueve horas y se estima que la temperatura de su atmósfera alcanza los mil setecientos grados centígrados.

Cuando WASP-19b pasa por delante de su estrella, la luz de esta atraviesa la atmósfera del planeta y sufre pequeñas modificaciones. Un análisis cuidadoso de esa luz permite aislar la huella de los elementos químicos que componen la atmósfera del planeta, y así ha sido posible hallar pequeñas cantidades de óxido de titanio, agua y sodio, así como una especie de neblina que cubre el planeta. La presencia de óxido de titanio en la atmósfera de WASP-19b puede tener efectos sustanciales sobre la estructura y circulación de la temperatura atmosférica. Este estudio, en el que participaba el IAA, abre la puerta al análisis en detalle de la química atmosférica en planetas extrasolares.

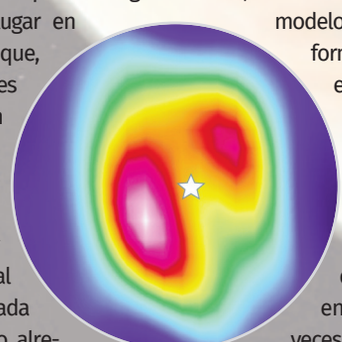


*12

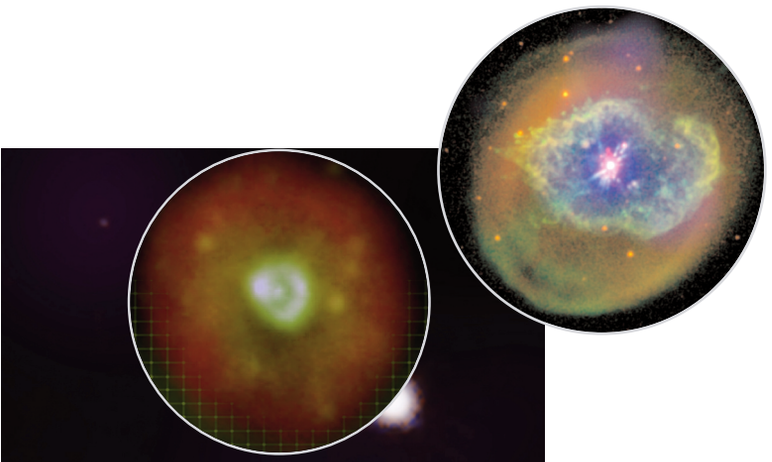
UN DISCO DE FORMACIÓN PLANETARIA EN MINIATURA

Podría desvelar la gestación de planetas en tiempo real

El descubrimiento, encabezado por investigadores del IAA, ha tenido lugar en torno a la estrella XZ Tau B que, con menos de cinco millones de años de edad, es tan joven que aún no ha terminado su proceso de contracción. Esta joven estrella está rodeada de un disco de gas y polvo con una cavidad central que parece haber sido creada por protoplanetas orbitando alrededor de la estrella. Con un tamaño decenas de veces menor que nuestro Sistema Solar, el disco en torno a XZ Tau B confirma los modelos que indicaban que podrían formarse discos enanos, y que encaja con el hallazgo del satélite Kepler de sistemas planetarios extremadamente compactos.



Debido a su reducido tamaño, la evolución del disco en torno a XZ Tau B será entre cincuenta y quinientas veces más rápida que en los sistemas mayores, de modo que puede seguirse en tiempo real.



Arriba, HuBi1. Derecha, Abell 78 (telescopios XMM-Newton y NOT).

ESTRELLAS RENACIDAS

*13

ALGUNAS NEBULOSAS PLANETARIAS TOMAN CAMINOS EVOLUTIVOS DISTINTOS

Abell 78 se formó como todas las nebulosas planetarias. Sin embargo, en un determinado momento se encendió la fusión de helio en una de sus capas intermedias lo que produjo la eyección de parte del material y una dilatación tal que la estrella retomó las características de una gigante roja. Tras esta segunda fase de gigante roja, la estrella volvió a contraerse y comenzó a emitir un viento estelar muy veloz. El material eyectado durante la "primera muerte" fue entonces barrido por este viento e ionizado por su radiación ultravioleta, y se observan unos grumos con forma radial que emergen de la estrella central.

HuBi1, por su parte, parece una nebulosa planetaria doble típica, con una envoltura de gas difusa exterior y un cascarón central brillante, pero un trabajo liderado por el IAA revelaba una estructura de ionización invertida cuya región interna, más fría que la externa, desafiaba las leyes básicas de la termodinámica y apuntaba a un episodio peculiar en su evolución: la estrella central de HuBi1, en lugar de apagarse progresivamente, revivió gracias a un pulso térmico tardío que fusionó el helio de su superficie.

HuBi1 ha sido capturada en el momento en el que su estrella central se ha transformado en una estrella pobre en hidrógeno de tipo [WC]. El origen de estas estrellas, presentes en un 15% de nebulosas planetarias, no había podido ser identificado hasta ahora. En este proceso se produjo la expulsión de grandes cantidades de gas a una velocidad superior a la de la nebulosa primigenia, y la interacción de ambos tipos de material generó choques y la doble estructura que se observa.

cómo se forman los planetas. La búsqueda de discos de gas y polvo en torno a estrellas jóvenes, germen de los sistemas planetarios, resulta fundamental para explicar los nuevos mundos observados. Se trata de un campo de investigación relativamente joven y que, en el Instituto de Astrofísica de Andalucía, se afronta desde el punto de vista multidisciplinar, involucrando investigadores expertos en formación de discos protoplanetarios, física estelar y Sistema Solar. Esta colaboración ha hallado uno de sus objetivos claros en Próxima Centauri, y observaciones realizadas con el interferómetro ALMA, situado en el desierto de Atacama (Chile), revelaban en 2017 la emisión de nubes frías de polvo en torno a la estrella. Parte de este material se encuentra distribuido en un cinturón que se extiende a unos pocos cientos de millones de kilómetros de ella, y se detectaron señales de la existencia de un segundo cinturón diez veces más alejado y mucho más frío que el primero. Se trata del primer indicio de que existe un complejo sistema planetario en torno a la estrella más cercana al Sol, con un rico pasado en interacciones que dieron lugar a la formación de uno o varios cinturones de polvo. Estudios más profundos proporcionarán más información para localizar la ubicación de posibles planetas aún no identificados.

EL MEDIO INTERESTELAR Y LA MUERTE DE LAS ESTRELLAS

Las estrellas, en su proceso de formación, toman del medio interestelar el material necesario hasta que el núcleo alcanza la temperatura suficiente para desencadenar reacciones nucleares y comienzan a brillar. Esto se considera el inicio de su etapa adulta, cuya duración depende de lo que tarde la estrella en agotar el hidrógeno, lo que, a su vez, depende de la masa: una estrella mediana como el Sol vivirá unos diez mil millones de años en esta fase, mientras que una estrella con diez masas solares lo hará solo unos cien millones de años. Al agotarse el hidrógeno, la estrella comienza a hundirse bajo su propio peso, proceso que calienta las capas externas, que se dilatan y expanden. La estrella aumenta su radio y comienza la etapa de gigante roja, momento en el que las historias de las estrellas siguen distintos caminos.

En el caso de estrellas de masa intermedia comienza a quemarse helio en el núcleo, mientras la dilatación de la envoltura continúa hasta que el núcleo pierde control sobre ella y se expande libre en el espacio. El núcleo, una estrella enana blanca muy caliente, produce radiación ultravioleta y un viento estelar que, al interaccionar con el material de la envoltura, hacen que emita luz. Así se genera un bellísimo fenómeno astrofísico, una nebulosa planetaria. Todas las estrellas de menos de diez masas solares (incluido el Sol) terminan sus vidas como nebulosas planetarias. Pero aún no conocemos muchos detalles de esta breve pero importante etapa final: un estudio coordinado por el IAA mostraba en 2015 que este escenario, que se concebía como un proceso tranquilo, podía tener componentes explosivos. Igualmente, investigaciones desarrolladas en el centro han puesto de manifiesto procesos en la muerte de las estrellas de masa intermedia que implica el "renacimiento" de las estrellas*13.

Ahora, ¿qué ocurre con las estrellas muy masivas? Entramos en un terreno explosivo que involucra una enorme liberación de energía, el de las supernovas. Las estrellas con más de ocho masas solares sí fusionan elementos más pesados tras agotar el hidrógeno, y forman una estructura similar a la de una cebolla: las capas más externas albergan hidrógeno y helio y, a medida que avanzamos hacia el núcleo de la estrella, encontramos carbono, nitrógeno, oxígeno y elementos cada vez más

En el IAA estudiamos estos fenómenos explosivos de foma individual, así como su influencia colectiva en el entorno

pesados. Hasta el hierro. El núcleo estelar no puede fusionar hierro, de manera que la estrella deja de producir energía y las capas externas colapsan, lo que produce una explosión cuyo brillo puede competir con el de la galaxia que la alberga y que genera dos objetos igualmente extremos, una estrella de neutrones o un agujero negro. Ambos constituyen versiones póstumas del núcleo estelar y muestran densidades extremas -en el caso de los agujeros negros tanto que ni la luz puede escapar de su atracción gravitatoria-.

En el IAA estudiamos estos fenómenos explosivos de forma individual*14, así como su influencia colectiva en el entorno*15, y también otro fenómeno que llevan asociado las versiones más intensas de las supernovas, los estallidos de rayos gamma (o GRBs, de su nombre en inglés). Se trata de intensos destellos de rayos gamma con una duración de entre una centésima de segundo y varios minutos, y que son tan impredecibles como escurridizos. Sin embargo, la observación con grandes telescopios en tierra y la combinación de la observación con satélites y telescopios robóticos, como los pertenecientes a la Red BOOTES gestionada por el IAA, comienza a aportar luz a un fenómeno que, hace apenas quince años, constituía uno de los mayores enigmas de la astrofísica.

Hoy sabemos que los GRBs cortos se produ-

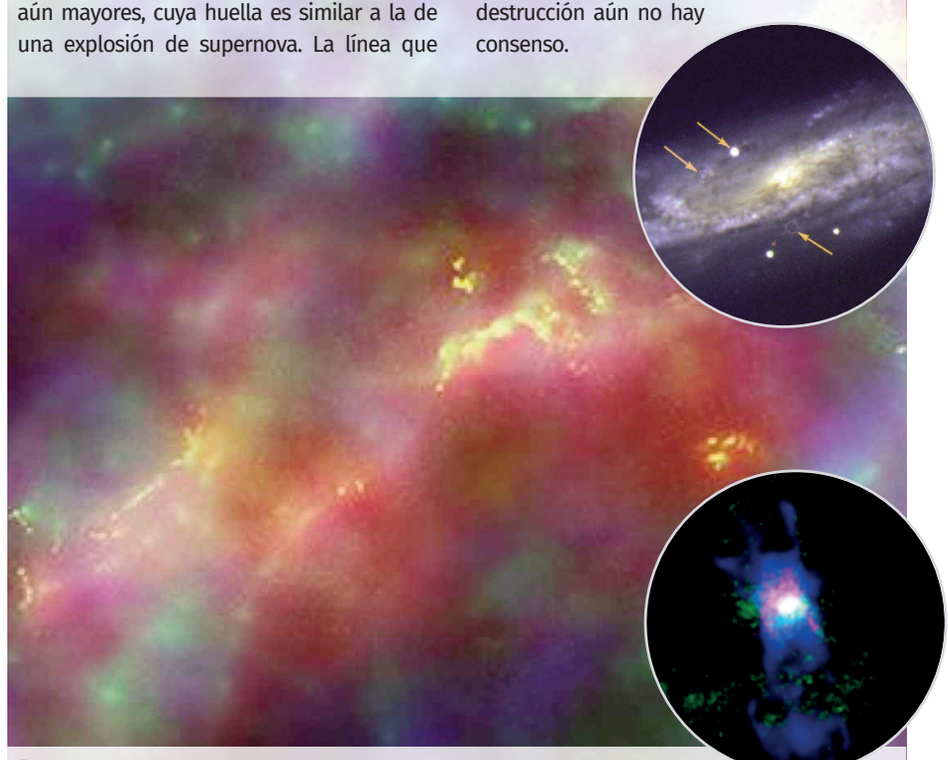
*14

SN2015BH: ¿UNA SUPERNOVA "IMPOSTORA"?

SE ESTUDIA UN ESTALLIDO QUE PODRÍA REMITIR A UNA SUPERNOVA O A UNA ERUPCIÓN GIGANTESCA QUE ANTICIPA UN CAMBIO EVOLUTIVO

Las estrellas variables luminosas azules muestran dos tipos de variabilidad: erupciones regulares, tras las que la estrella regresa a su estado anterior, y erupciones gigantescas, que hacen que la estrella sufra transformaciones. Un caso paradigmático es el de Eta Carina, una estrella que ha perdido más de cuarenta veces la masa del Sol a través de erupciones y viento solar.

Algunas de estas estrellas sufren erupciones aún mayores, cuya huella es similar a la de una explosión de supernova. La línea que separa estas supernovas "impostoras" y las verdaderas resulta muy fina y es aún objeto de debate, y el caso de SN2015bh constituye un ejemplo de las dificultades que entraña conocer si, en efecto, una explosión ha puesto fin a la vida de una estrella. De hecho, la evolución de SN2015bh resulta prácticamente una copia de la de SN2009ip, un ejemplo paradigmático de posible supernova impostora que estalló en 2012 y sobre cuya destrucción aún no hay consenso.



*15

UN GIGANTESCO FLUJO DE GAS GENERADO POR SUPERNOVAS

LA GALAXIA ARP 299-A, EN PROCESO DE FUSIÓN CON OTRA GALAXIA, DESTACA POR SUS INTENSOS BROTES DE FORMACIÓN ESTELAR Y SU ALTA TASA DE PRODUCCIÓN DE SUPERNOVAS

En el IAA llevamos años investigando esta galaxia, que debido a la interacción con la galaxia compañera está generando brotes de formación de estrellas y permite estudiar casi en tiempo real cómo las estrellas nacen, mueren e interaccionan con el medio .

Uno de los rasgos más interesantes de esta galaxia es, precisamente, su alta tasa de producción de supernovas: si en una galaxia como la Vía Láctea se espera una supernova cada cincuenta años, se estima que en Arp 299-A se produce alrededor de una por año. Sin embargo, el hallazgo de un flujo de material de enormes dimensiones, que se extiende más de nueve mil años luz y libera un mínimo de diez masas solares por año a una velocidad de entre 370 y 890 kilómetros por segundo, supuso una sorpresa. El grupo de investigadores halló que es la actividad generada por las estrellas, sobre todo por las explosiones de supernova, la responsable de la estructura.

PRIMER ESTUDIO SIMULTÁNEO EN LUZ Y ONDAS GRAVITATORIAS *16

QUINTA DETECCIÓN DE ONDAS GRAVITATORIAS, PERO LA PRIMERA EN LA QUE SE LOCALIZA Y ESTUDIA LA CONTRAPARTIDA EN ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Tras siglos estudiando el universo en ondas electromagnéticas –lo que llamamos luz–, la detección en 2015 de ondas gravitatorias abrió una nueva ventana al cosmos. El origen de esta nueva emisión se hallaba en la fusión de dos agujeros negros, objetos que no emiten luz y solo pueden estudiarse a través de su influencia gravitatoria.

En 2017, un estudio internacional en el que participaba el IAA permitía, por primera vez, observar un objeto en luz y ondas gravitatorias: una fusión de dos estrellas de neutrones que inauguraba una nueva era en la observación del universo.

El hallazgo y estudio tanto de las ondas gravitatorias como de la luz de este fenómeno ha permitió establecer un cuerpo de conocimiento único de un objeto celeste: las ondas gravitatorias revelaron su masa, rotación, distancia y posición en el cielo, en tanto que las ondas electromagnéticas permitían estudiar su entorno (una galaxia envejecida que, posiblemente, se fusionó con otra en su pasado reciente), la hidrodinámica y la formación de elementos en el material expulsado.

Una investigación posterior, que implicaba el seguimiento de este fenómeno durante doscientos días y en la que también participaba el IAA confirmaba que, tras la fusión, se produjo un chorro de partículas que atravesó la envoltura y se propagó a velocidades próximas a la de la luz. Este chorro mostraba tanta energía como la producida por todas las estrellas de nuestra Galaxia durante un año entero. El estudio sugiere que más del 10% de estas fusiones deberían producir chorros similares.

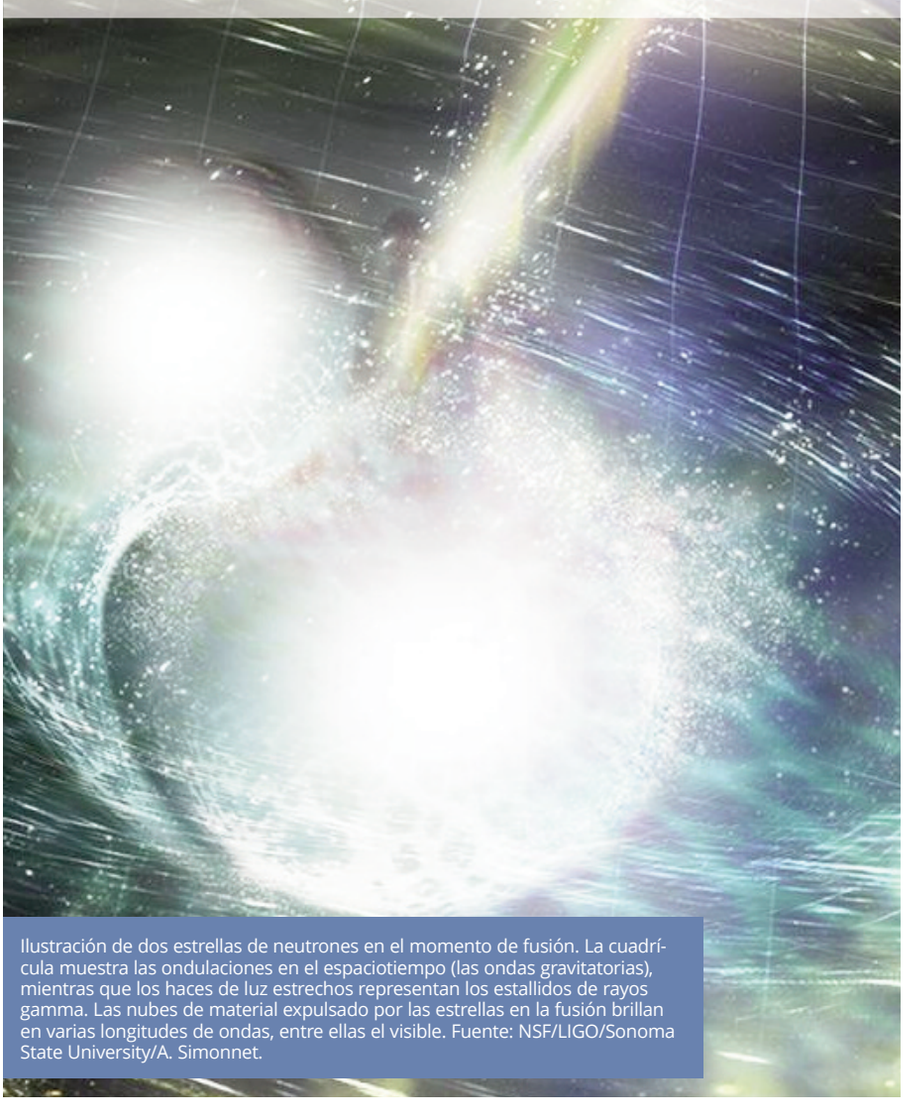


Ilustración de dos estrellas de neutrones en el momento de fusión. La cuadrícula muestra las ondulaciones en el espaciotiempo (las ondas gravitatorias), mientras que los haces de luz estrechos representan los estallidos de rayos gamma. Las nubes de material expulsado por las estrellas en la fusión brillan en varias longitudes de ondas, entre ellas el visible. Fuente: NSF/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet.

cen, muy probablemente, por la fusión de dos estrellas de neutrones*16, mientras que los largos se deben al colapso de estrellas muy masivas: al derrumbarse sobre sí mismo, el núcleo genera un agujero negro o una estrella de neutrones y, al tiempo, surgen dos chorros polares de materia que atraviesan las capas externas de la estrella y que, al emerger al medio, producen los GRBs. Después tiene lugar la explosión de hipernova, decenas de veces más intensa que una supernova. Una investigación coordinada por el IAA y publicada en 2019 aportaba una pieza para completar el relato que vincula las hipernovas con los GRB, al observar una envoltura caliente que se forma en torno al chorro en propagación: el chorro transfiere una parte importante de su energía a la envoltura y, si logra atravesar la superficie de la estrella, producirá la emisión de rayos gamma. Sin embargo, el chorro puede malograrse dentro de la estrella y no emerger al medio al carecer de energía suficiente, circunstancia en la que se produce una hipernova pero no un GRB.

HASTA LOS NÚCLEOS DE LAS GALAXIAS

Hasta ahora hemos contemplado las estrellas como entidades individuales, pero si queremos poner un poco de contexto hay que hablar de cómo se agrupan. Además de formar sistemas binarios o múltiples, existen dos tipos de agrupaciones estelares básicas: los cúmulos abiertos, compuestos por estrellas jóvenes y calientes, y los cúmulos globulares, que agrupan hasta millones de estrellas, aunque en este caso viejas y frías. Y, si buscamos sociedades estelares aún mayores, llegamos a las galaxias, que son conjuntos de estrellas, gas y polvo que se mantienen unidos por la fuerza de la gravedad (esta es la definición muy muy breve, claro; si entramos en detalle

La Vía Láctea no lleva una vida apacible y aislada, sino que sigue en proceso de “construcción”

habría que hablar de materia oscura, campos magnéticos, agujeros negros supermasivos, de los distintos tipos de galaxias -espirales, elípticas e irregulares, cada una con características muy concretas-, de galaxias jóvenes o viejas, de galaxias perturbadas por la interacción con otras, y un largo etcétera).

La nuestra, la Vía Láctea, es una galaxia espiral que contiene entre cien y cuatrocientos mil millones de estrellas y forma parte del cúmulo de galaxias llamado Grupo Local, que incluye también a Andrómeda y otras treinta galaxias de menor tamaño. Su interacción con las galaxias vecinas constituyó la pista inequívoca para dilucidar su origen: la Vía Láctea se formó por la fusión de varias galaxias enanas y no lleva una vida apacible y aislada, sino que sigue en proceso de “construcción”. La gran evidencia se halló en 1994, escondida tras las densas regiones centrales de la Vía Láctea: se trata de la galaxia enana de Sagitario, que gira en torno a la Vía Láctea y que, se anticipa, no sobrevivirá una órbita más y se fusionará con ella en unos setecientos cincuenta millones de años. Astrónomos del Instituto de Astrofísica de Andalucía estudian las poblaciones estelares de la Vía Láctea y participan, por ejemplo, en Gaia (ESA), un satélite que este año completa su misión de recoger datos de mil millones de estrellas para construir el mapa en tres dimensiones de la Vía Láctea más completo jamás construido.

Gaia permitirá desvelar la historia de nuestra galaxia, desde sus orígenes hasta el estado actual, pero para obtener una imagen completa hay que estudiar también lo que no se ve: a 26.000 años luz de la Tierra, en el centro la Vía Láctea, habita Sagitario A* (SgrA*), un agujero negro supermasivo cuya existencia, propuesta hace más de treinta años, no fue confirmada hasta finales del siglo pasado*17. Los astrónomos observaron estrellas girando alrededor del



De fondo, regiones centrales de la Vía Láctea (NASA/ESA). A la derecha, posición de las estrellas más cercanas a Sagitario A* -estrella central- (Keck/UCLA Galactic Center Group)

*17

GALACTIC NUCLEUS: ESTUDIO PIONERO EN EL IAA SOBRE EL CENTRO GALÁCTICO

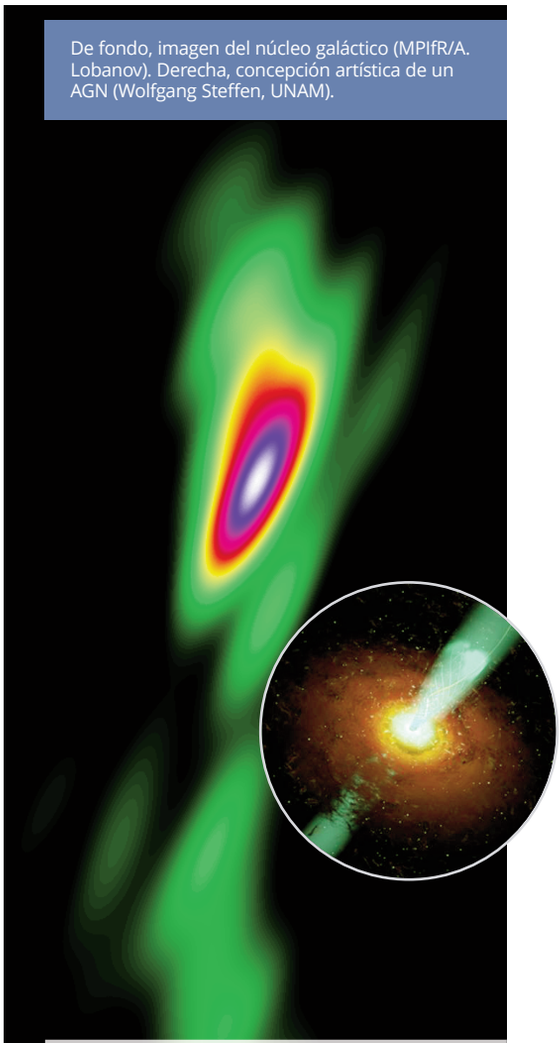
EL ENTORNO DE SGRA*: UN IMPRESIONANTE LABORATORIO ASTROFÍSICO

El centro de la Vía Láctea representa el único núcleo galáctico y el ambiente astronómico más extremo que podemos examinar en escala de milipársecs (más o menos el doble del radio de influencia del Sol, una distancia verdaderamente pequeña a nivel astronómico). Esta precisión permite estudiar de manera individual las estrellas del centro galáctico, algo imposible en el caso de los núcleos de otras galaxias, que solo permiten analizar la luz difusa de miles de fuentes no resueltas individualmente.

Así, la región central de nuestra galaxia constituye un laboratorio fundamental para investigar los núcleos galácticos y su papel en la evolución de las galaxias, pero aún disponemos de datos muy limitados para examinar la componente estelar del centro galáctico, que apenas cubren el uno por ciento del área proyectada. Casi todos los estudios se han centrado en el entorno inmediato de Sagitario A*, la región más densa, energética y con la tasa de formación estelar más alta de la galaxia.

El proyecto *Galactic Nucleus* (ERC) busca resolver cuestiones abiertas incrementando en más de diez veces nuestro conocimiento actual de la población estelar que rodea a Sagitario A* en un radio de entre uno y cien pársecs (un pársec equivale a 3,26 años luz).

De fondo, imagen del núcleo galáctico (MPIfR/A. Lobanov). Derecha, concepción artística de un AGN (Wolfgang Steffen, UNAM).



LA IMAGEN CON MAYOR RESOLUCIÓN DE LA HISTORIA

MUESTRA LAS ENTRAÑAS DEL NÚCLEO ACTIVO DE UNA GALAXIA

Desde 1974, la técnica conocida como interferometría de muy larga base (VLBI por su acrónimo en inglés) permite que múltiples radiotelescopios separados geográficamente trabajen al unísono, funcionando como un telescopio con un diámetro equivalente a la distancia máxima que los separa. Esta técnica ha aportando imágenes con una resolución antes inconcebible, más de mil veces mejor que las que obtiene el telescopio espacial Hubble.

En 2016, una colaboración internacional batía todos los récords gracias al uso combinado de quince antenas terrestres y la antena de la misión espacial RadioAstron (Agencia Espacial Rusa), en órbita alrededor de la Tierra. El trabajo, liderado por el IAA, aportaba nuevas claves para el estudio de las galaxias activas, donde un agujero negro supermasivo absorbe el material que le rodea al tiempo que produce un par de chorros (o jets) de partículas energéticas que viajan a velocidades cercanas a la de la luz.

Décadas de investigación llevaron a un modelo que agrupaba estas galaxias peculiares, y que involucraba la existencia de un agujero negro de cientos o miles de millones de soles

centro galáctico a velocidades de mil quinientos kilómetros por segundo (cincuenta veces más rápido que la Tierra alrededor del Sol), y solo la fuerza gravitatoria de un agujero negro podría retener a estas estrellas en sus aceleradísimas órbitas.

Se estima que, a lo largo de su vida, Sgr A* ha absorbido una cantidad de materia equivalente a más de dos millones de soles. No obstante, se considera un agujero negro en letargo, lo que nos introduce en un tipo de objetos que cambiaron el modo de entender las galaxias, los núcleos activos de galaxias (AGNs, del inglés). Hablamos de galaxias cuya energía, muy superior a la que pueden producir sus estrellas, se halla concentrada en la región central, o núcleo. Nuestra comprensión de los AGNs constituye un bonito ejemplo de cómo avanza el conocimiento científico. A lo largo del siglo pasado se fueron acumulando descubrimientos de galaxias "peculiares": en los años 40 se hallaron las galaxias Seyfert, con un núcleo muy compacto y brillante e indicios de gas moviéndose a altísimas velocidades; a partir de los años 50 comenzaron a estudiarse las radiogalaxias, un tipo de galaxias que en el visible parecen normales pero que en radio muestran una emisión muy intensa a ambos lados del núcleo; en 1960 se halló el primer cuásar, un objeto que se veía como una "débil estrellita azul" pero que resultó ser una monstruosa fuente de energía situada a más de tres mil años luz de distancia; y a finales de los años 70 se descubrió que unos objetos clasificados como estrellas variables eran en realidad galaxias activas muy luminosas y distantes, los BL Lacertae*18.

Décadas de investigación llevaron a un modelo que agrupaba todos estos objetos, y que involucra la existencia de un agujero negro de cientos o miles de millones de soles. Es la materia existente en el entorno del agujero negro la que, en su proceso de caída, libera grandes cantidades de energía, y más allá encontramos nubes de gas a gran velocidad y una estructura de gas y polvo con forma de toroide (o rosquilla) que rodea el objeto. En algunos casos, en torno a un 10% de los AGNs, se observan también dos chorros de partículas que viajan casi a la velocidad de la luz que emanan del núcleo, en dirección más o menos perpendicular al plano del toroide.

A principios del siglo XXI se constató que todas las galaxias con masas parecidas a la de la Vía Láctea o mayores albergan un agujero negro supermasivo en su centro. Además, aunque estamos hablando de regiones con tamaños completamente diferentes, la masa de este agujero negro descomunal está relacionada con la masa central de la galaxia que lo alberga, lo que apunta a una conexión entre el proceso de formación de la galaxia y del agujero negro y que, además, parece tener mucho que ver con la evolución del universo, ya que la época más activa de formación estelar se corresponde con el máximo en actividad nuclear en el universo.

Sin embargo, debemos entender qué ha de ocurrir para que una galaxia sea activa (o no, como el caso de la Vía Láctea y muchas otras). Sabemos que los procesos de fusión de galaxias pueden alimentar al agujero negro, así como generar brotes muy intensos de formación de estrellas. También que los procesos generados por el propio agu-

jero negro pueden afectar su galaxia, a través de vientos que alteran las regiones que atraviesan ya sea inhibiendo o incrementando la formación de estrellas. Así pues, el estudio de las galaxias activas permite vislumbrar una parte importante de la evolución de las galaxias.

Ahora, ¿por qué observamos un tipo u otro de galaxia activa? En buena medida, se debe a la orientación: dependiendo de su posición con respecto a nosotros, el toroide mostrará o velará la parte central de la galaxia, donde se produce la energía, y los chorros aparecerán amplificados o debilitados si apuntan o no hacia nosotros. Se trata de un esquema que, en general, funciona muy bien, pero al que hay que añadir otros factores en cada caso concreto, como las características concretas del toroide, la masa del agujero negro o su capacidad de acumular materia, y que determinarán si un núcleo activo es más o menos poderoso.

En el IAA nos ocupamos de núcleos activos en todo el rango, desde los más potentes, los cuásares, hasta los que muestran baja luminosidad. En cuanto a los primeros hemos hallado que, además de los cuásares lejanos, muy energéticos, de rápida evolución y asociados a grandes fusiones de galaxias, existe una población de cuásares que evoluciona a un ritmo mucho más pausado. En cuanto a los núcleos activos menos potentes, que constituyen la mayoría, nuestro estudio multifrecuencia nos permite analizar la posibilidad de que el esquema utilizado de modo general para los núcleos activos más potentes (con el agujero negro supermasivo, el disco de acrecimiento y el toroide) necesite modificarse al desaparecer el toroide a estas bajas luminosidades. También, en todo el rango de galaxias



En el IAA nos ocupamos de núcleos activos en todo el rango, desde los más potentes, los cuásares, hasta los que muestran baja luminosidad

NGC 1433, una galaxia activa que presenta un complejo sistema de anillos, barras y espirales que guían el gas hacia el agujero negro supermasivo central.
Fuente: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/NASA/ESA/F. Combes



Fragmento del mapa del cielo del proyecto ALHAMBRA, un cartografiado de más de quinientas mil galaxias.

En el IAA se han gestado dos grandes cartografiados de galaxias, ambos desarrollados desde el Observatorio de Calar Alto: ALHAMBRA y CALIFA

activas, investigamos las condiciones necesarias para encender la actividad en los núcleos galácticos (o los factores que provocan que un agujero negro supermasivo salga de su letargo), así como el papel que juegan la actividad nuclear y el entorno en la evolución de las galaxias.

MILES DE MILLONES DE GALAXIAS

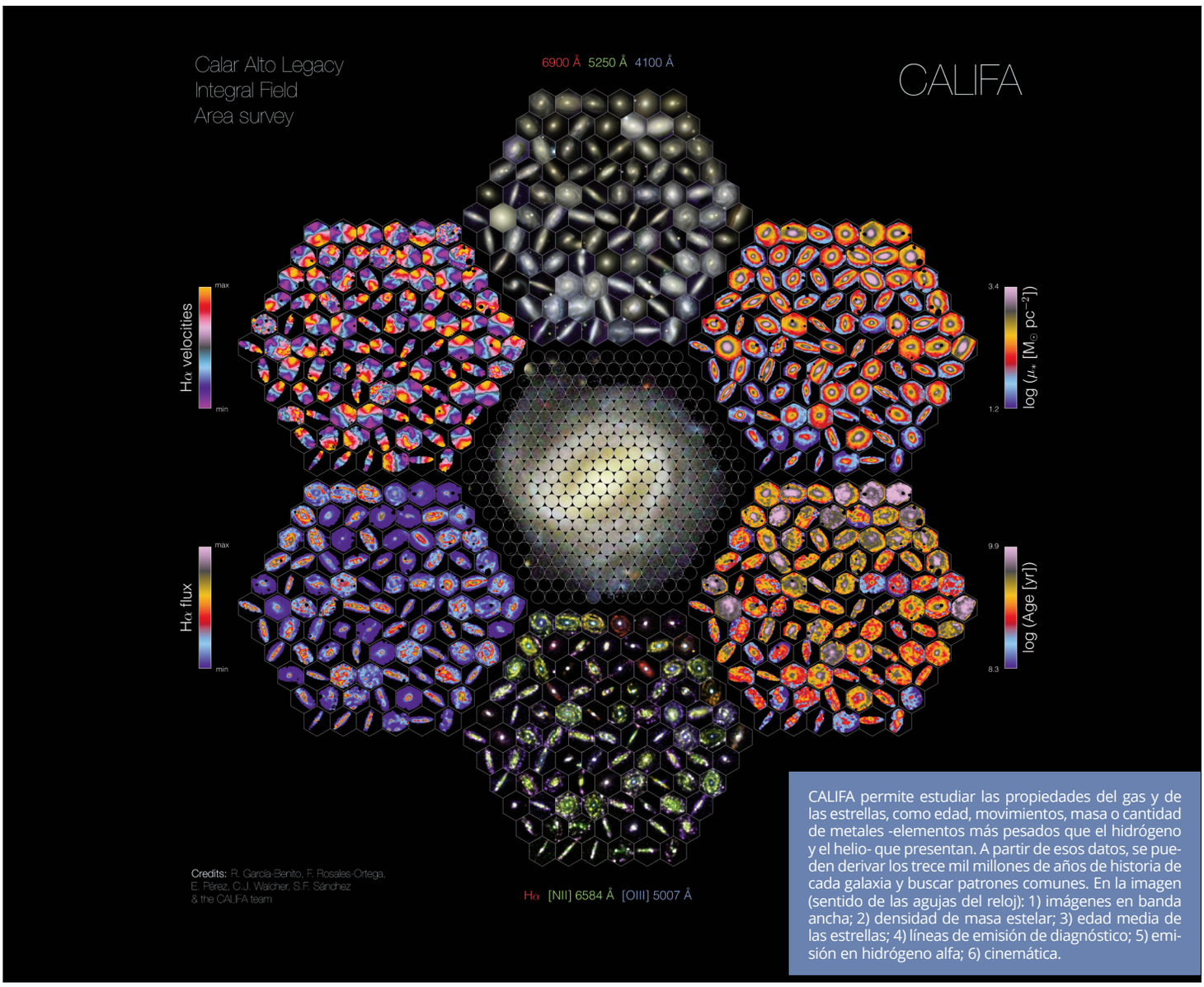
Hemos cerrado el párrafo anterior con un concepto clave en astronomía, la evolución de las galaxias, que en el Instituto de Astrofísica de Andalucía se aborda desde distintas perspectivas. Por un lado, con el diseño de proyectos que permitan estudios a gran escala: en el IAA se han gestado dos grandes cartografiados de galaxias, ambos desarrollados desde el Observatorio de Calar Alto. El sondeo ALHAMBRA ha identificado, clasificado y calculado la distancia de más de medio millón de galaxias repartidas en ocho regiones del cielo, lo que permite trazar la evolución del universo durante los últimos diez mil millones de años. Por su parte, el proyecto CALIFA ha empleado espectroscopía 3D para obtener la historia completa de la formación estelar en cada una de las distintas regiones de un total de seiscientas galaxias, lo que ha permitido comprobar que las galaxias crecen de dentro afuera y que las más masivas crecen más rápido, o analizar cómo se producen, dentro de las galaxias, los elementos químicos necesarios para la vida. CALIFA se concibió como un proyecto de tipo legado y sus datos, que acumulan más de treinta mil descargas, han producido numerosas tesis y artículos científicos.

Tenemos una idea de cómo eran las galaxias en épocas pasadas, y de hecho en el IAA hemos participado en hallazgos récord en galaxias lejanas (y por lo tanto muy jóvenes), pero resulta técnicamente imposible estudiarlas en detalle debido a la distancia. Para solventar este problema estudiamos "análogos", u objetos similares en entornos más próximos*[19] y participamos en desarrollos tecnológicos que mejoren nuestra capacidad de observación, como MEGARA, un instrumento para el Gran Telescopio Canarias que permite estudiar el gas situado entre las galaxias distantes, captar la luz de estrellas individuales en otras galaxias o analizar cómo se movían las estrellas y el gas en las galaxias hace más de diez mil millones de años.

EL TODO...

El Grupo Local de galaxias del que forma parte la Vía Láctea constituye una diminuta entidad dentro del universo, formado por miles de millones de galaxias que se agrupan en pares de galaxias, grupos de decenas de ellas, cúmulos de cientos y supercúmulos. Si pudiéramos hacer lo imposible y sacar una fotografía desde fuera del universo, veríamos que la distribución de galaxias en el espacio se muestra como una colección de vacíos gigantes con forma de burbuja, separados por películas y filamentos constituidos por galaxias, con los supercúmulos apareciendo ocasionalmente como nodos relativamente densos.

Pero no se trata de una disposición estática. Edwin Hubble demostró, en 1929, que las galaxias se alejan unas de otras y que además este desplazamiento aumenta con la distancia: cuanto más distantes, a mayor velocidad se alejan. Es lo que se denomina expansión del universo, un proceso que, si rebobinamos, muestra las galaxias acercándose y apunta al origen de todo: a un



CALIFA permite estudiar las propiedades del gas y de las estrellas, como edad, movimientos, masa o cantidad de metales -elementos más pesados que el hidrógeno y el helio- que presentan. A partir de esos datos, se pueden derivar los trece mil millones de años de historia de cada galaxia y buscar patrones comunes. En la imagen (sentido de las agujas del reloj): 1) imágenes en banda ancha; 2) densidad de masa estelar; 3) edad media de las estrellas; 4) líneas de emisión de diagnóstico; 5) emisión en hidrógeno alfa; 6) cinemática.

instante, hace trece mil ochocientos millones de años, en el que toda la materia y energía estaba contenida en un punto infinitamente denso y pequeño que experimentó una violenta expansión, origen del tiempo, el espacio y todas las agrupaciones de materia. Es lo que se conoce como Big Bang y constituye, hasta la fecha, el esqueleto teórico que mejor explica el origen del universo en el que vivimos.

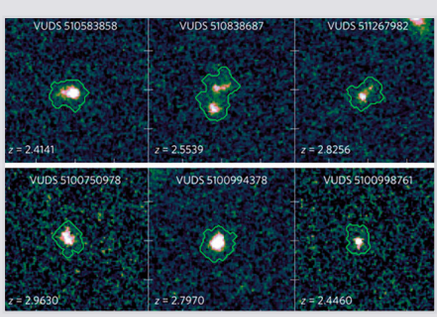
Quedan, sin embargo, muchas incógnitas: para comprender el universo y anticipar su evolución debemos tener en cuenta toda la materia y energía que lo compone, y un gran porcentaje de esta es invisible o completamente desconocida. Las últimas investigaciones indican que el universo se compone en un 68,3% de energía oscura, una fuerza repulsiva que provoca el progresivo (y acelerado) distanciamiento de las galaxias, en

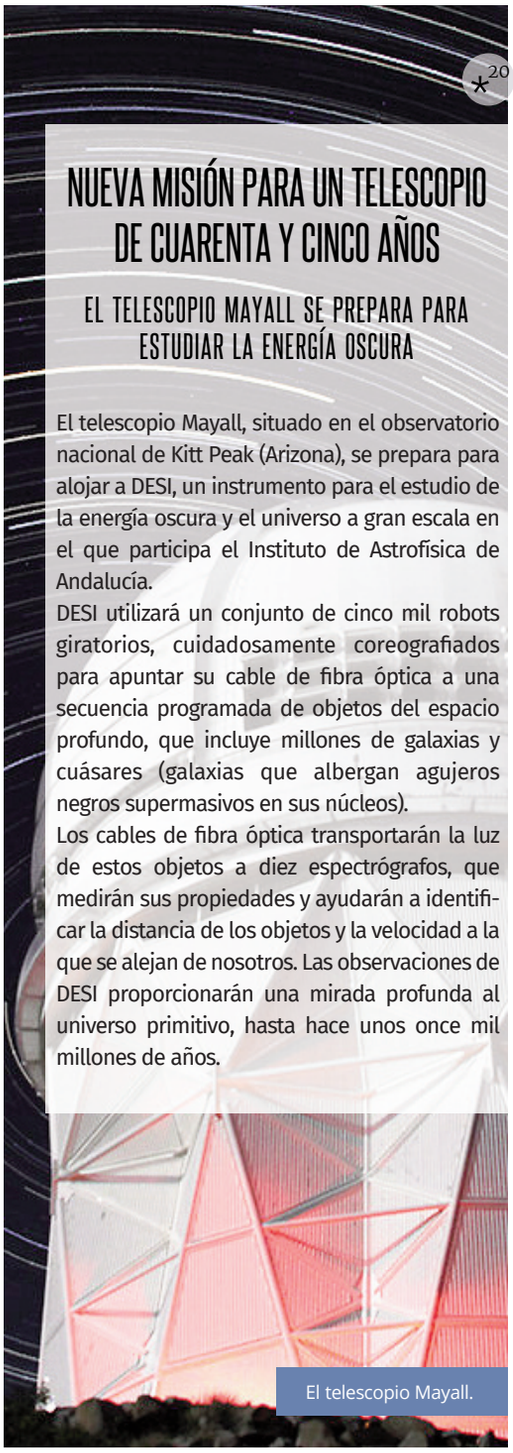
LAS "GEMELAS" DE LAS GALAXIAS PRIMIGENIAS

PERMITEN ESTUDIAR LAS ETAPAS INICIALES DE LA FORMACIÓN GALÁCTICA

Los astrónomos han conseguido penetrar en las “edades oscuras”, un período correspondiente a los primeros setecientos millones de años después del Big Bang y en el que las primeras galaxias, muy débiles, se hallaban envueltas en hidrógeno neutro, un gas que aumenta la opacidad del medio. Esa envoltura opaca ha impedido realizar estudios detallados de estas galaxias con los observatorios actuales. Un equipo, con participación del IAA, adoptaba un enfoque diferente, al difundir el descubrimiento de galaxias nacientes observadas en un momento cósmico posterior, solo mil millones de años después del final de las edades oscuras, cuando el universo contaba con un 5% de su edad actual.

Así, este estudio, que ha analizado más de dos mil galaxias y ha hallado diez de estas galaxias primigenias, ha capturado lo que parece ser uno de los primeros episodios masivos de formación estelar del universo. Estas galaxias son unas treinta veces más pequeñas y unas cien veces menos masivas que la Vía Láctea, con formas compactas e irregulares.





NUEVA MISIÓN PARA UN TELESCOPIO DE CUARENTA Y CINCO AÑOS

EL TELESCOPIO MAYALL SE PREPARA PARA ESTUDIAR LA ENERGÍA OSCURA

El telescopio Mayall, situado en el observatorio nacional de Kitt Peak (Arizona), se prepara para alojar a DESI, un instrumento para el estudio de la energía oscura y el universo a gran escala en el que participa el Instituto de Astrofísica de Andalucía.

DESI utilizará un conjunto de cinco mil robots giratorios, cuidadosamente coreografiados para apuntar su cable de fibra óptica a una secuencia programada de objetos del espacio profundo, que incluye millones de galaxias y cuásares (galaxias que albergan agujeros negros supermasivos en sus núcleos).

Los cables de fibra óptica transportarán la luz de estos objetos a diez espectrógrafos, que medirán sus propiedades y ayudarán a identificar la distancia de los objetos y la velocidad a la que se alejan de nosotros. Las observaciones de DESI proporcionarán una mirada profunda al universo primitivo, hasta hace unos once mil millones de años.

El telescopio Mayall.

un 26,8% de materia oscura, un tipo de materia que no emite ni refleja luz y que solo puede detectarse por su acción gravitatoria, y en un frugal 4,9% de materia ordinaria, o el tipo de materia que forma las galaxias, las estrellas, los planetas y nosotros mismos.

En el IAA se lleva a cabo un acercamiento a los problemas cosmológicos que incluye modelos teóricos, datos observacionales (sobre todo a través de cartografiados de galaxias a gran escala, como el proyecto J-PAS que, entre otros, establecerá restricciones a las propiedades de la energía oscura) y desarrollo de instrumentación*20, que busca profundizar en la naturaleza, distribución y dinámica de las galaxias y de los cúmulos de galaxias para comprender su evolución, así como detectar y conocer la materia oscura y averiguar la naturaleza de la energía oscura y las implicaciones de su existencia.

Igualmente, participamos en grandes proyectos de carácter transversal, como el Cherenkov Telescope Array (CTA), que será el principal observatorio astronómico de rayos gamma de muy alta energía durante las próximas décadas y cuyo potencial científico es extremadamente amplio: abarca desde la comprensión del papel de las partículas cósmicas relativistas hasta la búsqueda de la materia oscura. El CTA explorará el universo extremo desde los dos hemisferios (en Paranal, Chile, y en la isla de La Palma, en Canarias) y estudiará desde el entorno más cercano de agujeros negros hasta las regiones de baja densidad del universo a gran escala.

Y SUS LEYES

Einstein, en su teoría de la relatividad, mostró que el tiempo y el espacio, que siempre se habían considerado entidades diferenciadas, formaban en realidad una entidad única: el espaciotiempo. El espaciotiempo es el escenario en el que se desarrollan todos los eventos físicos del universo, y se trata de un tejido maleable, que se curva en presencia de materia. Los escenarios de gravedad en situaciones extremas, como los agujeros negros o el mismo origen del universo, constituyen una línea de investigación en el IAA que engloba diferentes objetivos, entre ellos tender puentes entre las leyes del universo macroscópico (la gravedad) y el microscópico (la física cuántica), profundizar en el conocimiento de las ondas gravitatorias, esas "arrugas" en el espaciotiempo producidas por el movimiento de objetos muy masivos, o averiguar por qué algunas partículas elementales tienen masa cuando, según la teoría, no deberían tenerla (este es también uno de los objetivos del Gran Colisionador de Hadrones –LHC–, el mayor acelerador de partículas del mundo).

DE REGRESO A GRANADA

Hasta aquí la panorámica, a alta velocidad, de la actividad científica y tecnológica del IAA. La acreditación Severo Ochoa constituye un logro que corresponde a una trayectoria sólida y transversal. Pero también supone una oportunidad para transformar el IAA en uno de los institutos de astrofísica y ciencia espacial de referencia en Europa, y desarrollar su investigación y estructura a un nivel que lo ubique en una posición de privilegio para la explotación de la próxima generación de experimentos avanzados e innovadores.

Serán cuatro años muy emocionantes para el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Estamos deseando contároslo.



El Cherenkov Telescope Array (CTA). Fuente: DESY/Milde Science Comm./Exozet



OSN
Obsevatorio de Sierra Nevada
Un laboratorio de altura

La atmósfera de las cumbres de Sierra Nevada (Granada) goza de unas características extraordinarias para la astronomía. La pureza y estabilidad de los cielos destacan por su calidad excepcional.

Por otro lado, el contenido de vapor de agua atmosférico en Sierra Nevada es tan bajo que permite el paso de gran parte de las radiaciones infrarrojas y milimétricas que normalmente quedan atrapadas en la atmósfera. Si a eso unimos la gran cantidad de noches despejadas, Sierra Nevada se configura como un enclave excepcional para la observación.

El observatorio, perteneciente al Instituto de Astrofísica de Andalucía, cuenta con un telescopio de 1.5 metros de diámetro, otro de 0.9 y otros de diámetro inferior, y constituye la instalación permanente más alta de Europa, rozando los tres mil metros de altitud.

En el OSN se llevan a cabo investigaciones lideradas por el personal investigador del IAA así como de otras instituciones nacionales e internacionales.

CAHA

Obsevatorio de Calar Alto

El mayor observatorio de Europa continental

El Observatorio de Calar Alto está situado en la Sierra de Los Filabres (Almería). Hasta 2018 fue operado conjuntamente por el Instituto Max-Planck de Astronomía (MPIA-MPG), en Heidelberg (Alemania), y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) en Granada. En 2019 se incorpora al complejo científico la Junta de Andalucía, en sustitución del socio alemán.

Calar Alto constituye la instalación astronómica más relevante en suelo continental europeo, y ha supuesto desde 1975 uno de los pilares del avance de la astronomía española y alemana. Se trata de una Infraestructura Científico Técnica Singular (ICTS) que cuenta con telescopios de 3.5 y de 2.2 metros de apertura (además, el observatorio alberga otros dos telescopios de 1.23 y 0,8 metros). La continua renovación de los instrumentos que se acoplan a los telescopios mantiene a Calar Alto en la vanguardia de la astronomía actual; la ingeniería, la ciencia y la empresa españolas participan también en estos desarrollos.

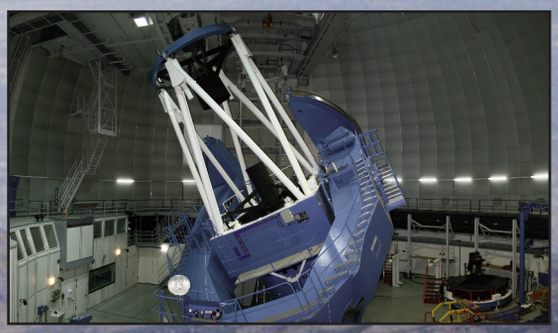
La calidad natural intrínseca del cielo nocturno en Calar Alto hace de este lugar el mejor en Europa para la observación astronómica, con alrededor de un 70% del tiempo útil para la observación.

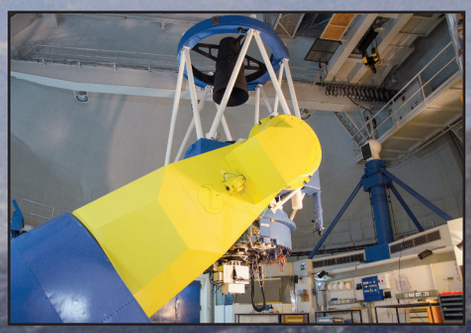
Los estudios desarrollados en el observatorio abarcan desde el entorno más cercano, el Sistema Solar, hasta los confines del universo observable. Dado el carácter interdisciplinar y colaborativo de la astrofísica moderna, muchos de estos proyectos implican observaciones de apoyo para misiones espaciales y, en este ámbito, desde Calar Alto se ha contribuido con datos adicionales a las investigaciones efectuadas con los satélites CoRoT, Herschel, Deep Impact, Gaia o Rosetta, entre otros.

Calar Alto es uno de los observatorios más productivos en cuanto a artículos científicos publicados en revistas internacionales con sistema independiente de revisión por pares.



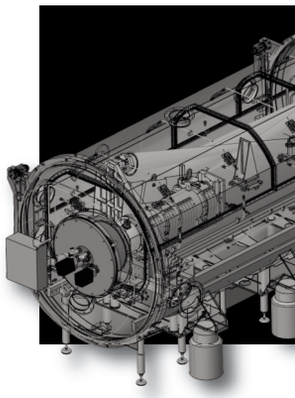






Una parte del tiempo de observación se dedica a proyectos especiales, que se desarrollan a largo plazo y que cuentan con acceso garantizado a los telescopios e instrumentos durante varios años. En este ámbito destacó hasta el año 2010 el sondeo cosmológico ALHAMBRA, orientado al análisis de las propiedades del universo desde el entorno cercano hasta grandes distancias. Posteriormente se completó el sondeo CALIFA, un proyecto de legado que aplicó las técnica de la espectroscopía de campo integral a medio millar de galaxias seleccionadas del universo local, lo que ofrece información inédita sobre la estructura, evolución e historia de la formación de estrellas en estos grandes sistemas estelares, a la vez parecidos y diferentes a nuestra propia Galaxia. Actualmente están en curso las observaciones para el proyecto de vanguardia CARMENES, centrado en la investigación sobre planetas habitables en el universo.

UNIDAD DE DESARROLLO INSTRUMENTAL Y TECNOLÓGICO



UDIT

LA UDIT DESARROLLA TECNOLOGÍA PARA INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA Y OFRECE APOYO TÉCNICO A LOS DEPARTAMENTOS DE INVESTIGACIÓN DEL IAA. DISPONE DE UN TALLER DE MECÁNICA, LABORATORIOS DE ÓPTICA, ELECTRÓNICA Y SOFTWARE Y DOS SALAS LIMPIAS DE CLASE ISO 8

software

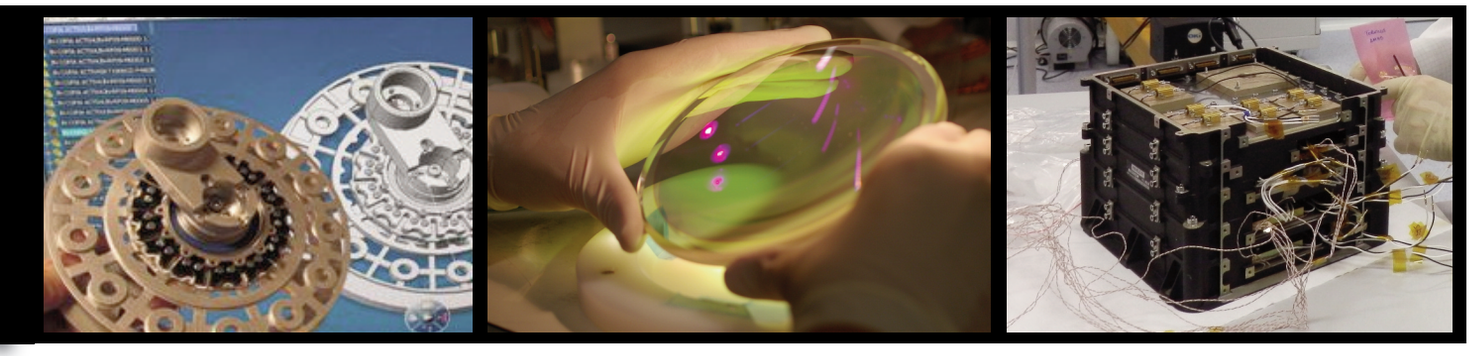
Se ofrecen soluciones integrales (análisis, diseño, integración y verificación) de software de control de instrumentación, basadas en dispositivos reconfigurables (FPGA), microcontroladores, DSP, sistemas embebidos con sistemas operativos ligeros y procesadores de última generación. También se trabaja el desarrollo completo de software de procesamiento y análisis de datos obtenidos durante las misiones espaciales y las observaciones terrestres, basados en entornos de procesamiento de datos de altas prestaciones (HPC).

óptica

Se realiza el diseño óptico de instrumentación astronómica en el rango espectral visible e infrarrojo (imagen, espectroscopía, fotometría y polarimetría). También se ensambla, integra y verifica la instrumentación en sala blanca (ISO 8) cuando la instrumentación lo requiere, y se calibran los distintos elementos que componen la instrumentación astronómica (detectores, lámparas espectrales, alineado de sistemas, etc.). Cuenta con un laboratorio de referencia internacional en polarimetría y ofrece un servicio de ingeniería óptica.

PARTICIPACIÓN DEL IAA EN MISIONES ESPACIALES





mecánica

Se desarrollan sistemas criogénicos y de vacío, así como estructuras mecánicas de altas prestaciones para instrumentación espacial y de tierra. La línea de optomecánica incluye todos los aspectos de ingeniería relativos a monturas y soportes de componentes ópticos, y se desarrollan sistemas posicionadores de alta precisión.

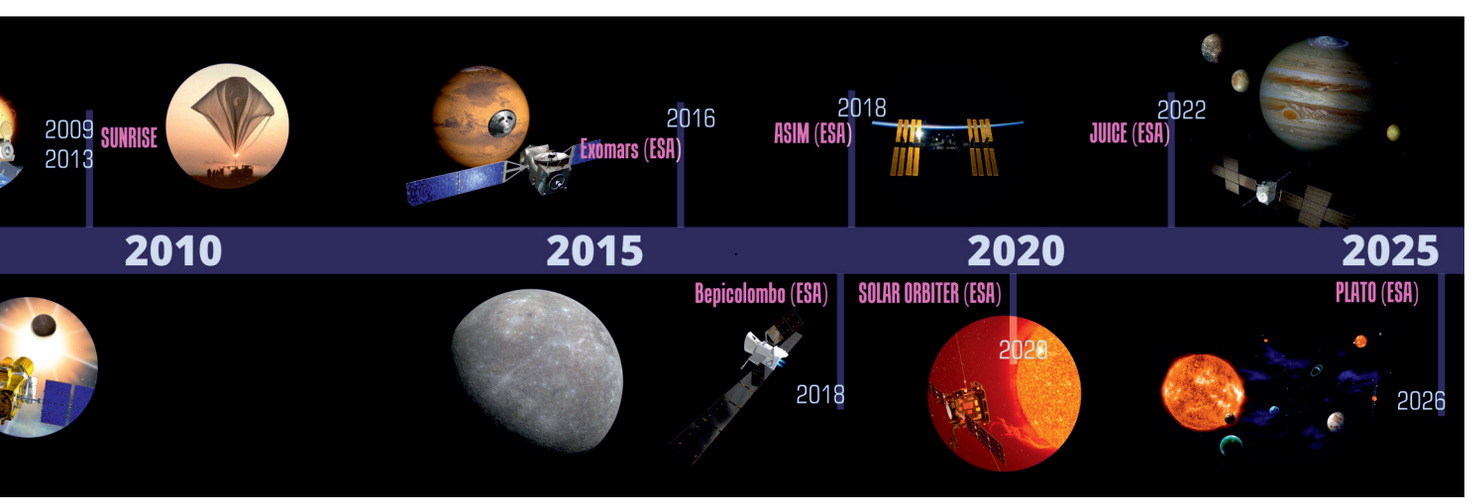
Se llevan a cabo análisis estructurales por herramientas de Análisis de Elementos Finitos (FEA), que permiten afrontar de manera integral cualquier problema de mecánica estructural.
Disponemos de un taller de mecánica para la fabricación de piezas con geometrías complejas con excelentes acabados superficiales y definidas por unas estrictas tolerancias dimensionales.

electrónica

Se desarrollan sistemas electrónicos de control y potencia, incluyendo placas de circuito impreso de alta densidad que, tras su diseño, se fabrican en empresas del sector y posteriormente son sometidas a rigurosos tests en el IAA para la obtención de calificación de calidad para vuelos espaciales.
Se trabaja con circuitos integrados programables de altas prestaciones (FPGAs) para aplicaciones complejas: sistemas de control de mecanismos, adquisición, monitorización y procesamiento de datos.
Consultoría de proyectos avanzados de desarrollo hardware y software, tanto para la instrumentación de tierra como para misiones espaciales. Amplia experiencia en sistemas con requerimientos de bajo consumo, redundancia y alta fiabilidad.

proyectos internacionales

En observación desde tierra destacan el espectrógrafo visible e infrarrojo CARMENES y la cámara PANIC para el observatorio de Calar Alto (Almería), dedicados a la búsqueda de planetas de tipo terrestre y a la observación de gran campo respectivamente. También el multiespectrógrafo MEGARA del Gran Telescopio de Canarias (observatorio del Roque de los Muchachos) que estudia, con un detalle sin precedentes, la composición química y la dinámica de las galaxias en diferentes épocas del universo. La participación del IAA en proyectos espaciales es dilatada y aborda diversos objetos y campos, como muestra la línea temporal inferior.



SKA
SQUARE KILOMETRE ARRAY

La participación española en el *Square Kilometre Array* (SKA) se lidera desde el Instituto de Astrofísica de Andalucía. El SKA será la instalación científica más grande del planeta, con una infraestructura distribuida en tres continentes y ambos hemisferios. Sus dos redes de cientos de platos y miles de antenas se distribuirán a lo largo de cientos de kilómetros en Australia y Sudáfrica, con la sede central en Reino Unido. Junto con instalaciones como el Telescopio Espacial James Webb, el Gran Colisionador de Hadrones del CERN, el detector de ondas gravitacionales LIGO, la nueva generación de telescopios ópticos gigantes y el reactor de fusión ITER, el SKA será una piedra angular para la física en el siglo XXI.

El SKA permitirá realizar contribuciones científicas revolucionarias y, gracias a la entrada de España como miembro de la Organización SKA en 2018, nuestra comunidad científica formará parte activa de esa revolución.

EST
EUROPEAN SOLAR TELESCOPE

El IAA contribuye en el desarrollo del *European Solar Telescope* (EST), el mayor telescopio solar construido en Europa cuyo objetivo reside en investigar la estructura, dinámica y energía de la atmósfera solar inferior, donde los campos magnéticos interactúan continuamente con el plasma y la energía magnética a veces se libera a través de poderosas explosiones.

Esto requiere observar procesos fundamentales en sus escalas intrínsecas: menos de treinta kilómetros sobre la superficie solar. Para ese fin, el EST está equipado con un espejo de cuatro metros, óptica adaptativa avanzada y un conjunto de instrumentos de vanguardia. El EST permitirá abordar cuestiones como la estructura y evolución de los campos magnéticos solares (incluidas las manchas solares), la aparición de campos magnéticos a través de la superficie solar, la dinámica y el calentamiento de la cromosfera, el mecanismo que genera las fulguraciones y el acoplamiento magnético de la atmósfera solar.

El EST se instalará en las Islas Canarias y la primera luz está prevista para 2026.

GRANDES PROYECTOS FUTUROS

ELT
EXTREMELY LARGE TELESCOPE

El IAA participa en dos de los instrumentos del Telescopio Extremadamente Grande (ELT/ESO): MOSAIC y HIRES. MOSAIC combinará alta resolución espectral y espacial para realizar estudios de gran apertura en el visible y en el infrarrojo. Permitirá abordar la formación y evolución de los planetas, conocer cómo se agregan las grandes galaxias o cómo se distribuye la materia oscura en el universo. HIRES, un espectrógrafo de alta resolución que operará en el visible y el infrarrojo, estudiará con detalle y precisión objetos individuales. Por ejemplo, permitirá observar las atmósferas de planetas alrededor de otras estrellas para buscar señales de vida, encontrar restos de la primera generación de estrellas y determinar si algunas de las constantes de la física –como el ratio entre las masas del electrón y el protón que regula la mayoría de los procesos físicos en el universo- cambian a lo largo del tiempo.
Instrumentación de este tipo es esencial en cualquier telescopio moderno. Estos ejemplos, líderes a nivel mundial, sacarán el máximo provecho del espejo primario de treinta y nueve metros del ELT, proporcionándole un rendimiento incomparable.

La prehistoria y protohistoria del IAA

LOS COMIENZOS DEL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA COINDICEN CON EL DESARROLLO DE LA PROPIA ASTROFÍSICA EN ESPAÑA

Por José María Quintana, primer director del IAA

Cuando me pidieron escribir algo relacionado con la historia del Instituto de Astrofísica para celebrar la concesión del Premio Severo Ochoa 2018 a este Centro de Investigación, pensé en las muchas veces que lo había intentado, desde diferentes perspectivas, sin conseguir nunca hacerlo comprensible para quien no tenía referencias previas en ese tema; era como si hubiera algún elemento mágico, en algún punto del relato, que había que introducir para explicar lo inverosímil. Quizá ahora pueda explicar cómo pudo crearse un centro de investigación como este partiendo literalmente de la nada. Y es que, antes de esa nada, hubo algo a lo que solamente hemos hecho referencia, de forma poco precisa, cuando no había más remedio. Es decir, quería reflejar los esfuerzos que hay que llevar a cabo antes de comenzar a elaborar un proyecto científico viable.

La creación de los institutos de astrofísica de Andalucía y Canarias constituyó la primera ocasión en la que la Administración del Estado reconocía, a través del CSIC, la existencia de actividades científicas específicas relacionadas con esa materia. En ambos lugares había existido una actividad previa que, al menos, acreditaba un mínimo de experiencias en la materia, amén de unas condiciones geográficas excelentes para la práctica de estos estudios. Pero hasta entonces, no había más estudios que los propios de Astronomía en las tres cátedras existentes en las universidades españolas. El interés de instituciones europeas muy importantes para trasladar a España sus mejores y más modernos instrumentos constituía el telón de fondo de esta interesante situación.

LA PREHISTORIA

En realidad, la prehistoria de la Astrofísica española. comenzó en 1902, con la creación en Granada del Observatorio de Cartuja por la Compañía de Jesús, seguida de la de los observatorios del Ebro y Fabra en Tortosa y Barcelona y en Valencia algo más tarde, todos ellos como iniciativa privada. Eran momentos difíciles en los que la pérdida de los restos del Imperio colonial conducen a los españoles a desconfiar del Estado y la sensación de crisis pesa sobre toda la sociedad. La solución no se encuentra en los gobiernos, sino que debe salir de los propios ciudadanos. Y, en ese contexto, se pone más atención a valores, como el conocimiento científico, poco considerados hasta el momento por parte de eso que hoy llamamos sociedad civil. En todos estos casos el impulso inicial, de indudable valor, va remitiendo con el tiempo, aunque es cierto que la instrumentación dotacional adquirida con mucho esfuerzo por esos centros queda a disposición de quien tenga el conocimiento y las ganas de utilizarlo. Así, esta etapa se prolonga hasta el final de la guerra civil, tras muchos altibajos en la gestión de esas instituciones, como consecuencia de la situación política de la época.

Lo que sucede a continuación es el resultado lógico de tales antecedentes: nada. Y no es sino hasta 1959, cuando se crea el Observatorio del Teide en Canarias, mediante un Real Decreto del Ministerio de Educación. Ahora, la iniciativa es de la Administración pública, con un Patronato presidido por el Rector de la Universidad de La Laguna. El personal del centro es nombrado por el Rector y los gastos de "instalación y sostenimiento" corren a cargo del propio Ministerio. El resto de iniciativas astronómicas creadas a primeros de siglo no cuentan para nada.

En concreto, Cartuja sigue en estado agónico. Financiado por la Compañía de Jesús y dirigido por el P. Antonio Dúe, que ya fue director del mismo antes de la guerra, su actividad se limitaba a cumplir las necesidades de servicio que correspondían preferentemente a las secciones de Sismología y Meteorología. Conscientes de que el Observatorio no cumplía con los objetivos que le son propios, se plantean cesar en sus actividades o intentar su actualización para acomodarlas a los nuevos tiempos, resolviéndose el problema en favor de la segunda opción. Se hacía necesario buscar algún científico, dentro de la Compañía de Jesús, con experiencia en Astronomía, para conferirle el liderazgo del oportuno proceso de cambio. Así es como ofrecen y encargan al P. Teodoro Vives llevar a cabo este propósito.

Una vez que Vives se incorporó al centro en 1964, fue nombrado Director del Observatorio de Cartuja. Llegaba con una

dilatada experiencia en diversos centros de investigación europeos y era consciente de hasta dónde podía llegar en un futuro inmediato. En la sección de Astronomía era necesario renovar el instrumental disponible y buscar un emplazamiento, lejos de la ciudad, en una estación de montaña capaz de aprovechar las magníficas condiciones de Sierra Nevada. Para ello, consiguió que el Observatorio de la Universidad de Georgetown en Washington, U.S.A. donase al de Cartuja un telescopio reflector de 32 cm. de doble haz, equipado con un fotómetro fotoeléctrico para ser instalado en el Mojón del Trigo, a 2606 m. de altitud, por encima de la capa de inversión atmosférica. La construcción de esa modesta estación de montaña se llevó a cabo en 1966, poco después de recibir el telescopio, en unos terrenos cedidos por la familia Argón. El edificio consistía en un habitáculo con espacio para albergar una cúpula para el telescopio, dos pequeñas habitaciones, una cocina y un saloncito. Sin energía eléctrica, calefacción ni tampoco agua corriente, el edificio planteaba muchos problemas. Además de las provisiones, había que acarrear el agua potable en bidones de 25 litros, transportados por los propios observadores, puesto que sólo se podía acceder a pie al observatorio. Y, efectivamente, constatamos que un litro de agua pesa un kilo... y un poco más en invierno y con nieve.

Una vez que el edificio y el telescopio estuvieron operativos se pudo establecer un acuerdo de operación conjunta con el Royal Greenwich Observatory (RGO). La precariedad de las instalaciones era tal que el generador, que suplía la falta de suministro eléctrico, se construyó con el motor de una motocicleta y hasta tal punto era penosa la situación que nuestros colegas ingleses decidieron resolver estos problemas, sufragando el coste de la instalación de una línea eléctrica desde el Albergue Universitario hasta el propio observatorio. Otra anécdota que refleja ese estado de cosas es la que da cuenta de que, en una de las campañas de observación invernal, el astrónomo inglés que la realizaba, al intentar acceder al observatorio desde el albergue bordeando la Hoya de la Mora, resbaló en el hielo y cayó cuando trasladaba el fotómetro, de forma que éste se deslizó por la falda de la montaña sin que posteriormente se pudiera encontrar. También aquí el RGO se responsabilizó del accidente y fabricó en sus talleres una réplica del original. Una vez que el edificio y el telescopio estuvieron operativos se pudo establecer un acuerdo de operación conjunta con el RGO



El Observatorio de Cartuja, durante su construcción.

La prehistoria de la astrofísica española comenzó en 1902, con la creación en Granda del Observatorio de Cartuja

Vives también consiguió llegar a un acuerdo con el Max Planck Institut für Aeronomie de Lindau (MPI), Alemania, para instalar y operar un fotómetro semiautomático capaz de medir las emisiones de la luminiscencia nocturna del oxígeno en Sierra Nevada, lo que se llevó a cabo durante muchos años con pleno éxito. Con ambas instituciones, MPI y RGO, se estableció el derecho del Observatorio a enviar a parte de su personal a esos centros extranjeros para perfeccionar su formación.

Por otra parte, Vives se hizo cargo de la Asignatura de Astronomía que se incluía en el tercer curso de los estudios de Matemáticas en la Universidad de Granada. Hay que aclarar que, por entonces, no existían los estudios de Física en Granada, por lo que esa faceta astronómica tenía mucho más mérito. Para hacer frente a todas esas responsabilidades, Vives solo contaba con la inestimable ayuda del Hno. Manuel Merlo, destinado a Cartuja para poder hacer frente a las obligaciones propias de los servicios de Meteorología y Sismología. En realidad, Merlo era el alma del observatorio y el ayudante más capaz que yo he podido conocer. Como, además, debía cuidar de mantener en condiciones aceptables la estación del Mojón del Trigo, era imposible que pudiera abarcar tantas obligaciones. Las posibles ayudas, por muchas razones, ya no podían llegar desde la Compañía de Jesús. Era necesario resolver el problema buscando personal joven y con formación adecuada.

Durante el verano de 1966, en pleno periodo de construcción de la estación de montaña y poco antes de recibir el telescopio de Georgetown, estuve trabajando en Cartuja con el viejo Mailhat de 33 cm. para probar el funcionamiento del fotómetro fotoeléctrico que habían desarrollado en el Observatorio el P. Solís, S.J. y el propio Vives. El funcionamiento de este primer fotómetro fotoeléctrico acoplado al Mailhat resultaba un tanto irregular y su uso posterior fue muy restringido, puesto que la estación del Mojón del Trigo y su nuevo instrumental absorbieron todos los esfuerzos de tan escaso personal. Por entonces, yo era profesor ayudante en la asignatura de Física IV (Óptica y Física Nuclear) en la Facultad de Ciencias en la Universidad de Madrid y mantenía una relación esporádica con el Observatorio, de manera que cuando en el año 1968 se puso en marcha un programa del Ministerio para Formación de Personal investigador, desde Cartuja preguntaron por mi posible interés en solicitar una beca para trabajar en el Observatorio. Me pareció interesante y decidí intentarlo. Corría el año 1968 y Vives acababa de conseguir los contratos con Greenwich y con el Max Planck., lo que suponía una notable carga de trabajo

para poder hacer frente a las tareas convenidas. Finalmente, se me otorgó le beca solicitada que, claramente, no podía absorber toda la carga de investigación generada por los contratos y se buscó a otra persona para encargarse de alguna parte de los mismos. Por suerte, apareció por el Observatorio Eduardo Battaner, burgalés recién licenciado y muy motivado hacia todo lo que tuviese que ver con la astronomía. Vives le ofreció la posibilidad de responsabilizarse del programa de luminiscencia nocturna desde Sierra Nevada, donde estaba instalado el fotómetro correspondiente, y ambos llegaron a un acuerdo. Por otra parte, Ángel Rolland, viejo compañero de la Universidad de Madrid, volvía a España después de tres años en dos Universidades en Puerto Rico, sin un plan concreto de trabajo. Cuando le expliqué mi situación le pareció interesante, hasta el punto de que, después de que Vives diera su visto bueno, decidió a incorporarse al equipo. En menos de un año el Observatorio había conseguido disponer del mayor número de licenciados que había tenido nunca.

Nada más llegar a Granada, Rolland y yo fuimos contactados desde la Facultad de Ciencias de la Universidad para colaborar con ellos en sus tareas docentes, como clases de problemas o prácticas de laboratorio. Accedimos y comenzamos una relación que se fortalecía con el tiempo y nos resultaba agradable. Battaner, en esos momentos, no podía desplazarse de Sierra Nevada, donde vivía en la estación de montaña en condiciones muy adversas, con el problema añadido de que su mujer estaba embarazada de su primer hijo y la situación se les hacía imposible. En vista de ello, Rolland y yo propusimos a la Universidad que, si había algún hueco, considerasen la posibilidad de contratarle como profesor, cosa que se pudo conseguir. Pero el problema era ver como se podía encontrar un sustituto para seguir con el programa alemán. La solución llegó a través de la visita de un joven astrónomo holandés, del que solo recuerdo que se llamaba Rini, al Observatorio. Impresionado por las condiciones del lugar, decidió aceptar la sustitución y, durante una temporada se pudo mantener la operatividad del proyecto, aunque tuvimos que trasladar el emplazamiento del fotómetro a la cima del Pico Veleta, alojándole en el refugio y equipándole con un sistema de comunicaciones que enviaba los datos registrados a la propia Facultad de Ciencias. Así continuamos durante todo el curso, discutiendo sobre todo tipo de temas astronómicos que tratábamos al hilo del texto sobre Astronomía que Vives estaba escribiendo y ocupándonos de nuestros proyectos respectivos. Era una época fantástica.



El Observatorio de Mojón del Trigo, hoy en desuso.

LA PROTOHISTORIA

Y es aquí donde comienza un periodo al que se me ha ocurrido llamar "Protohistoria", una fase temporal no muy bien definida situada entre el final de la Prehistoria y el principio de la Historia Antigua, coincidente con la cesión de responsabilidades de las actividades de investigación a la Universidad. Todo viene de que surgieron algunos problemas entre Vives y su jefe en la Compañía de Jesús, el Rector de la Facultad de Teología, que fueron haciéndose mayores, hasta el punto de que Vives fue reducido a la condición de Director Técnico y su jefe, economista de profesión, se convirtió en el Director del Observatorio. La situación era imposible y Vives solicitó y consiguió una beca para trabajar en el Max Plank Institut fur Astronomie en Heidelberg.

Así, de buenas a primeras, resulta que poco después de mi primer año de beca, me quedo sin director de tesis y sin que nadie a quien recurrir. Para colmo, la Universidad compró la finca de Cartuja a los jesuitas y, aunque estos no vendieron la parte correspondiente al Observatorio, ofrecieron a la propia Universidad la gestión de sus actividades puesto que ellos ya no tienen interés en sus trabajos. La Universidad aceptó el ofrecimiento y convino con la otra parte establecer un tiempo para realizar la organización del Observatorio en sus tres secciones.

Los contratos conseguidos por Vives no podian ser ignorados, por lo que era necesario mantener las actividades comprometidas con ingleses y alemanes. Después de muchas discusiones entre el Rector de la Universidad y el de la Facultad de Teología, el Rector de la Uiversidad me cita a su despacho y me ofrece la dirección del Observatorio, puesto que no hay otra persona que pueda intentar esa tarea. Cuando le explico lo difícil que sería que un doctorando de primer año pudiera hacer las funciones de dirección en un centro con tres áreas científicas bien distintas y el desprestigio institucional que tal situación pudiera conllevar para todos, se muestra de acuerdo con mis objeciones y decide pensar en una solución para este problema.

Poco después, el Rector me comenta que, después de varios contactos con otros personajes interesados en estos problemas, parece que una posible solución pasaría por el nombramiento del Decano de la Facultad de Ciencias como Director y que, en ese esquema, se me propondría a mí como Secretario General, sin restricción alguna en el desempeño de esas funciones. Como jefes de sección se nombraría a tres Catedráticos interesados en esas tareas. Así, tras pensarlo y discutirlo con el Decano, llegamos a la conclusión de que ese esquema podría funcionar para comenzar a trabajar en el nuevo Observatorio Universitario de Cartuja. Además, el Rector ofrece una ayuda especial para formar personal a los alumnos de la propia Universidad, poniendo a disposición del Observatorio la cantidad de un millón y medio de pesetas. Con ello, se podía asegurar un proceso a largo plazo, en el que las actividades del Observatorio no



Imagen de fondo: Manuel Merlo, José María Quintana y Ángel Rolland. A la izquierda, Pilar López de Coca y Víctor Costa.

quedarían abandonadas.

No voy a reflejar aquí los resultados derivados de ese estado de cosas, aunque sí que puedo afirmar que fueron excelentes, dadas las circunstancias. Sobre todo, porque en esa época, cumpliendo los objetivos previamente fijados, Battaner se fue a realizar estudios en Alemania durante dos años y Rolland a Inglaterra por un tiempo similar. Esta situación, que consideramos en ese momento fundamental para el futuro de la institución, puso en riesgo a corto plazo la propia vida del Observatorio y la calidad de sus trabajos pero también constituía una ocasión única, no solo para los beneficiarios de esa oportunidad, sino también para poner de manifiesto la necesidad de internacionalizar la formación de nuestros estudiantes. Sin la ayuda de algunos compañeros del Departamento de Física y de la gente joven que se involucró en el Observatorio, esa tarea hubiera sido imposible. Personas como Miguel Giménez Yanguas, Plácido Reyes, Pilar López de Coca, Víctor Costa, Sebastián Vidal, D. Antonio Zayas, y otros muchos que no puedo mencionar ahora, merecen el reconocimiento de la importancia de su colaboración, como un ejemplo de generosidad poco común.

En 1970 se había firmado un convenio básico de cooperación científica y técnica entre los gobiernos de Alemania y España, que se completó con otro en 1972 para el establecimiento del Centro Astronómico Hispano-Alemán de Calar Alto, así como un convenio entre la Sociedad Max Planck y la Comisión Nacional de Astronomía para su funcionamiento. Es de notar que esta Comisión no ha tenido nunca más que un carácter asesor del Instituto Geográfico Nacional (IGN), sin medios económicos ni personal alguno, lo que explica perfectamente la falta de operatividad real de ese convenio. En 1973, se crea el Instituto Universitario de Astrofísica de Canarias, que incluye al Observatorio del Teide y se nombra director del mismo al Prof. Francisco Sánchez, sin que ello suponga la anulación del anterior nombramiento del Prof. Torroja. Se están produciendo ya los primeros síntomas de los grandes cambios que se producirán en España en este tipo de investigaciones, pero ya se adivina la posible relevancia de los mismos, lo que se refleja en el establecimiento de contactos y reuniones con representantes extranjeros.

En el caso de Andalucía, la puesta en marcha de estos buenos deseos se mostraba como un auténtico desafío

También es en esta época cuando, a requerimiento de la Comisión Nacional de Astronomía, comenzamos a participar como españoles en la gestión del Observatorio de Calar Alto, cometido harto difícil dada la posición alemana, del todo opuesta a que se cumplieran los mínimos derechos que los Acuerdos firmados nos concedían. En particular, recuerdo las dificultades que hubo que vencer a lo largo de una semana en las reuniones que una comisión delegada formada por el Prof. R. Lüst, Presidente de la Sociedad Max Planck junto con el Prof. Kippenhahn por la parte alemana y el Almirante Orte y yo mismo por la parte española, para elaborar el Reglamento de las Actividades de Calar Alto y la regulación de los derechos de uso del tiempo español en esos momentos (un 10% del total disponible).

Por otra parte, una representación del Science and Engeenering Research Council (SERC) inglés, conocedora de los problemas de Calar Alto, decide contactar con su homónimo en España, el CSIC. A partir de estos primeros contactos, se establece una buena disposición para alcanzar importantes acuerdos con el RGO, abiertos a otras interesantes posibilidades con otras instituciones. Conviene destacar aquí el cambio que el planteamiento que se hace ahora representa frente al que se hizo en su día con la Sociedad Max Plack alemana, cuando se impidió al CSIC participar en las negociaciones. Ahora, con el CSIC como interlocutor, las negociaciones se establecen en tres niveles: de Gobiernos, de instituciones científicas responsables (SERC y CSIC) e Institutos involucrados en estos proyectos.

A la vista de que de estos contactos pueden generarse notables perspectivas, en el CSIC comienza a tomar cuerpo la idea de que se necesita dar respuesta a estas posibilidades mediante la creación de dos centros dedicados a estudios de Astrofísica. Es así como, ya a finales de 1974, el Consejo toma la decisión de crear sendos institutos en Canarias y Andalucía. El sistema que se utiliza para buscar personal para liderar estos centros consiste en que, reunida la Comisión Nacional de Astronomía, se le pide la elaboración de sendas ternas de profesionales para ser remitidas al Ministerio de Educación quien, después de valorar sus curriculae, determinará el orden en el que propone los correspondientes nombramientos por parte del CSIC. Así, se propone en primer lugar a Francisco Sánchez para el Instituto de Astrofísica de Canarias y a José Mª Quintana para el de Andalucía. Los





A la izquierda, sede actual del IAA. Sobre estas líneas, palacio de la Madraza, primera sede del centro.

nombramientos se hicieron por parte del Ministerio de Educación, tras la elección correspondiente entre las propuestas de sendas ternas, decididas por votación en la Comisión Nacional de Astronomía, y así ordenadas al CSIC.

En el caso de Andalucía, la puesta en marcha de estos buenos deseos se mostraba como un auténtico desafío. Para empezar, se quería ubicar en Almería y cuando pude explicar, a quien correspondía, que el Instituto en sí no era nada, puesto que de la parte alemana ni debíamos ni podíamos solicitar ayuda alguna y que nuestros únicos instrumentos eran los de los jesuitas, cedidos a la Universidad de Granada, empezaron a darse cuenta del estado de orfandad en el que nos iban a situar. Les hicimos ver que en Almería no había más que un Colegio Universitario dependiente de Granada, sin posibilidad alguna para poder trabajar en Física, en tanto que en Granada se estaba preparando el comienzo de la Facultad de Física, idea en el que nosotros habíamos trabajado intensamente desde el Departamento de Física.

La propuesta de imitar el proceso de creación que se hacía en Canarias, con el apoyo de la Universidad de La Laguna y del gobierno autonómico no se pudo llevar a efecto en porque el Departamento de Física de la Universidad, núcleo de la esperada nueva Facultad de Física, se negó a participar en las actividades del nuevo centro, quizá a la vista de los problemas derivados de la implantación de esa Facultad, entre otros motivos, aunque no se pudo negar a ceder el uso de todos los instrumentos disponibles en el Observatorio. Finalmente, se me autorizó que el Instituto se instalase en Granada, aunque no tuviéramos absolutamente nada para poder establecernos.

EL IAA

Pero lo hicimos. El Presidente del CSIC, Prof. Primo Yúfera, me pidió un informe de situación, y una propuesta de las actividades a llevar a cabo a corto, medio y largo plazo. Creo que con toda claridad le expuse el estado inicial, sin conocer ni siquiera la posible ubicación de la sede y recalcando las carencias más absolutas que teníamos. Dicho informe se titulaba "Algunas ideas en torno a la puesta en servicio y funcionamiento del Instituto de investigaciones astrofísicas de Andalucía", y fue remitido en el mes de Julio de 1975 a la presidencia del CSIC. Aunque yo solo poseo una parte del mismo por haber desaparecido el original de la biblioteca del Instituto, puedo afirmar que otros compañeros lo conservan y afirman que lo que allí se expuso no solo se ajusta a las acciones llevadas a cabo en los primeros años del centro, sino que aún serían aplicables, a nivel conceptual, al día de hoy.

Con la ayuda del Rector, que siempre fue partidario de la participación de la Universidad en el Instituto, pudimos acceder al palacio de la Madraza, antigua universidad árabe, y que en esos momentos era propiedad conjunta de la Universidad y del CSIC. Estaba en estado de semiabandono en el centro de la ciudad. Sus muros de arena de 80 cm. de espesor eran un calvario en invierno y buena parte del dinero disponible para el tercer trimestre de 1975 lo tuvimos que usar para instalar el cableado del edificio, adecentar las habitaciones y servicios y otras necesidades imprescindibles. Tan es así que me vi obligado a visitar al Secretario General del Consejo, Prof. Octavio Carpena, para explicarle la situación y pedirle dinero. Salíamos de su despacho y, ya en el pasillo, sacó su talonario del bolsillo y me dio un talón bancario que cubría las necesidades más inmediatas. A partir de ese momento, y con todo mi afecto personal, yo lo definía como nuestro "Maestro Limosnero". En esos momentos, el personal del instituto se reducía a los contratos de Ángel Rolland, Manuel Merlo y yo mismo, y la cantidad asignada para los últimos tres meses de 1975 era de 50.000 pesetas, que incluía a los gastos en infraestructura realizados en La Madraza.

Ya en 1976 se formaliza el convenio entre la Universidad de Granada y el nuevo instituto, así como la adscripción de éste al Instituto Nacional de Física del CSIC, cuya gestión llevaba el Prof. A. Tiemblo que nos ayudó constantemente en esos difíciles momentos. La sede del centro se estableció en el palacio de La Madraza y siguió allí hasta que en 1978 nos trasladamos a un edificio del CSIC asignado a la Estación Experimental del Zaidín, hasta que, años después, nos pudimos establecer definitivamente en la sede actual.

El relato que acabo de exponer concluye aquí con el propósito expresado en el comienzo. La historia del IAA se ha relatado en numerosas ocasiones y, probablemente, es más conocida que la fase previa que aquí he tratado de explicar. En lo que a mí se refiere, hube de continuar en la dirección del Instituto hasta 1988, momento en el que me relevó en el Prof. Mariano Moles. Pero, como se dice ahora, esa es otra historia.

He querido dejar constancia de un pasado que, de una u otra forma, todavía significa algo en la vida del Instituto. Espero haber cumplido con la intención última de este trabajo, para que los más jóvenes puedan conocer con algún detalle las razones que han ido condicionando su trayectoria inicial, y como hemos podido salir adelante con unas restricciones económicas muy desfavorables y unos magros presupuestos que han hecho muy difícil que pudiéramos competir con otros colegas. A pesar de todo, el resultado de estos esfuerzos ha sido que, al final, el Instituto puede estar orgullosos de haber conseguido convertirse en uno de los centros de investigación más reconocidos y considerados de todo el país. Enhorabuena.

El IAA: hacia un centro igualitario

LA ASTROFÍSICA ES UNA DE LAS ÁREAS CIENTÍFICAS CON MENOR PROPORCIÓN DE MUJERES, Y LAS INICIATIVAS PARA LOGRAR UNA IGUALDAD REAL SON ESPECIALMENTE NECESARIAS

Josefa Masegosa (IAA-CSIC)

El Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) se ha caracterizado, desde los años 90 hasta el momento actual, marcado por la constitución de la Comisión de Igualdad, por apoyar iniciativas inclusivas en igualdad de género. Desde su creación en 1977, el IAA ha contado con una directora y cuatro vicedirectoras. Actualmente, el equipo directivo del IAA cuenta con el director, la vicedirectora de ciencia y el vicedirector de tecnología. La dirección del Observatorio de Sierra Nevada y la jefatura de la Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico son desempeñadas por mujeres.

LOS INICIOS

En los años 90 destacan las siguientes actuaciones:

- En el año 1992 el IAA se asocia a WITEC (*Women In TEChnology*[1]), una de las primeras iniciativas europeas para favorecer la incorporación de las mujeres en las áreas STEM.
- En 1994 organiza, conjuntamente con el Instituto Universitario de Investigación de Estudios de las Mujeres y de Género[2], el primer curso de *Mujeres de Ciencia: Pasado y Presente*, coordinado por Teresa Ortiz, de la Universidad de Granada, y Josefa Masegosa, del IAA.

En 2001, las investigadoras del IAA Ascensión del Olmo, Isabel Márquez y Josefa Masegosa participaron activamente en la elaboración del número especial de la revista ARBOR, publicado en 2002, *Ciencia y Tecnología en el CSIC: una visión de género* con el artículo *La mujer en el área de Físicas y Tecnologías Físicas en el CSIC*[3]. Esta publicación se puede considerar la primera contribución española sobre el análisis de la situación de las investigadoras en el CSIC.

TIEMPOS RECIENTES

El siguiente hito importante en la historia del IAA en la promoción de las investigadoras en áreas STEM fue la celebración del Año Internacional de la Astronomía, cuyas actividades se iniciaron en 2007. El liderazgo de las actividades de divulgación recayó en el IAA, ocupando sus investigadoras un lugar relevante en el proyecto *Ella es una Astrónoma*, en cuyas actividades el IAA se involucró de forma directa[4].

Las investigadoras del IAA han mostrado desde los inicios de la Comisión de Mujeres y Ciencia del CSIC[5] su apoyo manifiesto en diversas ocasiones. Josefa Masegosa fue elegida como vocal del área de Ciencias y Tecnologías Físicas entre 2012 y 2016 y, desde 2016, la vocalía de este área es responsabilidad de Isabel Márquez. Desde dicha comisión se han



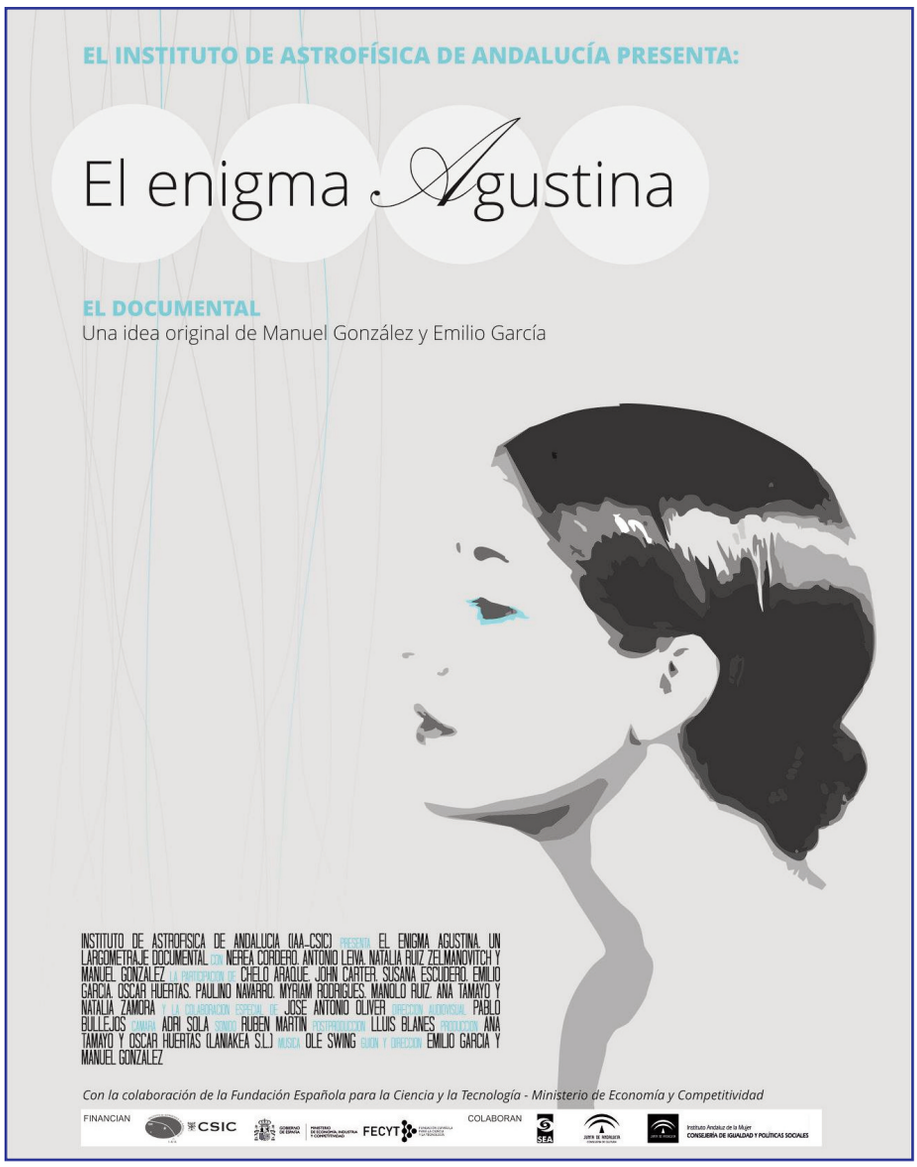
Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC)
11 de febrero, Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia

promovido políticas de Igualdad. Además de las contribuciones en los informes anuales de la Comisión, destaca especialmente la publicación *La Comisión de Mujeres y Ciencia del CSIC: diez años promoviendo la igualdad de oportunidades y la excelencia en el organismo*[6] en el número 189 de la revista ARBOR en 2013, donde se hace una evaluación de la primera década de la Comisión con sus éxitos y retos aún por conseguir.

NIVEL INSTITUCIONAL

En cuanto a las actividades de divulgación y difusión de la ciencia, las contribuciones más significativas directamente relacionadas con la visibilización y promoción de la mujer en la ciencia, son:

- En esta revista, *Información y Actualidad Astronómica*, se han publicado artículos (18) con el objeto de visibilizar a científicas que han contribuido de forma significativa al desarrollo de la astronomía, así como otros tantos artículos (12) donde astrónomas del IAA explican de forma accesible sus investigaciones.
- Elaboración de una serie de capítulos en formato vídeo, sobre el papel olvidado de mujeres astrónomas muy relevantes en el Observatorio de Harvard, *Diario de Henrietta Leavitt*[7], cuyo primer capítulo apareció en 2012.
- *El enigma Agustina*, proyecto audiovisual del IAA, estrenado el 22 de marzo de 2018, aborda la lucha de la mujer por acceder a la carrera científica en España y reivindica algunas de las figuras femeninas de la historia. La película ha sido financiada por la Fundación Española para la Ciencia (FECYT-Ministerio de Economía, Industria y Competitividad) y cuenta con la colaboración de la Sociedad Española de Astronomía, la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía y el Instituto Andaluz de la Mujer.



En cuanto a las iniciativas relacionadas con la conciliación familiar, el IAA asignó una sala específica para lactancia materna en su nuevo edificio, inaugurado en 2008. En el mismo sentido, ya en el Plan Estratégico de 2010-2013 se solicitaba financiación para una ludoteca para los días laborables no lectivos. Este proyecto está aún pendiente de financiación.

La información segregada por género aparece en las memorias del IAA desde 2014. Dentro de la herramienta diseñada en 2016 por el IAA para facilitar el tratamiento de los datos de personal y generación flexible de informes (IRIA), se ha incluido la variable de género de modo que la información segregada está actualizada de forma permanente.

El hito más reciente del IAA es la constitución en septiembre de 2017 de la primera Comisión de Igualdad del IAA. Promovida por la nueva dirección del instituto tiene como objetivos elaborar el primer plan de Igualdad para el Instituto y crear un foro de debate y reflexión sobre la situación de las investigadoras en nuestra área.

En los próximos años, con la implementación del I plan de igualdad para el IAA, se incidirá en la implementación de políticas igualitarias por el centro, con una llamada de atención en contra de posibles conductas poco éticas hacia las trabajadoras. En dicho plan se pondrá especial énfasis en las políticas de conciliación tales como las ya existentes o previstas, así como la incorporación de servicios de guardería en las actividades organizadas por el IAA. Estas políticas inciden de forma especial en la no participación de las mujeres en actividades científicas, con el consiguiente deterioro de su carrera científica.

Además, la comisión se propone recoger y atender las peticiones de las trabajadoras más jóvenes y escuchar la experiencia de las más veteranas para generar mecanismos que apoyen los derechos de las mujeres, vigilando y recomendando en todo momento que haya un equilibrio de género, de modo que las oportunidades sean las mismas para los trabajadores y trabajadoras del centro.

1. http://www.witeceu.com
2. http://imujer.ugr.es/
3. http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/1097/1104, ver Anexo.
4. https://www.sea-astronomia.es/comision-mujer-y-astronomia
5. http://www.csic.e s/mujeres-y-ciencia
6. http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/1553/1592
7. http://henrietta.iaa.es/

divulgacion.iaa.csic.es

Y así te lo contamos

LA LABOR DE DIVULGACIÓN DEL IAA COMENZÓ HACE YA MÁS DE 25 AÑOS, Y HEMOS EXPLORADO PRÁCTICAMENTE TODOS LOS MEDIOS POSIBLES PARA HABLAR DE ASTRONOMÍA Y CIENCIA

EDICIONES

Editamos una revista, colaboramos con medios, comunicamos nuestros resultados a través de notas de prensa y desarrollamos material corporativo



AUDIOVISUAL

Un programa de radio, *El Radioscopio*, con casi 200 programas, varios documentales, dibujos animados, piezas audiovisuales, tres podcast y dos videoblogs



ACTIVIDADES

Un ciclo de divulgación mensual, participación en grandes eventos científicos como la Noche Europea de los Investigadores o la Semana de la Ciencia, un espacio propio en la Feria del Libro de Granada y visitas al Observatorio de Sierra Nevada



EDUCACIÓN

Conferencias de divulgación a escolares de todas las edades y proyectos educativos propios, como las Misiones pedagógicas 2.0, el PIIISA (Proyecto de Iniciación a la Investigación e Innovación en Secundaria en Andalucía) o la Guiñoleta (teatro de marionetas)



PROYECTOS

Desarrollo integral del plan de comunicación del proyecto UPWARDS, colaboración con los proyectos europeos BioStirling y Pre-EST (Telescopio Solar Europeo); coordinación del proyecto *Granada: ciencia para una ciudad*, y apoyo al proyecto Astronomía Accesible, entre otros





Instituto de Astrofísica de Andalucía
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Excelencia Severo Ochoa 07/2018 - 07/2022

CSIC

INSTITUTO de ASTROFÍSICA de ANDALUCÍA
CSIC
I·A·A

EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA