

UNA VISIÓN DEL UNIVERSO DESDE GRANADA: EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA (IAA-CSIC)

Isabel Márquez Pérez

Directora Científica Proyectos. IAA-CSIC

Antxón Alberdi Odriozola

Director del IAA-CSIC

RESUMEN

La investigación astrofísica y espacial constituye una parte indispensable de los fundamentos de la ciencia, e impacta en nuestra vida cotidiana y en la sociedad: desde la observación de la Tierra, la investigación del Sol, la comprensión de los agujeros negros o la búsqueda de otros mundos habitables en el Universo, hasta la existencia misma del Cosmos y su patrón fundamental. Hay numerosos ejemplos sobre la influencia del conocimiento astrofísico en nuestras vidas: el impacto de las tormentas solares en la infraestructura espacial y terrestre, la comprensión del peligro de los asteroides cercanos a la Tierra, el desarrollo tecnológico y la actividad económica vinculada al espacio, la medición del tiempo, los tests experimentales de la física fundamental, entre otros. Las ciencias del espacio sirven además como inspiración para las artes, ayudando a entender nuestro lugar en el Universo. En el artículo se abordan estos temas desde la perspectiva y actividades del *Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC)*.

1. INTRODUCCIÓN SOBRE EL IAA-CSIC

El *Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC)*, con más de 230 miembros, es un centro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) que ocupa una posición sólida y única en la astrofísica e investigación espacial en España, siendo el mayor centro de investigación astrofísica del CSIC. El IAA fue fundado en 1975 con el objetivo de crear un centro de investigación de excelencia en astrofísica, ciencia espacial y sus tecnologías asociadas a nivel nacional e internacional. La misión general del IAA es expandir el conocimiento sobre el cosmos y nuestro lugar en él a través de la investigación de vanguardia en astrofísica y ciencia espacial, fomentar el progreso tecnológico a través del desarrollo de instrumentación innovadora definida en base a nuestros requerimientos científicos, y difundir nuestra investigación entre la comunidad científica y el público en general a través de extensas actividades de divulgación.

Nuestra amplia plantilla, la calidad y el número de instalaciones disponibles proporcionan al IAA la capacidad necesaria para cubrir todos los campos importantes de la astrofísica y la ciencia espacial, y le permiten desempeñar un papel de liderazgo en grandes proyectos internacionales. Nuestra investigación se basa en los tres pilares fundamentales de la astrofísica moderna: la observación, el desarrollo instrumental y los estudios teóricos y numéricos, y su utilización transversal. El amplio alcance de las actividades que realiza es una de las principales características y fortalezas de la IAA, por las que destaca entre sus pares nacionales e internacionales.

Sólo un pequeño puñado de institutos en todo el mundo son capaces de cubrir casi todos los campos de la astrofísica y las ciencias del espacio y de realizar observaciones remotas (terrestres) e *in situ* (espaciales), con desarrollos tecnológicos asociados. De hecho, en la actualidad, el IAA es la 2ª institución española por producción científica para la investigación en astrofísica y la 1ª entre los centros del CSIC para esta área de investigación. En julio de 2018, fue acreditado por primera vez como *Centro de Excelencia “Severo Ochoa”* por el Ministerio de Ciencia, Universidades e Investigación. En diciembre de 2022 fue seleccionado por segunda vez como Centro de Excelencia Severo Ochoa, acreditación de la que disfrutamos por otros cuatro años desde enero de 2023 (SO-IAA-2023).



Figura 1. Foto de grupo conmemorativa de la consecución del segundo proyecto de excelencia Severo Ochoa del IAA (SO-IAA 2023-2027)

Único centro andaluz acreditado actualmente con el sello de excelencia Severo Ochoa, el prestigio del IAA es reconocido a nivel global. Los centros Severo Ochoa y las unidades María de Maeztu son seleccionados por el Ministerio como centros e unidades de excelencia que destacan por estar en la vanguardia de la investigación española, y por la relevancia e impacto, a nivel internacional, de los resultados de su investigación. Estos centros y unidades se agrupan en la alianza SOMMa (Severo Ochoa & Maria de Maeztu alliance). El IAA cuenta con un plus de visibilidad en esta alianza, ya que es uno de los 3 miembros de la Presidencia de SOMMa, siendo su Directora Científica la responsable de la Vicepresidencia Segunda.

2. LA INVESTIGACIÓN EN EL IAA

El IAA tiene como objetivo general avanzar en nuestra comprensión del Universo en todas las escalas. Se investiga en todas y cada una de las principales áreas de la Astrofísica moderna, desde la gravedad cuántica al Sistema Solar, pasando por los planetas extrasolares, los componentes de nuestra Galaxia y la evolución de las galaxias hasta escalas cosmológicas. Nuestro programa de investigación cubre las cuestiones fundamentales definidas en el Plan Estratégico 2022-2035 para la astronomía europea de la red europea de astronomía ASTRONET.

Nuestro objetivo estratégico declarado es *consolidar el IAA como uno de los institutos líderes en astrofísica y ciencia espacial en Europa* y garantizar su posición para la explotación de la próxima generación de experimentos avanzados y revolucionarios. Aprovechamos las oportunidades que ofrece nuestra gestión de CAHA para ocupar nichos únicos en astronomía observacional y seguir utilizándola como banco de pruebas tecnológico. Asentamos nuestra posición en la participación en misiones espaciales internacionales, como Solar Orbitero JUICE, y en las futuras PLATO, Comet Interceptor, EnVision y VIGIL. Nos centramos en el European Extremely Large Telescope (ELT), el European Solar Telescope (EST), el Cherenkov Telescope Array (CTA) y en el SKAO (Square Kilometre Array Observatory), grandes infraestructuras ESFRI en Astronomía, ya que desempeñarán un papel transformador en la astrofísica. En el camino hacia estos objetivos a largo plazo, haremos hincapié en el trabajo preparatorio con la instrumentación astronómica actualmente disponible.

El Plan Estratégico del nuevo proyecto “Severo Ochoa” SO-IAA 2023-2026 prioriza las actividades científicas y tecnológicas en tres líneas estratégicas: a) Sistemas planetarios, atmósferas e interacciones estrella-planeta; b) Acreción, formación estelar y entorno como motores de la evolución de las galaxias; c) Instrumentación e instalaciones de última generación. Las actividades previstas se enmarcan en proyectos sinérgicos transversales entre grupos de investigación del IAA, a los que el Instituto se enfrenta con garantías de éxito, y en la frontera de la investigación, nacional e internacional, en astrofísica y ciencias del espacio. La explotación científica de grandes instalaciones por el personal científico del IAA a lo largo de todo el rango espectral, utilizando diferentes técnicas de observación (fotometría, espectroscopia, imagen, espectropolarimetría, interferometría), favorece este enfoque sinérgico global. Estos proyectos sinérgicos cuentan con el respaldo fundamental de líneas científicas bien establecidas en el IAA, y a las que la nueva acreditación Severo Ochoa asentará definitivamente en la élite nacional e internacional. No en vano dos de las 14 temáticas estratégicas del *Libro Blanco Desafíos Científicos CSIC 2030*, editado por la Vicepresidencia Científica y Técnica del CSIC y que incluye todas las disciplinas científicas cubiertas por la Institución, se han coordinado desde el IAA: “Entender los componentes básicos del universo” y “Espacio, colonización y exploración”.

La investigación de alta calidad del IAA se ha puesto de manifiesto por ejemplo en nuestro liderazgo en el descubrimiento de Próxima B, que fue portada de Nature, así como en varios otros descubrimientos recientes en los que el IAA también ha participado. Hemos iniciado una nueva línea para la caracterización multi-longitud de onda de las interacciones estrella-planeta. La contribución de CARMENES, codirigida por el IAA, ha sido primordial, no sólo por su confirmación de más de 59 nuevos exoplanetas, de ellos 43 Tierras y Super-Tierras, sino también porque ha abierto nuevas vías de para la detección de especies moleculares y el estudio de la dinámica de las exo-atmósferas de Júpiter calientes, y el escape de gas de exoplanetas gigantes.

Igualmente, exitosos ha sido la exploración del cometa 67P/ Churyumov-Gerasimenko, el descubrimiento de anillos en planetas enanos, o la contraparte electromagnética de eventos de ondas gravitacionales. Asimismo, merece ser mencionada la participación activa de investigadores del IAA en la obtención de la primera imagen de un agujero negro supermasivo en el corazón central de M87, y posteriormente del agujero supermasivo de la Vía Láctea, que fueron portada de las revistas científicas especializadas y de todos los periódicos de información general del mundo. El proyecto GALACTICNUCLEUS ha comenzado a estudiar la cinemática de las estrellas en el Centro Galáctico, con especial atención a la búsqueda de cúmulos jóvenes desconocidos hasta ahora en esta región. En cuanto a la evolución de galaxias se refiere, el IAA lidera o colidera varios programas científicos galácticos y extragalácticos de los precursores del survey J-PAS, que observará más de 8500 grados cuadrados de cielo. Contribuye igualmente al estudio de los vientos producidos en el corazón de galaxias activas. En la figura 2 se muestran algunos de estos resultados.

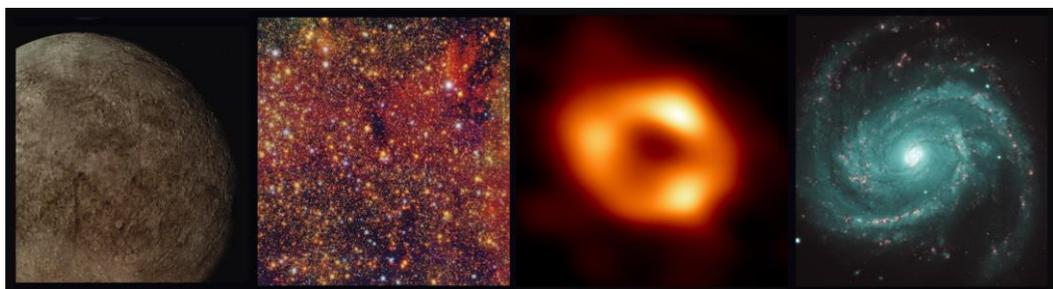


Figura 2. Imágenes de algunos de los proyectos exitosos del IAA. De izquierda a derecha, exoplanetas, el centro de Nuestra Galaxia, la sombra del agujero negro de M87, una galaxia activa con vientos en su región nuclear.

La actividad de investigación llevada a cabo en el IAA-CSIC se puede medir por el número de publicaciones en revistas científicas incluidas en el Science Citation Index (SCI), es decir, revistas

internacionales reconocidas por sus calidad e impacto. A lo largo de su historia el IAA ha publicado un total de 6419 publicaciones, con 211.627 citaciones y un factor H como instituto de 166. La figura 3 muestra la evolución del número de artículos desde 2017. Durante el periodo de 2020 a 2022 se han publicado 954 artículos SCI, de los cuales el 90% pertenecen a revistas del primer cuartil (11% a las del primer decil). En 2022 el IAA ha publicado 386 artículos, 20 de ellos en revistas del máximo impacto (Nature & Science). Nótese el incremento de la producción de 2020 a 2022, gracias al ímpetu del proyecto de excelencia Severo Ochoa del IAA.

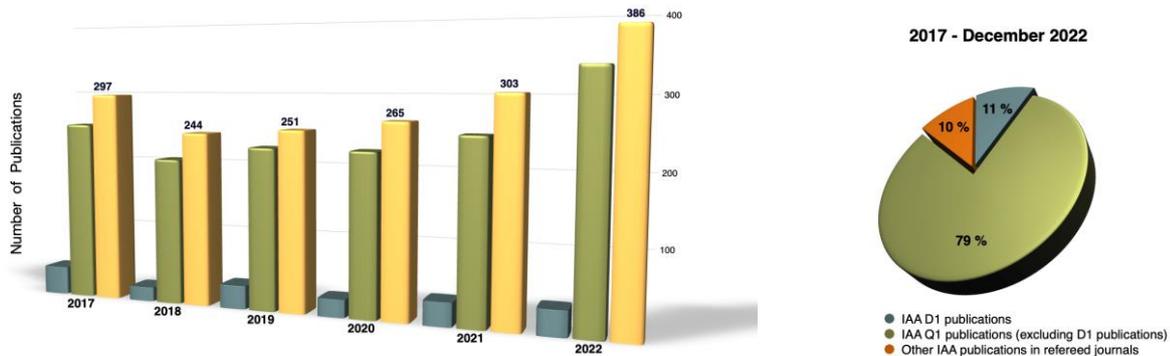


Figura 3. Izquierda: Evolución producción científica del IAA en el periodo 2017-2022; Derecha: Distribución de las publicaciones del IAA en Decil 1 (D1), Cuartil 1 (Q1; excluyendo las D1) en 2022.

Otros aspectos a destacar de la investigación científica del IAA son el *liderazgo* y la *internacionalización* de estas publicaciones. Más de un tercio (27%) de las publicaciones del IAA están dirigidas por científicos y científicas del IAA, es decir, su primer autor pertenece al IAA. El IAA es líder en la internacionalización de sus investigaciones. Esto se refleja en el elevado número de publicaciones con autoría internacional respecto al número total de publicaciones del IAA, que es superior al 91% de los artículos publicados.

3. LA ACTIVIDAD TECNOLÓGICA

Desde el punto de vista de las actividades con orientación tecnológica, el IAA lidera desarrollos tecnológicos para el espacio (figura 4). Destacamos algunos de los últimos lanzamientos como NOMAD@ExoMars-TGO en 2016, BELA@BepiColombo en 2018, PHI@SolarOrbiter en 2020, instrumento del que somos co-IP, y los instrumentos JANUS y GALA para la misión JUICE que visitará las lunas jovianas, lanzada el pasado mes de abril. Y sin olvidar la exitosa misión Rosetta, donde el IAA lideró la contribución española a los instrumentos GIADA y OSIRIS. Nuestra implicación en la mayoría de las grandes misiones espaciales europeas garantiza nuestra participación en la explotación de los datos resultantes. Así mismo el IAA desarrolla instrumentación de vanguardia para telescopios terrestres (figura 5) en los observatorios GTC (MEGARA) y CAHA (CARMENES y PANIC), y co-lidera el proyecto para el nuevo espectrógrafo de campo integral, TARSIS@CAHA.

Participamos en los consorcios de ANDES y MOSAIC, instrumentos para el Extremely Large Telescope (ESO), y en la fase preparatoria de la infraestructura ESFRI European Solar Telescope (EST), lo que nos sitúa en una posición única para contribuir significativamente a su fase de construcción. Contribuimos al modelado y desarrollo del archivo de software de CTA, con una fuerte involucración en Gammapy, que fue el paquete finalmente seleccionado para las Herramientas Científicas del CTA. Estamos en posición privilegiada para explotar el excepcional potencial del EHT, en el que el IAA ha reforzado su liderazgo. Además, el IAA coordina desde 2011 la participación científica y tecnológica de España en el Square Kilometre Array Observatory (SKAO).



Figura 4. Composición de imágenes ilustrativas de los proyectos instrumentales espaciales con participación del IAA. De izquierda a derecha: Comet Interceptor, PLATO y JUICE.



Figura 5. Composición de imágenes ilustrativas de los proyectos instrumentales en Tierra, en la hoja de ruta ESFRI, con participación del IAA. Arriba, SKAO. Abajo, de izquierda a derecha: EST, ELT y CTA.

Por otro lado, el IAA está reforzando su contribución a proyectos con necesidades de utilización de herramientas astrofísicas para datos masivos, abriendo la puerta a eventuales aplicaciones de inteligencia artificial aplicada a la astrofísica y ciencias del espacio y su innegable proyección futura en proyectos internacionales de altísimo impacto, como el legado de telescopio Vera Rubín (antiguo LSST). Cabe mencionar que el IAA juega un papel fundamental en la propuesta de uso de los Planes Complementarios de I+D+I de las Comunidades Autónomas del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España, como co-coordinador en Andalucía de los dedicados a la temática de “Astrofísica y Física de Partículas”.

4. LA DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La difusión de los resultados de la investigación realizada en el IAA sigue, en primer lugar, el cauce correspondiente a su carácter de centro de investigación, es decir, el de las *publicaciones científicas*. La contribución científica del IAA destaca por su producción, excelencia e internacionalización, como ya se ha detallado previamente.

En segundo lugar, hacemos difusión directa al público general a través de nuestra Unidad de Cultura Científica (UCC), e indirecta a través de las páginas web de CAHA o del CSIC, y de los centros con quienes colaboramos (por ejemplo, a través de notas de prensa de difusión internacional como las de ESO, ESA, SKAO o HST). Algunos de estos resultados tienen un fuerte impacto social, como por ejemplo fue el caso en 2019 de la primera imagen de la sombra del agujero negro en M87. La UCC lidera tres líneas de acción: *comunicación, educación y difusión*. El impacto de las actividades de comunicación y divulgación científica del IAA en la sociedad es sobresaliente y pareja a la de los grandes

centros de investigación internacionales, con numerosas charlas públicas periódicas, visitas de grupos escolares, blogs, documentales, emisiones de radio y su revista Información y Actualidad Astronómica. Por último, también realizamos actividades de difusión de nuestra actividad tecnológica, eminentemente la relacionada con la instrumentación espacial y para telescopios en Tierra, a través de jornadas de transferencia, que nos permiten llegar también al tejido productivo regional y nacional.

5. EL CAPITAL HUMANO: PERSONAL CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO Y DE APOYO

A finales de 2022, el IAA estaba compuesto por 233 personas, de las cuales el 63% es personal científico, es decir, investigadores en plantilla (49 personas), investigadores postdoctorales (56 personas) e investigadores predoctorales (42). El 27% es personal técnico, perteneciente a la Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico (UDIT; 45 personas). El 10% es personal administrativo y de gestión, así como personal de la Unidad de Cultura Científica.

Durante los años 2020 a 2022, 75 investigadores postdoctorales desarrollaron su investigación en el IAA, el 44% de ellos de nacionalidad no española. La financiación de estas plazas postdoctorales procede de diferentes fuentes: los contratos asociados al programa ERC Consolidator, los contratos Ramón y Cajal (R&C), Juan de la Cierva (JdC) y el resto proceden de fuentes propias y utilizan ayudas a la investigación del sistema internacional, nacional o regional. Por otro lado, el IAA mantiene una población flotante superior a 35 investigadores predoctorales. El programa Severo Ochoa ha sido primordial para potenciar el personal investigador tanto postdoctoral y predoctoral, así como para incorporar personal experto en las ingenierías necesarias para la implementación correspondiente a su plan estratégico.

El 73% del personal del IAA son hombres, y el 27%, mujeres. Desde 2018 el IAA ha definido en su estructura una “*Comisión de Igualdad del IAA*”, que busca remarcar el trabajo de la mujer en la ciencia y hacerlo compatible con su vida personal. Esta comisión redactó el “*Plan de Igualdad del IAA*”, uno de los primeros entre los centros de investigación españoles.

La actividad científica del IAA, estructurada en 4 departamentos (Sistema solar, Física estelar, Radioastronomía y estructura galáctica, y Astronomía extragaláctica), está respaldada por la Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico (UDIT), la Unidad de Cultura Científica, la unidad de Servicios Generales y el Centro de Cálculo. El IAA cuenta con su Oficina de Calidad del Cielo. Además, desde la consecución de la primera acreditación “Severo Ochoa” contamos con la Oficina Técnica del SO-IAA.

Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico (UDIT). La astronomía observacional en las fronteras de la ciencia requiere una instrumentación de vanguardia. Liderar y participar en la construcción del estado del arte de la instrumentación para misiones espaciales y observatorios terrestres es una parte integral de la misión del IAA. Este objetivo se logra a través de la actividad coordinada entre los investigadores y el personal de la UDIT dentro de los consorcios internacionales. Su orientación hacia el desarrollo tecnológico proporciona un claro vínculo con la industria privada. En UDIT se cubren actividades relacionadas con la electrónica, mecánica, óptica y desarrollo de software. Entre los laboratorios del IAA destacamos, por su carácter multidisciplinar, CODULAB, laboratorio de referencia mundial que proporciona datos experimentales únicos sobre las propiedades ópticas de las partículas de polvo cósmicas.

Servicios generales (SG). Dirigida por el Gerente del IAA, esta unidad cuenta con una excelente plantilla de profesionales con amplia experiencia tanto en la gestión de personal, como en la gestión económica. Proporciona servicios fundamentales: soporte administrativo, incluyendo la gestión económica de proyectos nacionales y europeos, la biblioteca y el departamento de mantenimiento.

Centro de cálculo (CC). Es responsable de la gestión y administración eficiente, a nivel de servicios informáticos y de comunicaciones, de las infraestructuras TIC necesarias para el desarrollo de proyectos de investigación y colaboración con empresas.

Oficina de calidad del cielo. Nace como un instrumento para garantizar la preservación del cielo en Andalucía y tiene como principal objetivo actuar como soporte científico a las diferentes administraciones públicas y demás agentes implicados en la conservación del cielo oscuro.

Oficina Técnica Severo Ochoa (OT-SO). Implementada con la consecución del primer sello de excelencia Severo Ochoa del IAA, tiene como objetivo dar soporte al proyecto SO-IAA y a la actividad científica del IAA-CSIC. La OT-SO tiene un claro carácter transversal ya que trabaja de forma coordinada y en colaboración con la SG, el CC, la UCC y la UDIT. Es fundamental para la incorporación de talento internacional.

6. OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS PROPIOS

Observatorio de Calar Alto (CAHA). Se encuentra ubicado en la sierra de Los Filabres (Almería) a 2167 metros de altitud. CAHA es operado conjuntamente por el CSIC y la Junta de Andalucía desde 2019, siendo el IAA el centro de referencia para el desarrollo de su estrategia científico-técnica. CAHA cuenta con tres telescopios con aperturas de 1.23m, 2.2m y 3.5m. Las condiciones atmosféricas, ideales para las observaciones astronómicas, y el tamaño de apertura de sus telescopios, convierten a CAHA en el observatorio astronómico más importante en Europa continental (figura 6).



Figura 6. Vista de la cúpula del telescopio de 3.5m de CAHA con la Vía Láctea de fondo.

Los telescopios de CAHA están equipados con instrumentación astronómica de vanguardia que incluye cámaras directas en el visible e infrarrojo cercano y espectrógrafos de dispersión intermedia y alta. El observatorio tiene sus propias instalaciones técnicas: salas limpias, instalaciones electrónicas, mecánicas y de computación, y cámaras y sensores para monitorear la calidad del cielo nocturno. Ofrece, además, servicios de aluminización, con la cámara de aluminización más grande de Europa, que puede albergar espejos con diámetros de hasta 4 m. Actualmente se está en el proceso de construcción de TARSIS, el nuevo instrumento para el telescopio de 3,5m, que mantendrá a CAHA en la élite de la astronomía internacional en el área de la espectroscopía bidimensional de gran campo.

Observatorio de Sierra Nevada (OSN). Ubicado en Loma de Dílar (2896m de altitud) dentro del Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada), el OSN es operado y provisto por el IAA. Alberga dos telescopios ópticos 90 cm y 1,50 m de diámetro, especialmente adecuados para proyectos que requieren una respuesta rápida u observaciones de monitoreo durante largos períodos de tiempo. El observatorio realiza asimismo observaciones relacionadas con actividades educativas y divulgativas.

7. LIDERAZGO INTERNACIONAL

El IAA destaca como un centro altamente internacionalizado, donde prácticamente todos los grupos forman parte de diferentes colaboraciones internacionales. El porcentaje de investigadores postdoctorales extranjeros y de alto nivel ha aumentado constantemente en los últimos años. Los grupos del IAA mantienen importantes colaboraciones internacionales con instituciones de investigación de referencia, debido a la relevancia de los temas de investigación que se abordan en el instituto. En esta misma línea, estamos aumentando nuestra participación en proyectos y consorcios astronómicos internacionales de instrumentación de vanguardia para grandes telescopios. El personal investigador del IAA accede de manera regular a tiempo de observación competitivo, en todos los rangos de energía, en los mejores observatorios internacionales.

La investigación propuesta en nuestro plan Severo Ochoa se centra en el estudio, a escalas progresivamente superiores, de los fenómenos asociados a la formación de estrellas: desde escalas que contemplan sus sistemas planetarios y las atmósferas de los correspondientes exoplanetas, pasando por aquellas relativas a las de formación de estrellas masivas y su entorno próximo, las escalas de las diferentes componentes de las galaxias y su interrelación (incluyendo el efecto de los núcleos activos), hasta llegar a la gran escala, donde las galaxias se entienden como unidades de construcción de estructuras de orden jerárquico superior. Son campos de trabajo de fuerte proyección internacional, en los que el personal investigador del IAA tiene un reconocido prestigio.

En cuanto a las actividades de carácter transversal metodológico e instrumental, se centran fundamentalmente en dos campos de trabajo altamente internacionalizados. Por un lado, en la explotación de grandes volúmenes de datos en grandes muestreos galácticos y extragalácticos, con proyectos de referencia como J-PAS o los proyectos de legado asociados a los nuevos instrumentos para el Observatorio de Calar Alto. Por otro lado, uno de los objetivos estratégicos del primer proyecto Severo Ochoa del IAA fue desarrollar un precursor que permita acreditar al *IAA como Regional Center de SKAO*. Este proto-SRC ya está dando servicio a los investigadores del IAA. El proyecto del SKAO es un gran proyecto internacional, donde el IAA coordina la participación española. Es importante señalar que, en lo relativo a las actividades de e-Ciencia, Ciencia Abierta y reproducibilidad en el análisis de datos científicos, el IAA es un centro pionero en el desarrollo de metodologías de e-Ciencia para la radioastronomía. El IAA está particularmente comprometido en el área de la Ciencia Abierta para su aplicación a un nodo potencial de la red del Centro Regional SKAO Europeo en el IAA, con un énfasis en la reproducibilidad de la metodología. El IAA representa al CSIC en comisiones europeas de Ciencia Abierta.

El personal del IAA contribuye a numerosos comités internacionales, entre ellos el Consejo de Administración de la revista *Astronomy & Astrophysics*, el Comité Consultivo de Ciencias Espaciales, el Grupo de Trabajo sobre el Sistema Solar y la Academia de Astronáutica de la Agencia Espacial Europea, el SEAC (SKAO External Scientific and Technological Advisory Committee), o el Event Horizon Telescope Council, entre otros.

8. PREMIOS NACIONALES E INTERNACIONALES

En 2019 el IAA fue galardonado con la "*Granada de Plata*" del Ayuntamiento de Granada, así como el "*Premio Granada Ciudad de la Ciencia a la excelencia en investigación 2019*" por su trayectoria en la investigación espacial. El IAA fue premiado por el gobierno andaluz con la "*Medalla de Andalucía de la Investigación, la Ciencia y la Salud, 2020*" por su trayectoria investigadora.

Los investigadores del IAA pertenecientes a la colaboración EHT han recibido el *Premio Breakthrough 2019*, la "*2020 Einstein Medal*", el "*2020 Bruno Rossi Prize*", y la "*2021 Medal of the Royal Astronomical Society*", entre otros galardones. La "Sociedad Española de Astronomía (SEA)" concedió el premio al *mejor "Doctorado en Astrofísica 2016"* a Joel Sánchez-Bermúdez. La

investigadora del IAA Concepción Cárdenas recibió el “*Premio SEA 2019*” a la mejor tesis doctoral en instrumentación en Astronomía y el “*MERAC Award 2020*” de la European Astrophysical Society (EAS). La investigadora Mirjana Povic, doctora vinculada al IAA, obtuvo el premio inaugural *Nature Research Award* en la categoría de ciencia inspiradora en 2018 y la *medalla Jocelyn Bell Burnell de la EAS* en 2021. La investigadora Lourdes Verdes-Montenegro obtuvo el *Premio Ada Byron Mujer Tecnóloga 2022*. La Unión Astronómica Internacional (IAU) concedió en 2021 el *Premio de Doctorado en la categoría "Instalaciones, tecnologías y ciencia de datos"* a Francisco Bailén. Asimismo, Francisco Nogueras obtuvo en 2022 el “*Premio Extraordinario de Doctorado*” de la Universidad de Granada. Varios investigadores han recibido diferentes premios en las convocatorias de 2018, 2019, 2021 y 2022 de los “*Premios Granada Ciudad de la Ciencia*”. Adicionalmente, la “Unidad de Cultura Científica del IAA” ha recibido diferentes premios como el “*Premio Prismas al mejor programa de radio 2018*” por el programa “El Radioscopio” o el “*Premio Prismas en la categoría de proyecto singular 2019*” por la película documental “El Enigma Agustina”.

9. ATRACCIÓN DE TALENTO JOVEN

La implicación del personal científico y técnico del IAA en actividades educativas y académicas tiene una larga tradición. Colaboramos estrechamente en programas de master y doctorado de la Universidad de Granada, así como en un master conjunto con la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP) y el instituto de investigación IFCA/CSIC. Más recientemente se han firmado nuevos acuerdos de cooperación con las Universidades de Almería y Sevilla. En todas las actividades descritas cabe destacar la disponibilidad de las instalaciones telescópicas de CAHA y OSN para la formación de estudiantes y como laboratorios para que las escuelas de ingeniería desarrollen proyectos tecnológicos. En combinación con sus amplias actividades científicas y tecnológicas, el IAA es capaz de ofrecer proyectos de investigación atractivos en la vanguardia de la investigación astrofísica a estudiantes talentosos. Siendo centro de excelencia Severo Ochoa, el IAA ofrece la oportunidad al alumnado que se inscribe en un master, de iniciarse en la investigación a través del programa anual JAE-intro del CSIC para centros Severo Ochoa y María de Maeztu. Este programa permite además al personal postdoctoral iniciarse en las actividades de formación académica del personal becado en estas convocatorias.

En el IAA se leen una media de 6 tesis doctorales por año. Desde 2020, hemos recibido tres investigadores predoctorales del programa INPHINIT de La Caixa para centros Severo Ochoa, y 13 contratados predoctorales FPI que provienen del programa Severo Ochoa. El resto están contratados por los programas ERC o son FPI adscritos a los proyectos de investigación de investigadores del IAA.

El IAA ofrece un entorno de investigación apasionante que incluye una amplia gama de actividades científicas y tecnológicas. Los temas de investigación se abordan desde un punto de vista multidisciplinar, con un conjunto de herramientas instrumentales y teóricas, algunas de las cuales son de desarrollo propio, utilizando técnicas de programación de vanguardia. Así, el personal investigador joven encuentra un entorno maduro y dinámico en el que aprender y crecer, y en el que comparte experiencias inspiradoras por el contacto con una amplia gama de campos y metodologías. El IAA tiene éxito en la atracción de jóvenes investigadores que no sólo proceden de diferentes instituciones de España y la UE, sino también de Estados Unidos, Sudamérica, Asia, entre otros (ver figura 3).

El personal investigador joven tiene acceso a instalaciones de primera línea, que van desde el acceso electrónico a todas las publicaciones astronómicas, catálogos y bases de datos, hasta instalaciones de observación como nuestro OSN local, el observatorio de Calar Alto (CAHA), la antena de 30m de IRAM, el ORM con el GTC de 10m, los 4 VLT de ESO, o el Telescopio Espacial Hubble (HST), Kepler y los Observatorios de Rayos X Chandra y XMM Newton. Además disponen de la financiación para viajes al extranjero para colaborar con socios internacionales (básicamente toda nuestra investigación está internacionalizada) y para participar en conferencias internacionales, talleres y escuelas de invierno/verano.

Cabe destacar en este sentido, la ingente cantidad de actividades formativas de primerísimo nivel (*SO Training Program*) que se suman a las habituales del IAA, gracias a la consecución de la acreditación de excelencia Severo Ochoa, y que cubren capítulos formativos muy importantes que van desde la redacción y presentación de trabajos científicos, el uso de herramientas estadísticas para el análisis de los datos, las técnicas de Big Bata y Machine Learning aplicadas a la astrofísica, o cursos temáticos específicos, orientados a la puesta al día, con especialistas internacionales del más alto nivel, de las temáticas científicas objeto de nuestro plan estratégico SO-IAA.

10. TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO

La continua actividad del IAA en misiones de ciencia espacial y proyectos de instrumentación astronómica nos ha proporcionado las habilidades y conexiones necesarias para establecer estrechas colaboraciones con empresas privadas del sector de alta tecnología, lo que ha dado lugar a la obtención de varias patentes y a una serie de contratos de I+D+i. Hemos identificado una serie de áreas con gran potencial para que las habilidades de nuestros técnicos e ingenieros sean utilizadas en actividades de diseño, desarrollo y consultoría para empresas privadas o instituciones de investigación. El propio IAA no comercializa aplicaciones, pero puede compartir colaboraciones con empresas y otros grupos de interés capaces de desarrollarlas, siempre con el asesoramiento y la ayuda de la Oficina de Transferencia del CSIC. Nuestra contribución a SKA, la nueva instrumentación para CAHA y los desarrollos instrumentales para exploración espacial, y el cartografiado J-PAS, son un verdadero banco de pruebas para este modelo de producción y transferencia de conocimiento. El desarrollo de metodologías para el almacenamiento y la manipulación de datos producirá más valor añadido.

11. EN RESUMEN

El IAA es el mayor instituto de Astronomía e Investigación Espacial del CSIC. La amplia experiencia de su personal, junto con sus actividades tecnológicas, son únicas en España. Su investigación abarca desde el Sistema Solar hasta el Universo primitivo. El IAA ha contribuido a casi todas las misiones recientes más importantes de la ESA/NASA/JAXA relacionadas con el Sistema Solar y construye instrumentos de última generación para telescopios terrestres. El IAA es un centro internacional de referencia para la radioastronomía, con una participación significativa en el Telescopio Event Horizon y el compromiso de establecer un Centro Regional SKA. El IAA cuenta con una sólida trayectoria, con un gran número de trabajos de gran impacto en campos diversos de la Astronomía. La nominación como Centro de Excelencia Severo Ochoa ha tenido un impacto transformador en el IAA en términos de atracción de talento internacional, rejuvenecimiento del centro, aumento de nuestra producción científica, puesta en marcha de un novedoso programa de formación, refuerzo del trabajo en infraestructuras estratégicas, visibilidad internacional y divulgación científica.