

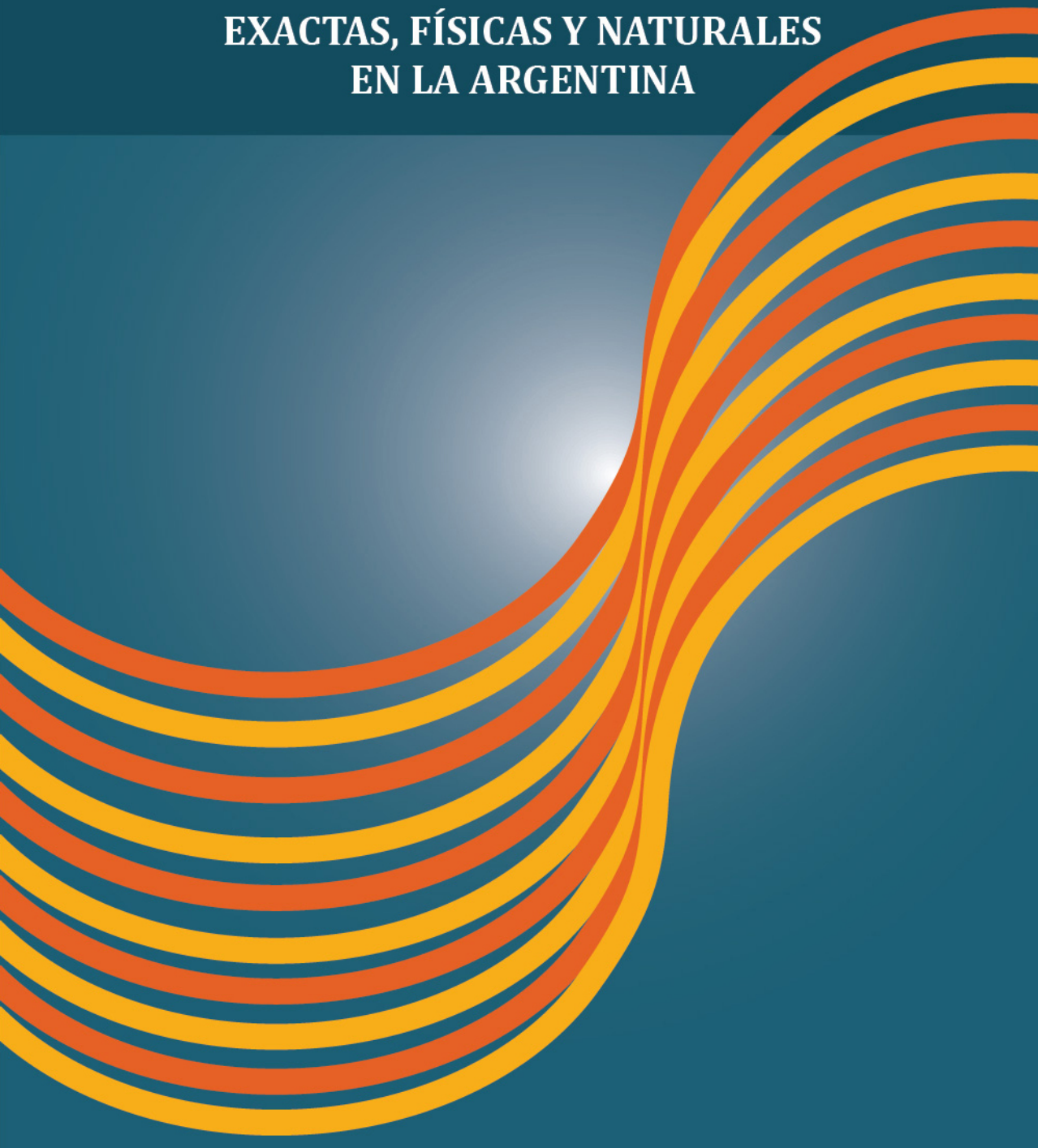


ACADEMIA  
NACIONAL  
DE CIENCIAS



ANCEFN  
Academia Nacional de  
Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

# ESTADO Y PERSPECTIVAS DE LAS CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES EN LA ARGENTINA



Proyecto conjunto de la Academia Nacional de Ciencias Exactas,  
Físicas y Naturales y la Academia Nacional de Ciencias

**ESTADO Y PERSPECTIVAS DE LAS CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES  
EN LA ARGENTINA**

República Argentina  
Agosto 2015

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.

En Tapa:

*Las ondas de la tapa representan las diez áreas consideradas. Las ondas están presentes en todas ellas a través de los movimientos oscilatorios de la materia y de lo que ésta nos transmite por medio del análisis de sus ondas electromagnéticas. Representan también la fluidez, el movimiento, el desarrollo, las interrelaciones de cada área en sí misma y entre ellas.*

ISBN: 978-987-98313-9-7

**Diseño, Diagramación y Tapa:**

Lic. Lucía Hamity

**Revisión de Estilo:**

Dra. Liliana Tozzi

# **ESTADO Y PERSPECTIVAS DE LAS CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES EN LA ARGENTINA**

## **Comité Interacadémico**

Pedro Depetris, Roberto Rossi, Juan Tirao  
*Academia Nacional de Ciencias*

Eduardo Charreau, Roberto Cignoli, Mario Mariscotti  
*Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*

## **Coordinador General**

Enrique Vallés

## **Coordinadores**

Juan Carlos Forte	Gerardo Perillo
Demetrio Boltovskoy	Mirta Quattrocchio
Carlos Areces	Alejandro César Olivieri
Andrés Kreiner	Ernesto Gabino Mata
Víctor Ramos	Carlos Argaraña
Alicia Dickenstein	Nora Calcaterra

República Argentina  
Agosto 2015

# ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS

## COMISIÓN DIRECTIVA *2012-2016*

**Dr. JUAN TIRAO**  
Presidente

**Dr. PEDRO DEPETRIS**  
Vicepresidente

**Dr. ROBERTO ROSSI**  
Académico Secretario

**Dr. HUGO MACCIONI**  
Académico Prosecretario

Vocales Titulares

**Dr. EDUARDO STARICCO**  
**Dr. HÉCTOR BARRA**  
**Dr. ROBERTO MIATELLO**  
**Dra. BEATRIZ CAPUTTO**

Vocales Suplentes

**Dr. VÍCTOR HAMITY**  
**Dra. RITA HOYOS**  
**Dr. VICENTE MACAGNO**  
**Dr. JUAN JOSÉ CLARIÁ**  
**Dr. ENRIQUE BUCHER**  
**Dr. JORGE VARGAS**  
**Dra. ANA ANTON**  
**Dra. CLELIA RIERA**

**ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y  
NATURALES**

**MESA DIRECTIVA  
2014-2016**

**Dr. ROBERTO CIGNOLI**  
Presidente

**Dr. ARMANDO PARODI**  
Vicepresidente

**Dr. ENRIQUE BARAN**  
Secretario General

**Dra. MARIANA WEISSMANN**  
Secretario de Actas

**Dr. VÍCTOR YOHAI**  
Tesorero

**Ing. LUIS DE VEDIA**  
Protesorero

Suplentes

**Dra. MARTA ROSEN**  
**Dr. ROBERTO FERNÁNDEZ PRINI**



## TABLA DE CONTENIDOS

Prólogo .....	9
Capítulo 1: Ciencias Exactas, Físicas y Naturales .....	11
Capítulo 2: Astronomía .....	37
Capítulo 3: Biología de Sistemas .....	81
Capítulo 4: Ciencias de la Computación .....	129
Capítulo 5: Física .....	175
Capítulo 6: Geología .....	221
Capítulo 7: Matemática .....	267
Capítulo 8: Oceanografía .....	307
Capítulo 9: Paleontología .....	349
Capítulo 10: Química .....	373
Capítulo 11: Química Biológica y Biología Molecular .....	409
Abreviaturas .....	445



## CAPÍTULO 2

# ASTRONOMÍA

### **Coordinador**

Juan Carlos Forte

CONICET, Planetario Galileo Galilei, Ciudad Autónoma de Buenos Aires

### **Colaboradores**

Marcelo Arnal, UNLP, IAR (CONICET), La Plata

Gloria Dubner, IAFE (CONICET-UBA), Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Diego García Lambas, IATE (CONICET-UNC), OAC (UNC), Córdoba

Hugo Levato, UNSJ, ICATE (CONICET), San Juan

Juan C. Muzzio, UNLP, IALP (CONICET), La Plata

### ***Agradecimientos***

*El coordinador y sus colaboradores agradecen a la Lic. Claudia Boeris, a la Dra. Andrea Costa y al Lic. Carlos López por suministrar parte del material incluido en este documento.*

## METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología de trabajo apuntó a realizar una descripción de las características y potencialidades de los principales centros de investigación en Astronomía-Astrofísica en nuestro país. Se realizó también un análisis de la productividad científica en términos del volumen y la calidad de las publicaciones. Para ello se emplearon las bases SCImago, ADS (Harvard-NASA) y de RICyT.

Además, se obtuvo información sobre el número de licenciados y doctores en Astronomía egresados de los tres ámbitos universitarios que tienen esas carreras en la actualidad en el país: Córdoba, La Plata y San Juan.

Finalmente, se presenta una síntesis de las conclusiones y acciones que se recomiendan para el futuro desenvolvimiento de la disciplina.

## DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

La Astronomía es una ciencia básica e históricamente fundacional de lo que en la actualidad conocemos como investigación científica. Las raíces de la Astronomía pueden rastrearse varios miles de años atrás en la historia de la humanidad. Casi todas las grandes civilizaciones de la antigüedad exhibieron algún grado de desarrollo astronómico vinculado, principalmente, con la medida del tiempo en diversas escalas y con el manejo de cuestiones relacionadas con la supervivencia (por ejemplo, en los pueblos que practicaban la agricultura). Más tarde se desarrollaron métodos de navegación basados en la observación del cielo diurno y nocturno.

Salvo algunos ejemplos notables (por ejemplo, Aristarco en el siglo III AC), las mediciones astronómicas se limitaron antiguamente a las coordenadas definidas sobre la esfera celeste y al tiempo cronológico. A partir del siglo XVII, algunos aportes fundamentales realizados en la identificación de las leyes naturales (por ejemplo, las leyes de Kepler), juntamente con el establecimiento de leyes básicas de la Física (Galileo y más tarde Newton), dieron lugar a la aparición de la Astrofísica. Esta disciplina puede considerarse entonces una superposición de áreas de interés común tanto a la Astronomía como a la Física. En la actualidad, es frecuente ver que los análisis del desarrollo científico en diversos países incluyen la categorización Astronomía-Astrofísica.

El desarrollo de la Astronomía se nutre de la observación del Universo mediante una gran variedad de instrumentos y de aportes teóricos, aspectos que presentan una permanente interacción. Los principales capítulos se describen en la siguiente sección. Cabe destacar que, más allá de los aportes al conocimiento básico, es también posible identificar contribuciones tecnológicas que han evolucionado hasta alcanzar un valor específico en el marco estratégico global.

### Disciplinas

A partir del panorama descripto, a continuación se detallan las principales líneas temáticas que se desarrollan en la Argentina: astronomía estelar/galáctica, astronomía extragaláctica, ciencias planetarias, medio galáctico/intergaláctico, sol y medio interplanetario, objetos compactos y altas energías, entre otras.

Finalmente, corresponde enfatizar que la relación histórica de la Astronomía con la Matemática y la Física se ha ido expandiendo a otros ámbitos que incluyen la Química, la Geología, la Biología e Ingenierías diversas, entre otras disciplinas.

## ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

Los últimos veinte años se han caracterizado por un notable y simultáneo desarrollo de las vertientes que nutren a la Astronomía-Astrofísica: por un lado, la capacidad de obtener datos observacionales crecientes en calidad y volumen y, por otro, el desarrollo de modelos teóricos cada vez más complejos, que abarcan múltiples enfoques. Paralelamente, y con un notable impacto en ambos aspectos, se ha producido en el mundo una evolución espectacular de las capacidades de cálculo y de conectividad, las cuales han permitido realizar desarrollos impensables pocos años atrás.

Cabe destacar que la inversión en instrumentación en los últimos veinte años ha alcanzado un récord histórico, tanto en lo que se refiere a observatorios ubicados en tierra como en el espacio. Esta inversión ha sido canalizada, en general, a través de grandes consorcios internacionales y refleja el interés de los países que lideran la investigación astronómica a nivel mundial por los aspectos inherentes al conocimiento básico, al desarrollo de tecnologías de punta y a su contexto estratégico.

Existe una larga relación interactiva entre la Astronomía y las tecnologías de avanzada: frecuentemente la Astronomía aparece como impulsora de diseños conceptuales que obligan al esfuerzo tecnológico; en otros casos, sin embargo, se aprovechan y mejoran capacidades desarrolladas para otros propósitos con fines astronómicos. Esta interacción ha llevado a un cubrimiento casi completo del espectro electromagnético y también a un avance significativo en la detección y comprensión de los orígenes de los rayos cósmicos.

Todo ello permite intentar una síntesis de los complejos fenómenos que dieron origen al Universo y a su posterior evolución con una capacidad sin precedentes. Tales desarrollos han conducido a:

a) Una mejor caracterización del concepto de planeta y de los componentes del Sistema Solar, como así también a su comparación con las características de los numerosos sistemas extra-solares descubiertos hasta la fecha. Esta comparación ha motivado una completa revisión de los modelos teóricos de formación de planetas aceptados hasta hace pocos años. Cabe mencionar que todos los planetas mayores del Sistema Solar ya han sido visitados por una o más misiones espaciales y que el objeto trans-neptuniano más característico (Plutón), actualmente considerado un planeta enano, será alcanzado en julio de 2015. La interpretación de los datos provistos por esas misiones requiere la intervención de una variedad de disciplinas (por ejemplo, Geología, Geomagnetismo, Aeronomía, etc.).

Los estudios de planetas extra-solares han superado la etapa de la detección

y obtención de los parámetros orbitales básicos y se encaminan ahora hacia la determinación de las características de las atmósferas que pudieran existir en esos objetos y a las eventuales condiciones de habitabilidad.

b) La posibilidad de estudiar una variedad de regiones de formación estelar y de los ambientes en los que ocurre ese fenómeno en diversas escalas espaciales, así como las diferentes etapas evolutivas de las estrellas y los resultados de su interacción con el medio interestelar circundante. Tales interacciones, a su vez, abarcan desde los llamados *jets*, asociados con la formación de estrellas de masa relativamente baja, hasta los violentos procesos vinculados con la muerte por explosión de supernovas en estrellas masivas.

c) El desarrollo de modelos teóricos de evolución estelar (interiores y atmósferas) que permiten una comparación detallada con las secuencias evolutivas observables en asociaciones estelares, cúmulos abiertos y cúmulos globulares. Tales modelos incluyen procesos poco explorados en el pasado, que cumplen diversos roles desde las fases más tempranas de la evolución de una estrella hasta su eventual final en forma de diferentes tipos de objetos. Entre estos últimos se destacan los remanentes de estrellas originalmente muy masivas que terminan en forma de estrellas de neutrones y los agujeros negros. En los últimos años se están desarrollando, incluso, modelos de evolución de estrellas binarias cuyas componentes intercambian masa.

El estudio del Sol ocupa un lugar destacado debido a la fuerte dependencia que presenta nuestro planeta con él. La investigación del Sol y del clima espacial ha progresado notablemente desde la puesta en órbita de satélites dedicados a su estudio, debido principalmente a que se ha podido obtener una mayor resolución espacial y temporal de los procesos intervinientes. Esto, a su vez, ha conducido a importantes avances en la física del plasma y en el conocimiento del clima espacial. En este contexto, pueden mencionarse las misiones SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*, 1995), TRACE (*Transition Region and Coronal Explorer*, 1998) y STEREO (*Solar Terrestrial Relations Observatory*, 2006), que producen imágenes en 3D. La mayor precisión ha permitido, a su vez, avanzar en el conocimiento de la estructuración del plasma por medio de campos magnéticos en la corona solar y en sus efectos sobre el medio interplanetario.

Resulta oportuno destacar el creciente interés que han concitado los estudios del ciclo solar, los mecanismos de calentamiento de la corona solar, y las múltiples estructuras magnéticas coronales como arcos y prominencias, como así también los procesos de inestabilidad que dan lugar a la deposición de gran cantidad de energía en pocos segundos, como en el caso de las fulguraciones solares que pueden excitar dinámicas tales como las eyecciones de masa coronal y tormentas magnéticas.

d) Una descripción más detallada del complejo medio interestelar, el cual alberga desde especies atómicas hasta una gran variedad de moléculas

complejas y partículas de polvo, y su interrelación con la evolución estelar en pequeña y gran escala. Esta línea de estudio se ha beneficiado con la realización de grandes relevamientos de las distintas componentes del medio interestelar. Estos relevamientos se han llevado a cabo utilizando fundamentalmente radiotelescopios y telescopios espaciales que operan en la banda infrarroja y han revelado un cuadro muy completo de la distribución, cinemática y dinámica de la materia existente entre las estrellas.

e) Un notable progreso en la determinación de distancias estelares mediante procedimientos geométricos primarios los que, a su vez, implican una sustancial mejora en las calibraciones de las magnitudes absolutas. Sobre la base de la experiencia recogida a través del satélite Hipparcos, la misión GAIA (actualmente en ejecución) apunta a la determinación de una variedad de parámetros cinemáticos y astrofísicos de unas mil millones de estrellas y otros objetos. El cumplimiento exitoso de esa misión, con una duración prevista de cinco años, debería permitir confeccionar un mapa confiable del entorno galáctico sobre una escala del orden de 6 o 7 kpc. Además, debería permitir mejorar la calibración en distancia de objetos que desempeñan un papel clave a escalas de distancias cosmológicas (por ejemplo, Cefeidas e indirectamente Supernovas tipo Ia ).

f) La detallada descripción de las componentes que se observan en galaxias con diferentes morfologías y edades. Esta descripción involucra no solo las características de las poblaciones estelares sino también aquellas que tienen que ver con la cinemática y la dinámica subyacente en esos sistemas. En este aspecto, los modelos dinámicos proveen información fundamental relacionada con la denominada materia oscura, cuya naturaleza permanece aún desconocida.

g) La creciente evidencia acerca del papel que han desempeñado los eventos energéticos en la vida de las galaxias y, en particular, el desarrollo de agujeros negros super-masivos en las regiones nucleares de esos sistemas. La clara relación entre la masa de esos agujeros negros con la masa estelar (tipo bulbo) de la galaxia en la que residen, ha sido una fuerte motivadora en esa dirección.

h) Los resultados que arrojan los grandes relevamientos de galaxias que permiten una descripción de las llamadas grandes estructuras, con un nivel de detalle sin precedentes. Se está desarrollando una diversidad de iniciativas que buscan asociar las características de esas estructuras con fenómenos dominantes en las etapas más tempranas del Universo, como se indica a continuación.

i) El descubrimiento de las estructuras presentes en la radiación de fondo, detectadas originalmente por el satélite COBE y recientemente caracterizadas con mayor nivel de detalle por el satélite PLANCK y otros estudios desde tierra. Entre esas estructuras, merecen destacarse las llamadas oscilaciones acústicas



de bariones. Ese es uno de los efectos más prometedores en la búsqueda de una calibración geométrica de la escala de distancias extra-galácticas apuntando a una tipificación temporal precisa de la variación de la constante de Hubble y del tipo de Universo que eso conlleva (cantidades relativas de materia bariónica y oscura y de energía oscura).

j) Los intentos para encontrar ondas gravitacionales predichas por la Relatividad General, los cuales se remontan a la década del 70 y que en la actualidad se canalizan en experimentos del tipo LIGO y varios proyectos asociados. En gran escala, el objetivo de los modelos teóricos consiste en ordenar cada uno de los capítulos descritos en una secuencia temporal consistente, la cual (eventualmente) se inicia con el fenómeno conocido como “Big Bang” ocurrido hace unos 13.500 millones de años y permite seguir la evolución de las galaxias y del medio a lo largo del tiempo, hasta culminar en las características que se observan en la actualidad. Como ejemplos notables de ese tipo de esfuerzos pueden mencionarse las simulaciones *Millenium* e *Illustris* desarrolladas a través de consorcios internacionales que coordinan el trabajo de super-computadoras en paralelo. En esos modelos, sin embargo, la formación de estrellas aún se implementa sobre la base de parametrizaciones razonables (que implican el manejo de coeficientes *ad-hoc*), quedando aún pendientes desarrollos futuros que se sustenten en principios mejor delineados en términos de la física involucrada. A escalas espaciales menores, los modelos que describen la formación de sistemas planetarios aún se encuentran desacoplados del escenario global, aunque es posible vislumbrar que un aumento de las capacidades de cálculo y la mejora de la resolución espacial y temporal los incluirá en un futuro relativamente cercano.

Una apreciación general de los logros mencionados indica que no existe una única área de frontera sino varias simultáneas y necesariamente convergentes, en la búsqueda de una descripción unificada de las características del Universo que habitamos y de los factores que regularán su evolución. A escala global, es posible advertir que para alcanzar sus objetivos, los proyectos de punta en el área de Astronomía se canalizan mediante colaboraciones internacionales, las cuales permiten reunir tanto los requerimientos de financiación como los recursos humanos necesarios. Esta apreciación resulta válida tanto para los proyectos instrumentales (ESO, ALMA, GEMINI, etc.) como para aquellos basados en enfoques teóricos que se apoyan en grandes capacidades de cálculo (VIRGO, *Illustris*, etc.). En el primero de esos terrenos, los llamados telescopios inteligentes (con diámetros entre 8 y 10 metros), surgidos a mediados de los 90 y que emplean principios combinados de óptica activa y adaptativa, han sentado las bases para proyectos de instrumentos con diámetros del orden de 30 a 40 metros, actualmente en ejecución.

## ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

El origen de la actividad astronómica en nuestro país se remonta a 1871, cuando el entonces Presidente Domingo Faustino Sarmiento inaugura el Observatorio Nacional en Córdoba. Doce años después se funda el Observatorio Astronómico de La Plata. Ambas instituciones se incorporarían, en pocos años, a las Universidades Nacionales de Córdoba y la Plata respectivamente, en las cuales se implementarían varios años después las carreras de grado y posgrado en Astronomía. A ellas se agregan, más recientemente, las correspondientes a la Universidad Nacional de San Juan.

En 1942, y a treinta años de la iniciativa original, se inaugura la Estación Astrofísica de Bosque Alegre, dependiente del Observatorio Astronómico de Córdoba, cuyo telescopio de 1.54 m de diámetro sería el más importante en la Argentina por más de cuarenta años, hasta la inauguración del Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO) ocurrida en 1986. Desde entonces, el telescopio de Bosque Alegre sigue siendo el segundo en importancia entre los telescopios argentinos en el rango óptico del espectro.

A principios de la década del 50 se inaugura el Observatorio Astronómico Félix Aguilar, dedicado mayormente a temas relacionados con la Astrometría y la Geodesia en el ámbito de la Universidad Nacional de San Juan.

Más tarde, el CONICET, en asociación con las universidades nacionales e instituciones que se detallan a continuación, inaugura el Instituto Argentino de Radioastronomía (1962; UNLP; UBA; Comisión de Investigaciones de la provincia de Buenos Aires), el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (1970; UBA), el Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (2006; UNC), el Instituto de Astrofísica de La Plata (1999; UNLP) y, más recientemente, el Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (2009; UNSJ). Además, como se mencionó anteriormente, en 1986 se inaugura el Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO) que, bajo la figura de institución de servicio, opera principalmente un telescopio de 2.15 m de diámetro a través de una asociación del CONICET con la UNLP, la UNC y la UNSJ.

Si bien la actividad más importante desarrollada en los primeros observatorios se vinculó con la Astrometría y la Geodesia, paulatinamente y a lo largo de los años se fue incorporando la investigación en el campo de la Astrofísica que, con una diversidad de perfiles, se desarrolla aún hoy en cada una de esas instituciones.

Durante la década de los años 60 del siglo pasado, una de las ramas de la Astronomía, la Radioastronomía, puede considerarse una disciplina

ciertamente joven ya que sus orígenes se remontan a mediados de la década de los años 30. Hacia fines de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) se llevaron a cabo los primeros estudios teóricos destinados a establecer la posibilidad de detectar, mediante el uso de antenas, la emisión que se originaría en el medio interestelar debido al átomo de hidrógeno. Esta tendría una frecuencia cercana a los 1.420 MHz, equivalente a una longitud de onda cercana a los 21 cm. La detección experimental de la línea de 21 cm del hidrógeno neutro (HI) tuvo lugar a principios de la década del 50. A fines de la misma, la mayor parte de los observatorios radio-astronómicos se encontraban ubicados en el hemisferio norte. Este hecho hizo que investigadores del Instituto Carnegie de los Estados Unidos plantearan la necesidad de contar con una facilidad de observación que les permitiera investigar aquella parte del Universo que les resultaba inaccesible desde el hemisferio boreal. Su inquietud encontró eco entre astrónomos, físicos e ingenieros argentinos quienes ya estaban dando los primeros pasos en esta nueva rama de la Astronomía. Mediante un acuerdo por el cual el Instituto Carnegie de Washington proveería los materiales y la experiencia para la construcción e instalación en la Argentina de dos radiotelescopios con reflectores parabólicos de 30 m de diámetro y receptores para la línea de 21 cm del HI, se creó el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) dentro del predio del Parque Pereyra Iraola, en la Provincia de Buenos Aires.

## **Institutos y centros de investigación**

A continuación se detallan los institutos de investigación de doble dependencia CONICET-Universidad y sus principales líneas temáticas:

### ***Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), Villa Elisa, Provincia de Buenos Aires***

Astrofísica de altas energías y objetos compactos; cúmulos de galaxias y núcleos galácticos activos; discos circumestelares; medio interestelar y estrellas tempranas; sistemas planetarios; modelos matemáticos y algoritmos para procesamiento de señales; transferencia de tecnología.

### ***Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), Ciudad Universitaria, Ciudad Autónoma de Buenos Aires***

Aeronomía; astrofísica de altas energías; astrofísica del medio interplanetario; astrofísica numérica; astronomía y cosmología en la cultura; ciencia planetaria; física estelar, exoplanetas y astrobiología; física solar; flujos astrofísicos; remanentes de supernovas y medio interestelar; formación estelar.

***Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE), Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba***

Formación de galaxias; galaxias; dinámica de sistemas planetarios; estrellas y sistemas estelares; astrofísica de plasmas; fotometría de galaxias; exoplanetas; estructura en gran escala; cúmulos de galaxias.

***Instituto de Astrofísica de La Plata (IALP), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata***

Agrupaciones estelares, medio interestelar y galaxias activas; astrofísica de cúmulos abiertos; caos en sistemas hamiltonianos; ciencias planetarias; cúmulos globulares y galaxias enanas; dinámica y evolución de sistemas estelares; estrellas masivas; estudios observacionales de blázares y galaxias peculiares; evolución estelar y sistemas binarios; evolución estelar y pulsaciones; formación y evolución de galaxias; modelos de estrellas peculiares.

***Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (ICATE), Universidad Nacional de San Juan***

Cosmoquímica; modelos de objetos compactos; galaxias; física estelar; física solar.

Además existen otros centros que tienen solo dependencia universitaria, como los siguientes:

***Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata***

Estudios sobre mecánica celeste; geo-referenciación satelitaria (conectada con el área de Ciencias de la Tierra); gravitación, astrofísica y cosmología; sistemas de referencia para astronomía y geofísica; troposfera, ionosfera, aeronomía y climatología espacial; burbujas interestelares; astrofísica relativista y radioastronomía.

***Observatorio Astronómico de Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba***

Astrometría, instrumentación y técnicas observacionales; sistemas planetarios; astrofísica estelar; medio interestelar y estructura galáctica; historia y enseñanza de la astronomía.

***Observatorio Félix Aguilar, Universidad Nacional de San Juan***

Astronomía de sistemas planetarios y parámetros de estructura galáctica; astronomía meridiana; astronomía extra-meridiana; astronomía solar.

En los institutos de doble dependencia se desempeña un total de 135 investigadores (79 % de ellos miembros de la CIC-CONICET) y 99 becarios, mayoritariamente de CONICET, de diversas categorías. Esos investigadores y becarios suelen por lo general formar parte de diferentes grupos de investigación, varios de los cuales se encuentran fuertemente consolidados. Típicamente, esos grupos incluyen tres a cuatro investigadores y del orden de dos a cuatro becarios de diferentes categorías. Estos grupos son identificables como receptores de subsidios PIP o PICT.

Existen también grupos que desarrollan actividades vinculadas con la Astronomía en los Departamentos de Física de la Universidad de Buenos Aires, en la Universidad Nacional de La Plata, en la Universidad Nacional de Córdoba, en la Universidad Nacional de Rosario y, más reducidos, en Mendoza y Tucumán. Si bien las denominaciones de algunos grupos sugieren algún grado de superposición temática, un análisis más detallado muestra características y enfoques diferenciados y propios. Cabe destacar que tales grupos tienen una dinámica que los lleva a cierto grado de evolución temporal en cuanto al número y perfil de sus miembros.

## **Infraestructura y financiación**

A continuación se detallan las principales características de los institutos de doble dependencia CONICET-Universidad, ordenándolos de acuerdo con sus fechas de inauguración.

### ***Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR)***

Los trabajos de construcción e instalación de la primera antena y del receptor comenzaron en el actual predio del IAR a fines del año 1963, con la participación de físicos e ingenieros, la mayoría de ellos graduados en la Universidad de Buenos Aires, y algunos operarios especializados en construcciones mecánicas. El IAR, con la firma del Acta Acuerdo para su creación del 30 de octubre de 1962, fue la segunda Unidad Ejecutora creada por el CONICET. Los trabajos fueron coordinados por el Ing. norteamericano Everett Ecklund y se completaron en marzo de 1966. Hasta ese momento, la actividad científica y técnica de los integrantes del actual IAR se desarrollaba en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Buenos Aires. Poco tiempo después de la inauguración de la primera antena del IAR, tuvo lugar la triste Noche de los Bastones Largos durante la cual fue herido en la cabeza el entonces Director del IAR, Dr. Carlos Varsavsky. Este hecho originó

la mudanza de todos los instrumentos y elementos que se encontraban en la mencionada Facultad, a los edificios construidos en el Parque Pereyra Iraola. Desde entonces se ha mantenido e incrementado la actividad científico-técnica en la actual ubicación del IAR. Otro hito de enorme importancia tuvo lugar en el año 1975, cuando se terminó de construir e instalar el segundo radiotelescopio de 30 m.

A lo largo de los casi cincuenta años de existencia, el IAR ha evolucionado enormemente, tanto desde el punto de vista tecnológico como científico. En el primero de los campos, se han formado recursos humanos especializados en aquellos campos de la electrónica y de la informática estrechamente vinculados a los desarrollos instrumentales de esta disciplina, lo que ha permitido fabricar nuevos receptores con mayor sensibilidad y mejor cobertura en frecuencia. Ambos aspectos han permitido ampliar las líneas de investigación originales. Se ha incrementado también el plantel de investigadores y becarios, lo que ha redundado en una producción científica reconocida tanto a nivel nacional como internacional.

A partir del año 2002, el IAR ha iniciado una importante actividad de Transferencia Tecnológica hacia otros campos del quehacer nacional, principalmente aquellos relacionados con el Plan Espacial Nacional. Como consecuencia de esas actividades, en el año 2013 el sector de Transferencia Tecnológica elaboró 158 Informes Técnicos que fueron remitidos y aprobados por las agencias y empresas que solicitaron los servicios. Durante los últimos años, miembros del IAR han participado en forma muy activa en proyectos instrumentales internacionales de envergadura, tales como los proyectos LLAMA (*Long Latin American Millimetre Array*) y CTA (*Cerenkov Telescope Array*).

El IAR se encuentra enclavado en el corazón del Parque Pereira Iraola, ocupando un predio de 6,35 hectáreas. La infraestructura edilicia de esta institución ocupa un área cercana a los 1.400 metros cuadrados. Actualmente su personal incluye un total de 67 miembros, de los cuales 15 pertenecen a la Carrera del Investigador Científico del CONICET, 13 son Becarios, 32 son miembros de la Carrera de Apoyo a la investigación (11 Profesionales y 21 Técnicos), 3 son administrativos y 4 suministran servicios generales.

Desde su creación, personal del IAR ha dirigido 39 Tesis Doctorales, 60 Tesis de Licenciatura, Seminarios y Trabajos Finales, y publicado un total de 1.641 trabajos científicos. La mayor parte desarrolla actividades docentes en Universidades Nacionales y en distintas delegaciones de la Universidad Tecnológica Nacional.

Investigadores del IAR trabajan o han trabajado en colaboración con colegas de instituciones nacionales e internacionales, tales como la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la UNLP, La Plata, Argentina; la Facultad

de Ciencias Exactas de la UNLP, La Plata, Argentina; el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina; la Universidad de Laval, Quebec, Canadá; la Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile; el Instituto Max Planck für Kernphysik, Heidelberg, Alemania; la Universidad de Jaén, España; la Universidad de Valparaíso, Chile; la Universidad de La Serena, Chile; la Universidad de Concepción, Chile; *Australia Telescope National Facility*, CSIRO, Australia; la Universitat de Barcelona, Barcelona, España; el *Dominion Radio Astrophysical Observatory* (DRAO), Penticton, Canadá; el *Laboratory of Advanced Brain Signal Processing, Bain Science Institute* (RIKEN), Wako Saitama, Japón; el *Dublin Institute for Advanced Studies*, Dublin, Irlanda; el *Institute of Information Science and Technologies "Alessandro Faedo"*, *Signals and Images Laboratory - Consiglio Nazionale delle Ricerche* (CNR), Pisa, Italia; la Universidad de Vic (UVic), Vic, Barcelona, España; el *Department of Astronomy, University of Illinois at Urbana-Champaign*, USA; el *Department of Astronomy, University of Maryland*, USA; el *Department of Astronomy, Yale University*, USA; el Instituto de Astronomía, UNAM Mexico DF, México; el Centro de Radioastronomía y Astrofísica (CRyA), UNAM, Morelia, México; la Universidad Autónoma de Barcelona, CSIC, España; el *National Radio Astronomy Observatory*, Charlottesville, USA; el *SRON Netherlands Institute for Space Research*, Groningen, Países Bajos; la Universidad Nacional del Comahue, Mendoza, Argentina; el *Tata Institute of Fundamental Research, National Centre for Radio Astrophysics*, Pune, India; el *Department of Astrophysics, Geophysics and Oceanography, University of Liège*, Bélgica; el Instituto de Matemática Interdisciplinar, S. D. Astronomía y Geodesia, Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid, España; el *Infrared Processing and Analysis Center, California Institute of Technology*, Pasadena, EEUU; la Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España; la Universidad de Roma II "Tor Vergata", Roma, Italia; la *Université de Paris VII "Denis Diderot"*, Francia; el CBPF, Rio de Janeiro, Brasil; y el ICRANet, Pescara, Italia.

### ***Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE)***

El Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE) fue creado por el Directorio del CONICET en su reunión del 29 de diciembre de 1969, y es históricamente el cuarto de los 192 Institutos y Centros creados por el CONICET. Nace de una re-estructuración del Centro Nacional de Radiación Cósmica (CNRC), fundado en 1964, cuyos antecedentes, a su vez, se remontan al Laboratorio de Radiación Cósmica de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en los años 50. En su fundación confluye el personal del CNRC, miembros de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA y un grupo de astrónomos de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional

de La Plata, entre los que se cuenta el impulsor y primer Director del Instituto, Dr. Jorge Sahade. En 1984 se inaugura su actual sede en Ciudad Universitaria, conocida como Pabellón IAFE. Nace como un instituto dedicado a las ramas modernas de la Astronomía y a la experimentación en el campo de la radiación cósmica, gama, X, e infrarroja. Las primeras investigaciones se orientan hacia la astrofísica observacional y la detección de emisiones fundamentalmente solares mediante detectores de estado sólido lanzados en globos estratosféricos, con desarrollo tecnológico propio. Este rol en el desarrollo incipiente de la ciencia espacial en el país, se reconoce luego tras la creación de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), ámbito que cuenta desde el inicio con un grupo importante de personal científico y técnico con alta especialización adquirida en el IAFE.

El instituto persigue una finalidad muy específica, identificada como vacante en el país: vincular la astronomía observacional y los grupos experimentales de la naciente ciencia espacial nacional, con grupos teóricos formados principalmente por físicos. En la actualidad el Instituto es un pujante centro de investigación de primer nivel, que cuenta con más de un centenar de integrantes entre investigadores (49), becarios (26), pasantes y estudiantes de grado (8) y personal de apoyo (17). Este personal aporta su trabajo diario para avanzar en los tres pilares fundamentales en los que se centran las investigaciones: Astrofísica Observacional, Astrofísica Teórica y Física Fundamental, y Ciencia Espacial. Además, siendo el único instituto profesional de investigación astronómica en el área metropolitana, cumple un importante rol en comunicación pública y divulgación de la Astronomía, ciencia que por su contenido mismo cautiva la atención masiva del público.

Las líneas de investigación que se desarrollan abordan el estudio del Universo con diferentes técnicas y a diferentes escalas: nuestro planeta observado desde el espacio; la formación de las galaxias en el Universo primigenio, incluyendo el estudio de la mesosfera en el entorno terrestre, el Sol; cuerpos del Sistema Solar, nacimiento, evolución y muerte de estrellas; gas interestelar y galaxias distantes, investigaciones desde el punto de vista observacional y teórico. Por otra parte, las investigaciones de Física Fundamental, tanto en el campo de la Relatividad y Gravitación como de la Dinámica Cuántica de la materia, proveen herramientas para los estudios astrofísicos, produciéndose un rico intercambio entre los diferentes abordajes. Estas líneas de trabajo se complementan con investigación educativa en Astronomía y Cosmología en la cultura.

El IAFE cuenta con un edificio propio de casi 1.800 metros cuadrados construido por el CONICET en terrenos de la Universidad de Buenos Aires, en la Ciudad Universitaria del barrio de Núñez. En la actualidad, luego de un par de expansiones, cuenta con 59 oficinas, laboratorios, taller mecánico, biblioteca, y dos aulas. La fuente principal de financiamiento es el CONICET,



institución que, a título de ejemplo, aportó para el año 2014 un monto total de \$680.000 para cubrir todos los gastos de funcionamiento, con excepción de los relacionados con internet, agua y electricidad que fueron provistos por la UBA. El financiamiento se completó en mucho menor escala (menos de un 5%) con fondos generados a través de la prestación de Servicios Tecnológicos de Alto Nivel (STAN) a organismos y empresas públicas y privadas.

Como equipamiento propio, el IAFE cuenta con un *cluster* de computadoras adherido al Sistema Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (SNCAD) y con un telescopio de 40 cm instalado en el CASLEO, Provincia de San Juan, y operado remotamente desde Buenos Aires. Un subsidio de la ANPCyT obtenido recientemente permitirá quintuplicar la cantidad de núcleos del *cluster* de cómputo y adquirir un nuevo telescopio. Se mejorará también el equipamiento necesario para las investigaciones satelitales de variables terrestres.

Mantiene varios acuerdos de cooperación científica tanto con instituciones nacionales como internacionales, con diversos convenios vigentes: en el ámbito nacional, con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), el Instituto Antártico y la Universidad de San Juan, y entre los internacionales, con la NASA, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) España, la *Université de la Sorbonne* (Francia) y el Ministerio de Ciencias de Austria y de la Unión Europea (LACEGAL, *Latin-America Chinese European Galaxy Formation Network*).

Actualmente los investigadores del IAFE son titulares de 48 proyectos financiados por CONICET, la ANPCyT y varias universidades nacionales en diversas categorías (jóvenes, grupos en formación, grupos consolidados, Raíces, etc.). En el último año ingresaron \$1.057.000 a través de dichos proyectos. El Instituto cuenta con 49 investigadores permanentes miembros de la Carrera del Investigador del CONICET, de los cuales 30 son investigadores activos en el campo de la Astronomía y Astrofísica, en tanto que los restantes investigan en Ciencias Espaciales y Física Fundamental, áreas que tienen conexión, aunque no exclusivamente, con la Astronomía. Actualmente, hay 26 becarios que se encuentran desarrollando sus tesis doctorales, 16 de ellos en temas de Astronomía.

En el período 2009-2014 se graduaron 30 doctores, mientras que 39 estudiantes completaron sus tesis de licenciatura a partir de investigaciones en el IAFE. Esto corresponde a un promedio de 5 Tesis Doctorales y 8 de Licenciatura por año. Los estudiantes de doctorado provienen en general de distintas Universidades del país (Buenos Aires, La Plata, Bahía Blanca, Rosario, Córdoba, San Juan, San Martín, Salta y Mar del Plata).

Desde su fundación en 1970 hasta el año 2013, se completaron en el IAFE 87 tesis doctorales y 164 tesis de licenciatura. Entre 2009 y 2014, los 28 investigadores que trabajan exclusivamente en temas de Astronomía y

Astrofísica publicaron un total de 470 artículos en revistas internacionales arbitradas de alto impacto y en Memorias de Congresos Internacionales con arbitraje (base *ISI Web of Science*). Esto equivale a una producción promedio de 3,35 publicaciones por investigador y por año. De estos 28 investigadores, 16 son docentes de grado y postgrado en la FCEN (UBA), la FCAGLP (UNLP), la Facultad de Ingeniería (UBA), la Facultad de Arquitectura (UBA), la Universidad de La Matanza, la Universidad de San Martín y el Colegio Nacional de Buenos Aires.

### ***Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE), Córdoba***

El IATE es una Unidad Ejecutora (UE) de doble dependencia (CONICET-UNC) que reconoce el Dr. José Luis Sérsic como su verdadero mentor. El edificio de esta institución está ubicado en el predio del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), institución con la que mantiene una estrecha relación. A partir del 2006, el grupo se organizó como UE y el Dr. Diego García Lambas fue su Director interino hasta la substanciación del correspondiente concurso en 2009, por el cual continuó en el puesto. Desde el 2012, debido a que el Dr. García Lambas se hizo cargo de la dirección de Observatorio Astronómico de Córdoba (OAC), la dirección del IATE está a cargo de la Dra. Andrea Costa.

Entre el 2008 y el 2014, el número de integrantes del Instituto pasó de 24 a 64, esto es, de 12 investigadores a 24 en la actualidad, de 10 becarios a 31 en 2014; el Personal de Apoyo Técnico (CPA) pasó de 1 miembro a 7 en la actualidad y el personal contratado que realiza tareas administrativas que sólo contaba con una persona ha incorporado recientemente a un Ingeniero. Por lo general, los becarios que realizan su doctorado en la institución, luego de un período posdoctoral, tienden a ingresar a la Carrera del Investigador de CONICET, eligiendo continuar desarrollando sus investigaciones en el IATE.

Las áreas de investigación en esta UE son, en líneas generales, las siguientes: Astronomía Extragaláctica, Estructura en Gran Escala, Plasmas Astrofísicos, Sistemas Planetarios y Astronomía Instrumental.

La actividad principal es la investigación, con un promedio de 1,6 publicaciones por investigador y por año. Entre 2009 y 2013, contando que en 2013 el número total de investigadores era de 23 al que se le sumaron 24 becarios, en el IATE se completaron 19 Tesis Doctorales, 3 Tesis de Maestría y 25 Trabajos Finales de grado. Se publicaron, además, un centenar de artículos en revistas de primer nivel en Astronomía y se presentaron un centenar de trabajos en congresos nacionales e internacionales. Las temáticas de las publicaciones se distribuyen en forma bastante uniforme entre las distintas áreas, concentrándose principalmente en las revistas de primer nivel: *Monthly*

*Notices of the Royal Astronomical Society, Astrophysical Journal y Astronomy and Astrophysics.*

La cooperación con investigadores nacionales y extranjeros constituye una actividad permanente, lo que resulta plasmado en publicaciones en colaboración y en pedidos de financiamiento que se renuevan con frecuencia. A manera de importantes ejemplos pueden mencionarse el programa interinstitucional con la Unión Europea (Programa Alfa de formación e intercambio de recursos humanos en Astronomía) y la financiación para la búsqueda y la caracterización de sitios astronómicos. Esta última actividad, llevada a cabo durante varios años para inducir la instalación en territorio nacional de grandes telescopios (ESO y E-ELT), derivó en un programa para construir e instalar una facilidad de observación robótica en el Cerro Macón (Provincia de Salta). Este programa es financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MINCyT), la *National Science Foundation* (NSF), el *California Institute of Technology* (Caltech), la Universidad de Texas y el *Keldysh Institute of Applied Mathematics* (KIAM) de Rusia.

Los gastos de funcionamiento en el IATE están cubiertos por diferentes subsidios obtenidos competitivamente por los investigadores en solicitudes al CONICET, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), el MinCyT y la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SECyT) de la UNC. A manera de ejemplo, de acuerdo con la Memoria institucional del año 2012, excluyendo los salarios del personal y las inversiones, el presupuesto fue de \$435.834, es decir, unos \$20.000 por investigador. La infraestructura edilicia del IATE consta de unos 500 metros cuadrados dedicados casi por entero a oficinas. Existe un plan de mejoramiento edilicio en marcha tendiente a cubrir las naturales necesidades de crecimiento. Este plan consiste en la incorporación de una nueva planta de 100 metros cuadrados que albergará nuevas oficinas y permitirá reorganizar la planta baja, con la posibilidad de dedicar parte del espacio a la instalación de un laboratorio de electrónica, óptica y desarrollo instrumental.

La capacidad de cómputo se ha visto potenciada por la reciente instalación del Centro de Computación de Alto Desempeño (CCAD) de un *cluster* compartido con el Instituto de Física Enrique Gaviola (IFEG), formando parte, además, del Sistema Nacional de Computación de Alto Desempeño (SNCAD).

### ***Instituto de Astrofísica de La Plata (IALP)***

Los orígenes del Instituto de Astrofísica de La Plata (IALP) se remontan a 1982 cuando, a solicitud de los Dres. A. Feinstein y J.C. Muzzio y del Ing. P.J. Sierra (entonces Director del Observatorio Astronómico de la UNLP), el CONICET creó el Programa de Fotometría y Estructura Galáctica (PROFOEG). En 1996 el CONICET creó el Programa de Estrellas Binarias Interactuantes, Estrellas Be y

Radiación Gama de muy Altas Energías (PROBIBEGA) bajo la dirección del Dr. J. Sahade y, finalmente, en 1999 creó al IALP mediante la fusión del PROFOEG y el PROBIBEGA.

El IALP funciona en el ámbito de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad de La Plata (FCAGLP) y la mayor parte de su personal utiliza oficinas de dicha Facultad. Desde 2012, cuenta con un edificio propio donde trabajan las restantes 28 personas. Con 43 investigadores, 25 becarios y 7 técnicos, es el instituto que alberga la mayor cantidad de astrónomos del país. La mayoría de los investigadores y becarios tienen cargos en la FCAGLP, por lo que existe un fuerte compromiso con la enseñanza de la Astronomía a nivel universitario. Es frecuente también la participación de miembros del IALP en actividades de difusión de la Astronomía, en buena medida a través de la organización con que la Facultad cuenta para ello.

Los gastos del IALP son afrontados por la UNLP y el CONICET, aunque, además, los investigadores cuentan con subsidios de la UNLP, del CONICET, de la ANPCyT y de entidades extranjeras. La UNLP cubre los servicios de agua, electricidad y gas, como así también los de teléfono, limpieza y seguridad en el ámbito de la Facultad, en tanto que el CONICET costea el teléfono, la limpieza y la seguridad de su edificio. Además, cuenta con numerosos servicios de la Facultad, tales como biblioteca, internet, talleres (mecánico, electrónica y óptica), etc. Los ingresos del IALP en 2013, sumados los fondos de funcionamiento aportados por el CONICET, los subsidios de los investigadores y otros aportes, totalizaron \$742.640. A este monto debe agregarse que algunos investigadores del IALP participan en proyectos radicados en el exterior apoyados por subsidios que alcanzan en algunos casos millones de dólares.

El IALP no cuenta con instrumental de envergadura, sí en cambio con abundante equipo de computación e, incluso, varios *clusters* de procesadores. Las observaciones se realizan principalmente en el CASLEO, con los telescopios Gemini, y en observatorios del extranjero. Sin embargo, aún hoy se continúa utilizando el telescopio de 80 cm de la UNLP, probablemente el instrumento científico más antiguo del país con el que aún se realizan investigaciones que dan lugar a publicaciones internacionales.

En 2013 el personal del IALP publicó 46 artículos en revistas internacionales con arbitraje, 16 en Memorias de Congresos y una parte de libro, además de presentar 44 trabajos (aún no publicados) en diferentes reuniones científicas. En ese mismo año se aprobaron 5 Tesis de Licenciatura y una Tesis Doctoral, todas ellas realizadas y/o dirigidas por personal del IALP. Corresponde mencionar también un total de 16 Tesis de Licenciatura y 26 de Doctorado en curso al 31 de diciembre de 2013 (algunas de ellas ya aprobadas en 2014). Cabe destacar que, en la reciente evaluación del CCT CONICET de La Plata realizada por el MINCyT, de las 23 Unidades Ejecutoras del área, el IALP resultó ser la que más trabajos

publicó per cápita y por año (4,83) y la que más citas de trabajos registró por año (28,63) en el trienio 2008-2010, período analizado para la evaluación.

### ***Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (ICATE), San Juan***

El Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (ICATE) fue creado el 15 de mayo de 2009 y, por lo tanto, es el más joven de los institutos de dependencia compartida dedicado mayormente a la ciencia astronómica, ya que también se encuentran en él representadas las investigaciones en ionosfera y en cosmoquímica que representan un área multidisciplinaria.

El personal científico inicial resultó de la transferencia de los investigadores con lugar de trabajo en el Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO) a la nueva unidad ejecutora. Actualmente, el ICATE cuenta con 8 investigadores y 4 postulantes cuya admisión debe decidirse antes de que finalice el año fiscal 2014. Trabajan además 10 becarios y 2 pasantes. Entre los 10 becarios se cuentan 4 candidatos que esperan su ingreso a la Carrera de Investigación Científica del CONICET; dos nuevos postulantes a becas doctorales fueron presentados con lugar de trabajo en el ICATE para comenzar sus tareas en abril del 2015.

Desde el año 2009, fecha de su inauguración, los investigadores del ICATE han publicado 155 trabajos con arbitraje y 279 trabajos sin arbitraje. Estos últimos incluyen las comunicaciones a la Unión Astronómica Internacional de nuevos descubrimientos astronómicos. En promedio, esto representa alrededor de 3 trabajos por investigador y por año en revistas arbitradas y unos 8 trabajos por investigador y por año por todo concepto.

La Física Estelar constituye la temática con la mayor producción seguida por la Cosmoquímica y la Astronomía Extragaláctica. Esta última se centra básicamente en el estudio de los denominados núcleos de galaxias activas (AGN) oscurecidos. Los AGN poseen un toroide de gas y polvo muy denso que rodea al núcleo. En algunos casos, este toroide puede estar alineado perpendicularmente con la línea de visión de tal forma que bloquea completamente la radiación óptica proveniente del núcleo. Eso se conoce como AGN oscurecido o tipo II, a diferencia de los AGN no oscurecidos o tipo I, en los que se observa evidencia del núcleo desnudo.

Para encontrar AGN oscurecidos, es necesario observar en longitudes onda menos sensibles a la extinción por el polvo, tales como las correspondientes a los rayos X y al infrarrojo. Con los grandes relevamientos espectroscópicos y fotométricos disponibles actualmente (por ejemplo, SDSS, WISE, FIRST, etc.), es posible ensamblar grandes catálogos en multifrecuencias, esenciales para estudios estadísticos de dichas poblaciones de AGN. Por estos motivos, existe una fuerte interacción con grupos del exterior responsables de estos

relevamientos. Otro de los temas abarcados por esta actividad en el ICATE es el de las Radio-Galaxias. Su estudio es particularmente importante debido al *feedback* de energía que pueden proveer al entorno circundante.

En el ICATE se desarrollan también investigaciones en el área de Astrofísica Estelar, desde la formación de las estrellas hasta los procesos mediante los cuales ellas desaparecen. Estos estudios incluyen investigaciones sobre sistemas binarios, sistemas múltiples, cúmulos abiertos y globulares. Particularmente relevantes son los estudios sobre rotación axial estelar, estrellas con anomalías en sus abundancias químicas y sistemas planetarios extrasolares. En esta área se elaboran modelos de atmósferas de estrellas enanas blancas, con los objetivos de determinar las condiciones de frontera para la integración de las ecuaciones de la estructura interna estelar, y evaluar espectros sintéticos e índices de colores fotométricos que ayuden a la interpretación de datos observacionales. En esta última línea de trabajo, miembros del ICATE colaboran fuertemente con el Grupo de Evolución Estelar y Pulsaciones de la Universidad Nacional de La Plata. Existe además una importante colaboración con el grupo de Física Estadística de la Universidad de Extremadura, España, y con el grupo de Física Teórica del Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Morelos, México, particularmente en lo que se refiere a estudios mecánico-estadísticos de fluidos.

En el área de Física Solar se realizan investigaciones sobre fulguraciones solares en el rango sub-milimétrico, ocurrencia de pulsos sub-milimétricos asociados a eyecciones coronales de masa y actividad solar en el infrarrojo (regiones activas). La Cosmoquímica, por su parte, constituye una ciencia relativamente nueva que se encuentra en permanente evolución. Puede definirse como la ciencia que mide las propiedades de la evolución química del Sistema Solar mediante el estudio de meteoritos. En éstos y otros objetos extra-terrestres, como por ejemplo los micrometeoritos, existen características atribuibles a las condiciones iniciales de formación del Sistema Solar ocurridas hace aproximadamente 4.500 millones de años.

Otra actividad del ICATE es la instrumentación. Actualmente esta unidad ejecutora se encuentra trabajando en la puesta en marcha de un telescopio de 50 cm de diámetro para trabajo remoto y de un espectrógrafo de alta resolución en el óptico que fuera donado a la Argentina por el Observatorio Gemini. Además, el ICATE trabaja en la caracterización de sitios astronómicos en colaboración con personal del OAC.

La infraestructura edilicia del ICATE está conformada por dos edificios cedidos en préstamo sin cargo por la Asociación Cooperadora para la Investigación, la Industria y la Minería de San Juan. La superficie total cubierta de estos dos edificios es de 1.000 metros cuadrados aproximadamente e incluye un laboratorio para análisis de composición química de meteoritos y un

laboratorio para integración de espectrógrafos ópticos.

El financiamiento del ICATE surge fundamentalmente de los presupuestos operativos del CONICET y de los subsidios de diferentes fuentes que obtienen los investigadores para sus respectivas investigaciones. Se dispone además de fondos generados por la actividad desarrollada a través de los servicios tecnológicos de alto nivel que en general superan a los fondos nominales de los presupuestos operativos anuales. Los montos recibidos en el lapso 2009-2013 por parte de CONICET suman un total de \$717.598 para funcionamiento, y \$1.378.472 en forma de subsidios de la ANPCyT, CONICET o la UNSJ.

### ***Observatorio Astronómico Félix Aguilar***

El Observatorio Astronómico Félix Aguilar (Oafa) fue inaugurado el 28 de septiembre de 1953. Para su desarrollo se contrató a tres reconocidos astrónomos que oportunamente habían estado relacionados con el Observatorio Astronómico de La Plata: los Dres. Carlos Ulrrico Cesco, Juan José Nissen y Bernard Dawson. Estos tres profesionales llegaron a San Juan en el año 1948.

A su llegada, el Dr. Cesco instaló instrumental existente que había pertenecido a un aficionado a la Astronomía de la Provincia de Mendoza. Ese instrumental aún hoy perdura y es utilizado principalmente para fines didácticos y de divulgación. Con el tiempo, y gracias a la colaboración del Sr. Gerónimo Zapata, Presidente del Consejo de Reconstrucción de San Juan y del gobierno de la Provincia, el Dr. Cesco consiguió la donación de un terreno de 5 hectáreas, lugar que actualmente ocupa.

Al instrumental original se sumó en 1965, gracias a un convenio, el círculo meridiano que el Observatorio Astronómico de Córdoba tenía en desuso. Este instrumento le permitió al Oafa ingresar al mundo de la Astronomía de Posición mediante la confección de catálogos que rápidamente alcanzaron reconocimiento internacional. Años después, en 1995 a través de un convenio firmado con el Real Instituto y Observatorio de la Armada de España, llegó un círculo meridiano automático, que de alguna manera colocó al Oafa en un nuevo plano de la Astrometría.

El año 1965 marca el comienzo, también mediante un convenio, de una relación que aún continúa entre el Oafa y la Universidad de Yale (Estados Unidos). En virtud de este acuerdo, el programa Yale - San Juan, que observacionalmente se desarrolla en la Estación Astronómica Dr. Carlos Cesco, tuvo y tiene a su cargo la determinación de movimientos propios de estrellas australes.

Otro convenio de gran importancia para el Oafa ha sido el firmado con la Academia de Ciencias de China en 1992. Este acuerdo incluyó la puesta en funcionamiento en San Juan de un Astrolabio Fotoeléctrico (actualmente fuera de servicio) y, a partir de 2005, de un Telescopio Láser Satelital. Este último

instrumento ha colocado al Oafa como un punto de referencia fundamental de la Geodesia Satelital.

Un convenio firmado con el Instituto Max Planck y el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE) facilitó, en 1995, la llegada de dos telescopios para la observación del Sol. Esto permitió al Oafa ingresar en un nuevo campo de investigación dentro del cual la incorporación (temporaria) de docentes del área ha determinado la concreción de aportes de importancia.

Para la comunidad astronómica nacional e internacional, el Oafa fue siempre considerado una institución totalmente dedicada a la Astronomía de Posición. Sin embargo, en los últimos años se ha incorporado personal, y por lo tanto líneas de investigación, que abren nuevas posibilidades y perspectivas a los Licenciados en Astronomía graduados en la Universidad Nacional de San Juan para realizar sus doctorados.

### ***Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO), Calingasta, San Juan***

La Universidad Nacional de La Plata adquirió un telescopio reflector de 2,15 m de diámetro que fue recibido en 1970. Este instrumento fue ubicado en el Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO), cuya inauguración ocurrió en 1986. Este importante logro fue alcanzado gracias a la asociación de la entonces Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación y las Universidades de La Plata, Córdoba y San Juan. El telescopio de 2,15 m, bautizado años después con el nombre Jorge Sahade, se encuentra instalado a 2.500 m sobre el nivel del mar en el cerro El Leoncito (localidad de Calingasta, San Juan) y en su operación hoy día interviene el CONICET.

El CASLEO se inscribe dentro de las así llamadas unidades de servicio y su principal objetivo es la operación del mencionado telescopio y otros instrumentos más pequeños, en el marco de las propuestas de observación generadas por diversos grupos de investigación de nuestro país. Esas propuestas son evaluadas por un Comité Científico que incluye representantes de todas las instituciones que participan del convenio.

## **Producción científica argentina**

La mayor parte de la producción en investigación se canaliza a través de publicaciones científicas con referato. Una búsqueda correspondiente a los últimos veinte años permite identificar 24 publicaciones astronómicas de las cuales 16 figuran en las estadísticas de RICyT. Los trabajos contabilizados en



esas estadísticas (1234 en diez años) representan un 82% de los que resultan de otra búsqueda independiente realizada sobre la base de datos del ADS (Astrophysics Data System, Harvard-NASA).

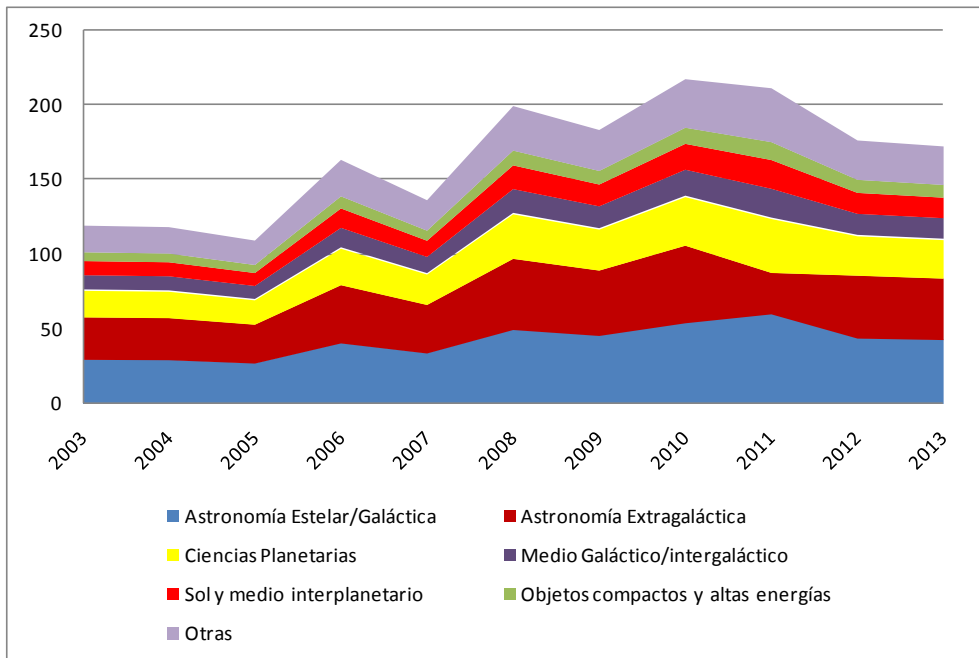
Independientemente de las bases utilizadas, se advierte que el 34% de los trabajos publicados aparecen en *Astronomy and Astrophysics* (Comunidad Europea), el 26% en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (Reino Unido) y, en tercer lugar, el 11% en *The Astrophysical Journal* (Estados Unidos). Estas son las tres revistas con mayor impacto en el área. Los porcentajes reflejan el hecho de que la publicación en *The Astrophysical Journal* requiere altos cargos por página. El 29% de la producción en investigación se reparte en diferentes revistas tales como *The Astronomical Journal*, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, *New Astronomy*, *Celestial Mechanics* y otras. La producción científica también ha sido evaluada empleando la base SCImago a los efectos de mantener un marco de referencia homogéneo con las otras disciplinas incluídas en este documento.

Históricamente, la Astronomía argentina se ha caracterizado porque un importante porcentaje de los trabajos publicados por sus investigadores han visto la luz en colaboración con investigadores del extranjero. Esta puede considerarse una característica distintiva del área a nivel internacional. De acuerdo con la base SCImago, para el año 2013, la producción bruta argentina (sin normalización de ninguna clase) en revistas internacionales con referato ubica nuestro país en el lugar número 31 sobre un total de 254 países que desarrollan actividad en el área de Astronomía-Astrofísica. Entre los países que anteceden al nuestro figuran 16 países de Europa, 8 de Asia, 3 de Sudamérica, 2 de Norteamérica y sólo 1 de África. Algunos de esos países fueron tomados como puntos de referencia en el siguiente análisis.

En todas las estadísticas, Estados Unidos se destaca como líder en producción bruta. En particular para el año 2013, la producción Argentina se sitúa en el 3 % de la de aquel país.

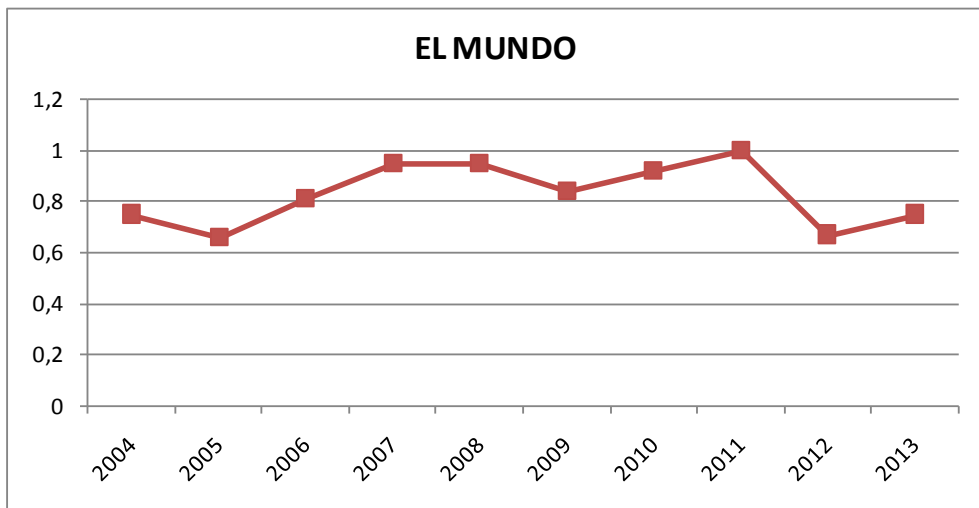
El gráfico 2.1 ilustra, de acuerdo a datos recogidos de la base SCImago, la evolución entre los años 2003 y 2013 del número de artículos publicados por investigadores con residencia en nuestro país, en revistas indexadas con referato y citables, por especialidad.

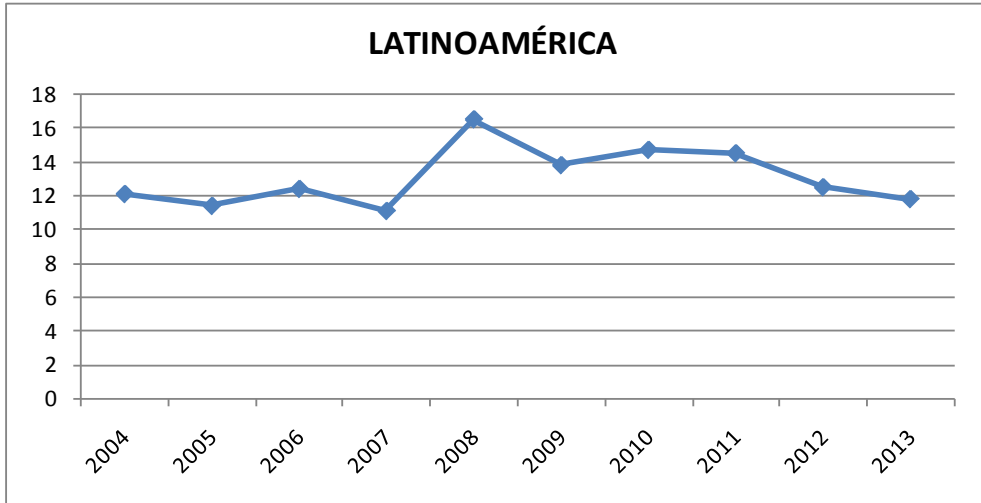
La tendencia creciente, con excepción quizás en los dos últimos años, es consistente tanto con el aumento de la población de investigadores como también con el incremento de la financiación detectable en los últimos años. La estadística suministrada por CONICET, en términos de PIPs, revela que en la gran área de Ciencias Exactas y Naturales la inversión en Astronomía representa el 4 % del total.



**Gráfico 2.1.** Cantidad total de artículos con autores argentinos en revistas indexadas, en diversas especialidades, para el lapso 2003-2013. *Fuente:* SCImago

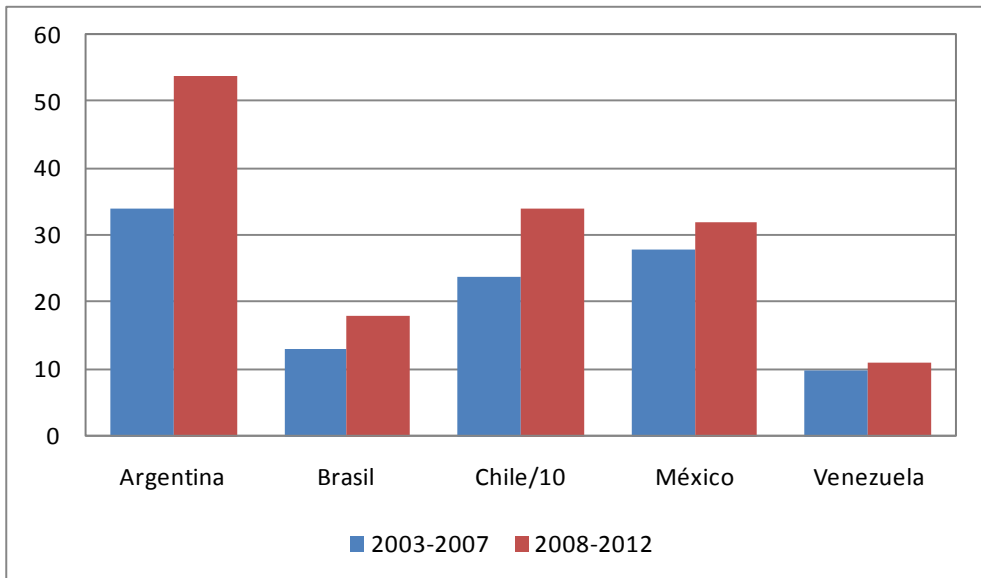
Los gráficos 2.2 ilustran la producción argentina en porcentaje entre los años 2004 y 2013, con relación a la correspondiente al mundo y a la producción latinoamericana en Astronomía.





**Gráficos 2.2.** Porcentaje de artículos con autores argentinos con respecto al total mundial y latinoamericano en el período 2004-2013. *Fuente:* SCImago.

La producción argentina se compara con la de 4 países latinoamericanos representativos de la región (Brasil, Chile, México y Venezuela) en el gráfico 2.3.

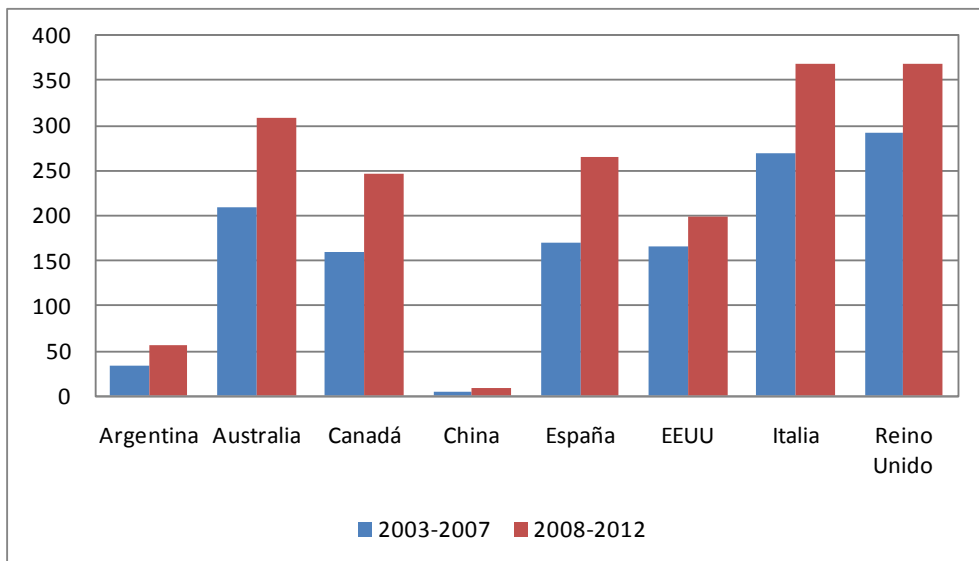


**Gráfico 2.3.** Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuente:* SCImago.

Los datos consignados se han obtenido normalizando el número de trabajos publicados en función de la población económicamente activa (en unidades de millón de habitantes activos) en el período 2003-2007 y 2008-2012. En el gráfico 2.3, el número normalizado correspondiente a Chile ha sido dividido por diez a los efectos de no distorsionar la escala. En efecto, si bien la Astronomía en Chile ha venido creciendo en forma progresiva tanto en volumen como en calidad, la estadística resulta claramente afectada por el asentamiento en ese país de grandes consorcios internacionales que operan instrumentos de avanzada y que figuran con filiación chilena en las publicaciones científicas. Hecha esta aclaración, se aprecia que Argentina exhibe el más alto número de trabajos publicados (normalizados) en la región. Nótese, sin embargo, que la normalización realizada puede introducir sesgos en países con elevado número de habitantes, China por ejemplo, como se verá más adelante.

En el gráfico, para el período 2008-2012, se exhibe la misma característica antes descripta, aunque ahora de manera más pronunciada. En principio, el liderazgo argentino en este período parece reflejar el hecho de que la productividad normalizada se ha incrementado en el segundo lustro, como resultado de la mayor inversión relativa realizada en nuestro país en ese lapso.

Si en lugar de comparar la producción argentina con la de algunos países representativos de Latinoamérica, se efectúa esta comparación de una manera similar pero con otros siete países referentes de la Astronomía a nivel mundial, los resultados pueden apreciarse en el gráfico 2.4.

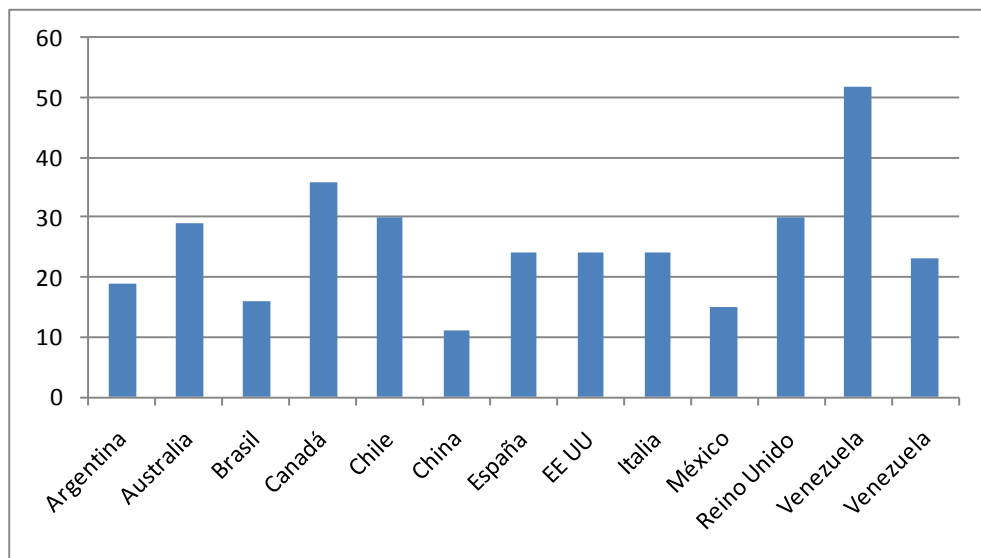


**Gráfico 2.4.** Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuente:* SCImago.

Del gráfico se induce que, en comparación con países que poseen una población económica similar (Australia, Canadá), la productividad argentina es ciertamente menor. Si bien la causa que explicaría esta diferencia puede muy probablemente estar relacionada con la inversión que realizan esos dos países en Ciencia y Tecnología, lamentablemente no se dispone de datos confiables al respecto. China es actualmente uno de los países más activos en el área de Astronomía. Sin embargo, tal como se anticipara, la normalización por número de habitantes activos produce una clara distorsión. Italia y el Reino Unido, por su parte, aparecen como los países más productivos de acuerdo al parámetro adoptado para la normalización.

A manera de ejemplo, nótese que en el año 2010 Australia dedicó 2,39% de su PBI a Ciencia y Tecnología, Canadá 1,86%, Brasil 1,16% y Argentina sólo 0,62%, habiendo sido este último valor uno de los mejores de la historia en Argentina pues se venía del 0,46% en 2005 y del 0,41% en 1998.

El gráfico 2.5 demuestra que los trabajos originados en nuestro país reciben un número de citas próximo a la media general. Ese número está por encima del promedio correspondiente a Latinoamérica, con excepción de Venezuela. Para ese país se muestran en el diagrama dos barras diferentes. La segunda excluye el año 2004, durante el cual un excelente grupo de astrónomos venezolanos produjo un trabajo de alto impacto a nivel internacional. Este ejemplo demuestra cuán sensible puede ser la estadística cuando se considera un número relativamente pequeño de grupos de investigación.

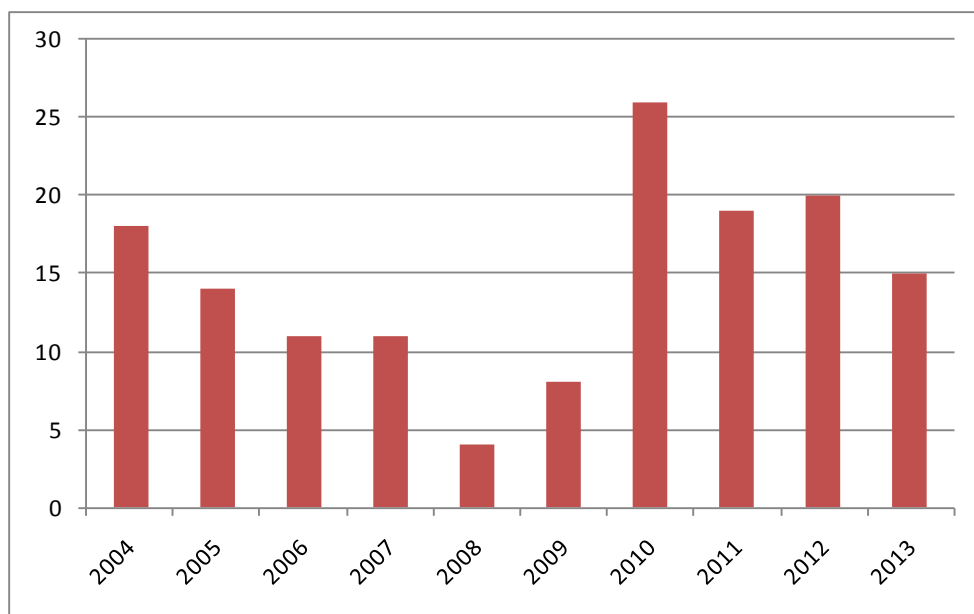


**Gráfico 2.5.** Número de citas promedio por artículo anual de cada país incluido en la comparación. Período analizado: 2004-2008. Fuente: SCImago.

En el gráfico nuevamente Canadá supera a los países latinoamericanos con el mayor valor en términos de artículos citados. Alternativamente, se aprecia que China, cuya producción en el área viene creciendo notablemente, produjo trabajos cuyo impacto, en líneas generales, resultó ser el más bajo en el período considerado. Cabe mencionar, sin embargo, que esta situación se revertiría si el análisis incluyera el período 2008-2012.

## FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

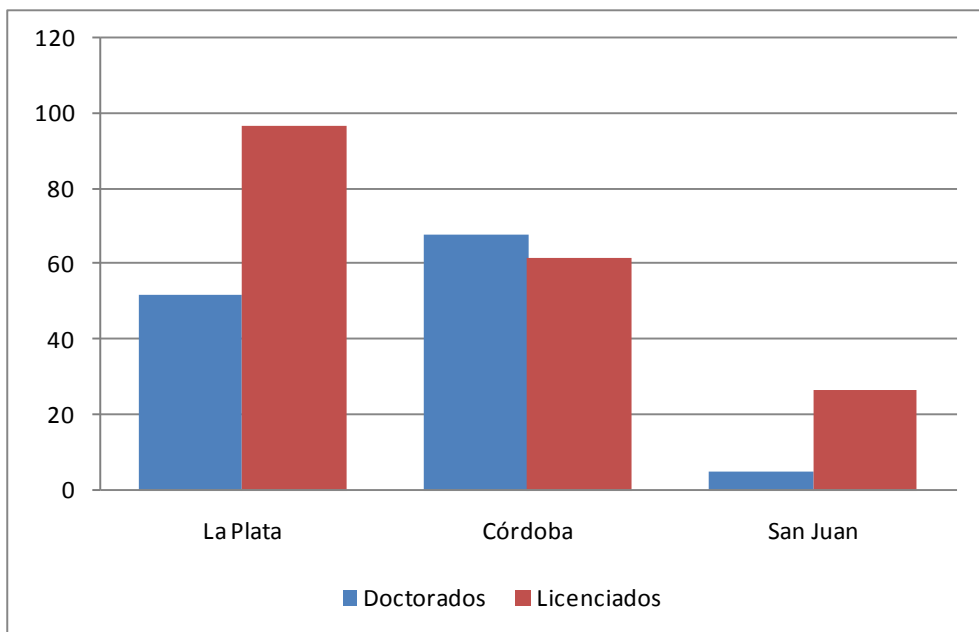
Este análisis se restringe a la formación de grado en las carreras específicas de Astronomía, aunque en el área de Astronomía-Astrofísica se advierte también un porcentaje importante de graduados en otras disciplinas, Física por ejemplo, que luego se doctoran en temas de Astronomía y/o Astrofísica. Tradicionalmente, y desde el año 1935, cuando se abre la Escuela Superior de Astronomía y Ciencias Conexas, la Universidad de La Plata ha sido la mayor fuente de graduados en Astronomía en el país. Más tarde, en 1957, se incorpora la carrera de Astronomía en el prestigioso Instituto de Matemática, Astronomía y Física (IMAF), actualmente Facultad de Matemática, Astronomía y Física (FaMAF) de la UNC. En los últimos cinco años se ha implementado también la carrera de Astronomía en la Universidad Nacional de San Juan.



**Gráfico 2.6.** Número de Licenciados en Astronomía. *Fuente:* Universidades Nacionales de Córdoba, La Plata y San Juan.

En el gráfico 2.6 puede verse el número total de graduados anualmente como Licenciados en Astronomía en el período comprendido entre 2004 y 2013. Dado que Astronomía es una carrera con un número relativamente bajo de inscriptos a nivel nacional, es posible advertir fluctuaciones de tipo estadístico.

Si bien se aprecia una disminución en el número de Licenciados egresados entre los años 2004 y 2008, parecería razonable adoptar como número indicativo correspondiente a la última década el promedio de 15 graduados por año. De acuerdo con este diagrama, este número muestra una tendencia en alza en los últimos cinco años del período considerado.



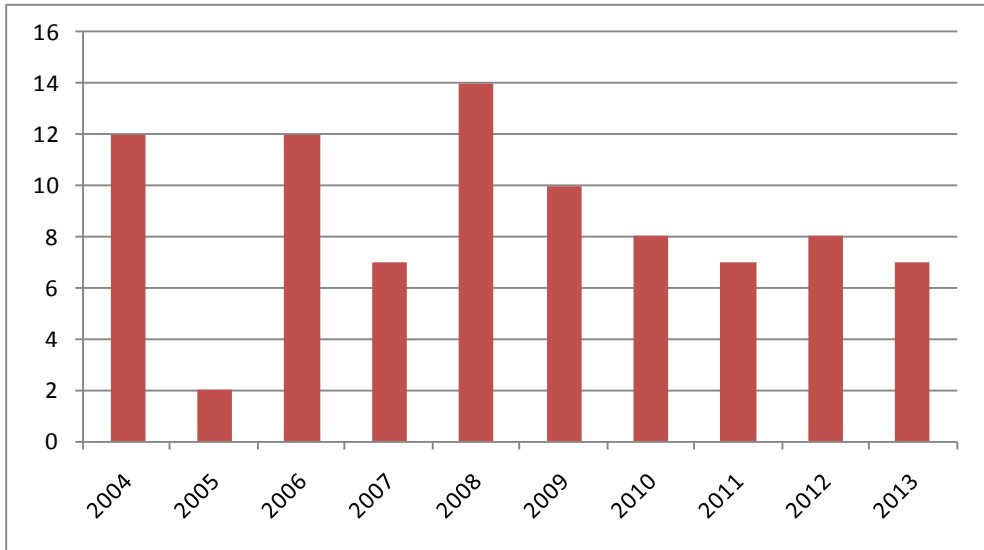
**Gráfico 2.7.** Número de doctorados y licenciados en Astronomía por institución en el período 2004-2013 inclusive. *Fuente:* Universidades Nacionales de Córdoba, La Plata y San Juan.

El gráfico 2.7 presenta el número total de licenciados y doctorados en Astronomía graduados en las Universidades de La Plata, Córdoba y San Juan en un período de 10 años. Estos valores, al igual que los incluidos en el diagrama anterior, provienen de la información suministrada por las respectivas autoridades académicas. Del diagrama 2.7 se desprende que la Universidad de La Plata ha producido un mayor número de licenciados que la Universidad de Córdoba, aunque esta situación se revierte si la estadística incluye sólo los astrónomos doctorados. En términos globales, se estima que se doctoran típicamente ocho astrónomos por año, aunque este número presenta una tendencia creciente.

Resulta oportuno aclarar que en este análisis no se ha tenido en cuenta la Universidad de Buenos Aires (UBA), cuyos doctorandos en el área de Astronomía y Astrofísica se forman casi exclusivamente en el IAFE.



El número de astrónomos doctorados por año a nivel nacional se muestra en el gráfico 2.8. En este caso, se aplica también el comentario relacionado con el número total de la población de graduados.



**Gráfico 2.8.** Número de doctorados en Astronomía. *Fuente:* Universidades Nacionales de Córdoba, La Plata y San Juan.

El CONICET ha sido y continúa siendo la principal fuente de financiamiento de las becas doctorales y postdoctorales otorgadas en Astronomía. En los últimos diez años, el CONICET ha cubierto entre el 80% y el 90% de la demanda total. El resto ha sido completado con becas originadas en organismos diversos. De esta manera, no parece existir en la actualidad un número significativo de graduados en Astronomía sin ubicación. Será por cierto de enorme valor para la Astronomía argentina que el número de becas pueda mantenerse en un nivel de crecimiento, ya que ello permitirá continuar apoyando las primeras etapas de la actividad en el área.

Tal como se describió al comienzo del presente documento, casi todas las instituciones en las que se desarrollan actividades de investigación en Astronomía-Astrofísica tienen conexión con el ámbito universitario. El número de investigadores dedicados a la docencia de grado y posgrado es variable en cada institución. Un relevamiento en este aspecto demuestra que entre el 70% y el 80% de los investigadores desarrollan actividades docentes de grado, mientras que entre el 20% y el 30% lo hace en posgrado (básicamente en las carreras de Doctorado).

## **SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS**

La entidad que agrupa a los científicos del área es la “Asociación Argentina de Astronomía” (AAA), fundada en 1958. Dicha asociación incluye actualmente unos 300 miembros pertenecientes a distintas categorías (honorario, profesional, adherente, aficionado y protector). En la categoría “profesional” existen en la actualidad alrededor de 220 miembros. La AAA organiza tradicionalmente una reunión científica anual, en paralelo con la Asamblea de Socios, y apoya otras reuniones vinculadas con el área. Además, mantiene relación con la “International Astronomical Union” (IAU) a través del Comité Nacional de Astronomía. La IAU es la organización más importante del área a nivel internacional e incluye, prácticamente, a todos los países que desarrollan actividades de investigación en Astronomía y Astrofísica.

## COLABORACIONES Y PROYECTOS EN MARCHA

En el análisis de varios proyectos astronómicos importantes ha intervenido una Comisión *ad-hoc*, nominada por el MINCyT a partir de propuestas de diversas instituciones vinculadas con la Astronomía y las Ciencias del Espacio. Dicha Comisión cuenta con representantes del Observatorio Auger, instalado en Mendoza (Malargüe) y cuyo objetivo es la detección de partículas de alta energía. La información detallada sobre este emprendimiento, llevado adelante en el ámbito de la CONEA se incluye en el capítulo de Física.

### Observatorio Gemini

La Argentina forma parte del consorcio internacional Gemini, que opera el Observatorio del mismo nombre e incluye dos telescopios de 8 m de diámetro cada uno (instalados en Chile y Hawai), desde 1993. Desde los inicios del proyecto se buscó un diseño innovador que, aprovechando la experiencia recogida con telescopios de igual diámetro, permitiera una optimización en el rango óptico e infrarrojo cercano. Ese diseño ubica a esos telescopios entre los más eficientes de la actualidad en términos de la razón señal-ruido e incluye uno de los dispositivos de punta para la implementación de la así llamada óptica adaptativa. Esta técnica, apoyada en una constelación de cinco haces de láser, permite realizar un análisis casi tomográfico del perfil de turbulencia atmosférica y alcanzar niveles de resolución comparables a los de instrumentos ubicados en el espacio.

La clave de la competitividad de los Observatorios Gemini Norte (Hawai) y Gemini Sur (Chile) no pasa tanto por la apertura de los telescopios, sino más bien por los desarrollos tecnológicos implementados sobre una variedad de instrumentos periféricos que cubren una amplia gama de temáticas astrofísicas. Esa característica hace que estos telescopios resulten adecuados para muchos de los proyectos originados en nuestro país.

Hasta el momento se identifican entre los miembros de la comunidad astronómica argentina unos 50 usuarios de esa instrumentación, la cual es ciertamente la más requerida a nivel nacional. Unas 20 Tesis Doctorales, incluyendo finalizadas y actualmente en ejecución, se basan en datos obtenidos con los telescopios Gemini.

La participación argentina en Gemini tuvo su ámbito original en la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación, luego de un lapso bajo la dependencia del CONICET. Desde el año 2007 y hasta la fecha, Gemini ha estado

bajo la responsabilidad del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.

## Proyecto LLAMA

El proyecto LLAMA (acrónimo de *Large Latin American Millimetre Array*) es un emprendimiento científico-tecnológico conjunto de Argentina y Brasil, cuya finalidad es la instalación, puesta en funcionamiento, y mantenimiento de una antena de 12 m de diámetro a ubicar en el noroeste de Argentina, más precisamente en un sitio por encima de los 4.700 m de altura sobre el nivel del mar. Dicha antena operará en frecuencias comprendidas desde los 35 GHz y, dependiendo de la eficiencia de apertura, hasta frecuencias algo superiores al THz. Contará además con receptores extremadamente sensibles que cubrirán distintas bandas de interés astrofísico, y sistemas de mando, control, monitoreo y procesamiento de datos. Aunque inicialmente el instrumento funcionará como un telescopio independiente, uno de los objetivos perseguidos por este proyecto es que sea el primer elemento de una serie de antenas que podrían conformar la primera red de interferometría de línea de base muy larga (VLBI, por sus siglas en inglés) en Latinoamérica. Con este Proyecto binacional, ambos países (Argentina y Brasil) estarían anticipándose a una futura expansión natural del interferómetro ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*), que consistiría en colocar antenas a distancias mayores, en un esquema semejante al proyecto SKA (*Square Kilometre Array*).

El radiotelescopio LLAMA, al suministrar las líneas de base más largas, permitirá incrementar unas 10 veces la resolución angular alcanzada por el interferómetro ALMA. Podrán así estudiarse fuentes no resueltas por ese interferómetro, colocando a ambos países (Argentina y Brasil) en una posición sumamente ventajosa dentro de la radioastronomía mundial.

Dado que uno de los principales objetivos consiste en realizar interferometría con algunas de las antenas de ALMA, se decidió optar por un modelo de antena y receptores similares a los de dicho interferómetro. Esto simplifica enormemente la especificación del sistema. La antena será provista por la empresa *Vertex Antenna Technik GmbH*, y dispondrá de un foco Cassegrain y dos cabinas Nasmyth. En el primero de los focos, se dispondrá de suficiente espacio como para instalar una cámara volumétrica o un arreglo superheterodino de receptores. En cada una de las cabinas Nasmyth se dispondrá de tres receptores de un pixel, los cuales serán instalados en criostatos similares a los que se encuentran en el radiómetro japonés denominado ASTE. La antena LLAMA será instalada en un lugar ubicado a 4.830 m de altura sobre el nivel del mar, en

un sitio ubicado a unos 20 km, en línea recta, de la localidad salteña de San Antonio de los Cobres. Este proyecto, actualmente en su fase de construcción, es financiado por la Secretaria de Articulación Científico Tecnológica del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT) de Argentina y la Fundación para el Avance de la Ciencia (FAPESP) del estado de San Pablo, Brasil. Durante la fase de ciencia, el CONICET y la Universidad de San Pablo proveerán los fondos necesarios para el mantenimiento del Observatorio.

## Proyecto ABRAS

Derivado de la búsqueda de sitios en conjunto con el Observatorio Europeo del Sur (ESO, por sus siglas en inglés), este proyecto involucra a la Argentina y Brasil a través del Instituto de Astronomía y Física del Espacio (UNCOR-CONICET) y del Instituto Astronómico y Geofísico (IAG) de la Universidad de San Pablo, respectivamente. El MINCyT y la Universidad de San Pablo son sus principales fuentes de financiación.

El Proyecto ABRAS prevé la instalación de una facilidad de uso astronómico en el Cordón Macón (Salta) que hará uso de un telescopio de aproximadamente 1 m de diámetro. Dicho instrumento será instalado dentro de una cúpula de 8 m de diámetro, cuya construcción se desarrolló entre los años 2011 y 2012. Uno de los objetivos principales es la optimización del telescopio para realizar observaciones en el infrarrojo cercano, aprovechando la altura del sitio (unos 4.600 m). Las observaciones permitirán desarrollar investigaciones en diversas áreas de la Astronomía, desde estudios del Sistema Solar hasta Galaxias. Este proyecto se encuentra en estado avanzado, contándose al presente con infraestructura en el sitio, con el telescopio y el detector. Las primeras observaciones están previstas hacia fines de 2015.

## Proyecto TOROS

TOROS (acrónimo de *Transient Optical Robotic Observatory of the South*) es un Proyecto en el que colaboran la Universidad de Texas (Brownsville), la Universidad Nacional de Córdoba, CALTECH y la Universidad de Texas A&M. TOROS apunta a construir un instrumento óptico que permita realizar un seguimiento de los *after-glow*s asociados a eventos relacionados con ondas gravitacionales y que están dentro de los objetivos de los proyectos Advanced Ligo y Advanced Virgo. En otro contexto, el instrumento a desarrollar será también empleado para la detección de Supernovas.

## Proyecto ISON

ISON (acrónimo de *International Scientific Optical Network*) representa un esfuerzo que buscará caracterizar y catalogar la población de desechos espaciales y de asteroides (tipo NEO) potencialmente peligrosos para la Tierra. El Proyecto es liderado por el Instituto Keldysh de la Academia Rusa de Ciencias, en colaboración con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), el Instituto de Astronomía teórica y Experimental (IATE) y el Observatorio Astronómico de la Universidad de Córdoba (OAC). En este Proyecto tendrá también participación la Gobernación de la Provincia de Salta. En ese contexto, se operarán de manera remota telescopios de pequeña abertura (20 y 25 cm de diámetro). Eventualmente las observaciones podrán también apuntar a la detección de efectos relacionados con erupciones de rayos gamma.

Tanto el proyecto TOROS como el ISON se desarrollarán en la provincia de Salta y en las cercanías del Cerro Macón.

## Estudio de las condiciones astronómicas en el Cerro Champaquí (Córdoba)

El conocimiento de la calidad del cielo es un factor decisivo para la instalación de instrumentación astronómica. Dicha calidad se mide en términos del grado de oscuridad (baja contaminación lumínica), transparencia y estabilidad (turbulencia). El reconocimiento de sitios potencialmente aptos para realizar observaciones astronómicas tiene utilidad tanto para nuestro país, como para delinear futuras asociaciones a nivel internacional. En el contexto descripto, el Cerro Champaquí (2.800 m) se presenta como un promisorio candidato a tener en cuenta para futuros desarrollos. Mediciones preliminares lideradas por miembros del ICATE, sugieren que las condiciones del *seeing* en este lugar (Cerro Champaquí) se encuentran por debajo de 1 segundo de arco.

## **PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS Y DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA**

A nivel profesional, la Asociación Argentina de Astronomía (AAA) edita anualmente un Boletín desde el año 1958, en el cual se canalizan los trabajos presentados en sus respectivas Reuniones Anuales. A partir de 2004, las publicaciones en este Boletín están sujetas al sistema de referato.

Por otra parte, en el área de divulgación científica existen en Argentina dos publicaciones principales. La *Revista Astronómica*, editada por la Asociación Argentina Amigos de la Astronomía desde 1929, y la publicación cuatrimestral *Si Muove*, originada en el Planetario Galileo Galilei de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Usualmente, todos los institutos mencionados anteriormente mantienen ciclos de conferencias, coloquios y eventos variados destinados al público en general. EL IAR, a su vez, edita un boletín periódico denominado *Boletín Radioastronómico*, con temática en el área de divulgación científica.

En este ítem merece destacarse la reciente inauguración de un Planetario en el ámbito de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la UNLP y cuya principal finalidad es la difusión del conocimiento astronómico en una variedad de niveles.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Productividad

En esta sección se examina la productividad del área en los términos usuales de cantidad de publicaciones, número de citas, y calidad de las revistas (según su índice de impacto). Si bien podrían identificarse y analizarse otros parámetros que tienen en cuenta criterios adicionales de valoración, ello excedería los objetivos del presente documento.

Un análisis de la productividad de la Astronomía Argentina medida en términos de artículos publicados, pesados por población económicamente activa, demuestra que nuestro país tiene un muy buen desempeño a nivel Latinoamericano, hecha la salvedad relacionada con Chile. A nivel internacional, Argentina figura en el puesto 34 sobre 260 países listados por la base SCImago para el período 1996-2013. Como se mencionó anteriormente, si sólo se considera el año 2013, nuestro país ocupa el puesto 31.

Un indicador de la calidad de los trabajos publicados es, sin lugar a dudas, la jerarquía de las revistas donde estos trabajos son mayoritariamente publicados. En este sentido, resulta gratificante destacar que el 70% de los artículos publicados en los últimos diez años se concentra en las tres publicaciones de mayor impacto a nivel internacional, a saber, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *Astronomy and Astrophysics* y *Astrophysical Journal*, cuyos índices de impacto son 4,9; 4,1 y 6,1; respectivamente. Las restantes publicaciones se distribuyen en unas 15 revistas de jerarquía internacional que también utilizan el sistema de referato (por ejemplo *Astroparticles* con 3%).

En cuanto al reconocimiento y/o impacto de los trabajos en términos de citas por artículo y con la prudencia que este aspecto del análisis merece, nuevamente se verifica que Argentina mantiene un nivel por encima de la media a nivel latinoamericano y ligeramente inferior al que caracteriza a la totalidad de la actividad en algunos países referentes de la Astronomía mundial.

Sobre la base del resultado citado precedentemente y basados en las estadísticas de RICyT, ADS Harvard-NASA y SCImago, puede concluirse que los graduados en Astronomía en nuestro país poseen una formación apta y amplia como para desarrollar investigaciones en una gran variedad de temas de Astronomía-Astrofísica. Un importante porcentaje de las publicaciones, aproximadamente 60%, incluye autores de otros países, característica ésta común en la Astronomía a escala mundial.

Existen algunos países, Canadá y Australia por ejemplo, que poseen poblaciones económicamente activas comparables o aún menores que la de



Argentina y que, sin embargo, son más eficientes tanto en producción como en impacto global. Si bien estos países podrían ser tomados como casos instructivos para un diagnóstico comparativo sobre bases más finas, habría quizás que tener en cuenta que los mismos triplican y duplican, respectivamente, el porcentaje del PBI dedicado a Ciencia y Tecnología en Argentina.

## Infraestructura y equipamiento

La situación actual relacionada con la infraestructura y equipamiento astronómico en Argentina demuestra que las capacidades actuales se encuentran al borde de lo aceptable para prever un crecimiento armonioso en estos dos aspectos en los próximos años. Digno es destacar que esta situación ocurre a pesar de los esfuerzos realizados durante los últimos años. En particular, las recientes mejoras en el nivel de financiamiento de las actividades en el área han provocado un crecimiento porcentual de la producción científica nacional, comparable a la de los países desarrollados.

En el rubro infraestructura se advierte la necesidad de planear un crecimiento sostenido del orden del 15% anual para acompañar el incremento en el número de investigadores que desarrollan sus actividades en condiciones aceptables de trabajo. En los próximos 10 años, ese ritmo permitiría un crecimiento del orden del 300% a 400% de la capacidad instalada.

El rubro equipamiento merece un análisis particular. Por un lado, se han mejorado ostensiblemente las capacidades de cálculo a nivel cotidiano y se han abierto posibilidades para acceder a grandes facilidades de cálculo. Ese esfuerzo deberá contemplar una inversión razonable para mantenimiento y recambio en el corto y mediano plazo.

Los así llamados grandes equipos, con costos comparativamente mayores, están fuera del análisis descripto. Ese tipo de adquisiciones debería requerir un cierto acuerdo a nivel institucional a los efectos de garantizar la mayor cantidad de usuarios y de intereses a nivel temático. El CASLEO es un ejemplo del ámbito al que puede aplicarse esta apreciación. Cabe agregar que tanto la instrumentación instalada en la Estación Astrofísica de Bosque Alegre y en el CASLEO merecerían una atención particular apuntando no sólo a la actualización de los telescopios principales sino a la actualización tecnológica del instrumental periférico.

Otro punto crítico está relacionado con el acceso a las publicaciones científicas más importantes. Si bien existe una tendencia detectable en el número de publicaciones electrónicas abiertas, la depuración de esos medios en términos de calidad y continuidad es aún hoy un tema abierto. El mismo merece una consideración particular, tanto desde el punto de vista del acceso

al conocimiento como desde el que tiene que ver con la evaluación de los investigadores. Existe un amplio consenso respecto a la necesidad de que todas las instituciones del área mantengan debidamente actualizadas sus vías de acceso a la bibliografía.

## **Estrategias de asociación**

Las últimas décadas demuestran que los grandes emprendimientos del área se concretan por lo general a través de consorcios internacionales que optimizan los recursos disponibles. La participación argentina en el Proyecto Gemini, actualmente Observatorio Gemini, puede tomarse como ejemplo de este tipo de asociación. La experiencia relacionada con la participación argentina en Gemini debe considerarse como instructiva de las falencias que deben evitarse y de las capacidades que es necesario desarrollar para extraer el mejor resultado de las mismas.

A nivel Latinoamericano, Brasil aparece como uno de los socios naturales y con intereses comunes con nuestro país. Este hecho ha quedado demostrado en particular por los proyectos LLAMA y ABRAS. También Chile y México, dados sus importantes niveles de desarrollo, aparecen como socios deseables y merecerían un análisis particular. Los países antes mencionados como posibles socios lo son a modo de referencia, aunque obviamente existen otras opciones posibles. Por ejemplo, las búsquedas de sitios con buena calidad astronómica, como las realizadas en la zona de Macón o en el Cerro Champaquí, resultan muy importantes dado que, potencialmente, pueden ser parte de negociaciones con otros países o instituciones que no tienen acceso al hemisferio sur celeste.

Si bien las asociaciones internacionales a nivel intermedio pueden ser encaradas por instituciones individuales, aquellas que involucran mayores volúmenes de inversión financiera o de recursos humanos requieren una intervención a nivel ministerial. En este sentido, parece aconsejable la constitución de una Comisión como la ya implementada por el MINCyT y que también pueda aconsejar, sobre la base de una representatividad institucional, la conveniencia o no de participar en determinados proyectos.

## **Transferencia de tecnología**

La Astronomía observacional del siglo XXI requiere contar con instrumentos que posean un elevado poder resolvente, con posibilidad de detectar objetos cuya emisión es muy débil, que permitan explorar en forma simultánea una banda cada vez mayor de frecuencias, efectuar observaciones espectroscópicas

con buena resolución en velocidad y mediciones de la polarización de la radiación observada.

Estos requerimientos científicos se traducen en requisitos muy especiales en los instrumentos de observación, que para cumplir con los objetivos científicos necesitan incluir en su diseño los nuevos adelantos en tecnología. Estos últimos sólo pueden ser incluidos si se dispone de recursos humanos que posean el adecuado conocimiento y manejo práctico de esas nuevas tecnologías. En estas condiciones, además de dar respuesta a las necesidades del instrumental para investigación astronómica, la tecnología y *know-how* involucrado en el diseño y desarrollo de esos instrumentos, pueden ser aplicados a otros campos del quehacer científico y económico nacional.

En este contexto, cabe destacar que en los primeros años de la década pasada, y por causas diversas, se inician en el IAR actividades de Transferencia Tecnológica destinadas a solucionar necesidades concretas surgidas de otros sectores, especialmente de aquellos vinculados con las comunicaciones y el sector espacial. En este último campo, las actividades de transferencia de tecnología, vinculadas principalmente con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), alcanzaron su punto máximo con la misión SAC-D, en la que el IAR contribuyó con el diseño, desarrollo, y verificación del funcionamiento de un receptor de microondas en la banda de 30 a 35 GHz. Contribuyó además con un detector de radiación infrarroja, con el ensamblado de una computadora y con el desarrollo del código que controla en tiempo real cinco de los instrumentos que se encuentran a bordo de dicho satélite. Las actividades se llevan a cabo mediante la realización de Servicios Tecnológicos de Alto Nivel (denominados STAN por CONICET), y por la elaboración de Convenios específicos. Actualmente, las actividades de transferencia se han expandido hacia otras instituciones estatales, tales como la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), la Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC), y empresas privadas tales como INVAP SE, Fundetec SA, Altamura Tech SA, y VENG SA.

La transferencia de tecnología y la provisión de servicios que brinda personal técnico y científico del ICATE se ha ido incrementando paulatinamente desde el año de su creación hasta la fecha. Además de los servicios educativos y de divulgación brindados, como los cursos de capacitación para maestros, profesores y alumnos de educación primaria y secundaria, el personal del ICATE opera y brinda servicios de barrido en la sonda electrónica instalada en la ciudad de San Juan. Proporciona además servicios de mantenimiento y corrección a equipos brasileños instalados en El Leoncito para Física Solar, especialmente aquellos que trabajan en la región de 400 Ghz. También se brindan servicios instrumentales al Observatorio Gemini Sur, en particular para la calibración y operación del instrumento Flamingo II. Los servicios se realizan a través del sistema de transferencia tecnológica (servicios STAN) establecido por CONICET.

Todas estas actividades representan una continuación natural de las que se realizaban en el CASLEO por parte del personal que fuera luego transferido al ICATE en mayo de 2009.

## Recursos Humanos

Este es considerado uno de los aspectos quizás más importantes de cara al futuro de la Astronomía en nuestro país. Por un lado, la productividad descrita en el comienzo de esta sección indica que la formación profesional local es apta para un muy buen desempeño en la actividad de investigación astronómica. Sería deseable sugerir algún tipo de coordinación de los centros que generan graduados en Astronomía, a los efectos de considerar los programas en forma comparativa y estimar la tasa de egresos/ingresos para identificar problemáticas comunes y actuar en consecuencia.

Esta coordinación podría también incorporar especialistas de áreas diversas que puedan aportar ideas acerca de actualizaciones o temáticas potencialmente importantes y debería realizarse con cierta periodicidad.

Se considera de gran importancia mantener y aumentar el flujo de becas originadas en el CONICET, Universidades y ANPCyT, de manera de efectuar un aporte sostenido al crecimiento del número de investigadores en Astronomía-Astrofísica en forma coordinada.

Dado que la investigación en Astronomía-Astrofísica tiene una fuerte componente de colaboración internacional, es deseable implementar un sistema de estadías en el extranjero que, al mismo tiempo, asegure el retorno y la inserción en el sistema científico argentino. Se trata de mantener las líneas desarrolladas desde el interés de nuestro país y enriquecerlas con la experiencia que aportan esas estadías. El programa de Becas Externas del CONICET, en su momento, produjo un aporte importante en este aspecto. Por ejemplo, cinco becas de ese tipo otorgadas hacia mediados de los años 70, produjeron Directores de entre 20 y 25 tesis doctorales a nivel local. No sólo es destacable el número de tesis sino también la incorporación de una variedad de temas que no tenían desarrollo local.