

Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena 2005

Capítulo Astronomía

S. López, M. Hamuy, L. F. Barrientos, J. Maza, & M. T. Ruiz

23 de Septiembre de 2005

Resumen Se describe la actividad astronómica en Chile y sus proyecciones a mediano plazo. La comunidad de astrónomos chilenos (es decir, astrónomos contratados por instituciones nacionales) representa el 2% de la comunidad científica nacional, es relativamente joven, y cuenta en su mayoría con post-grados en el extranjero. También es activa, con una producción bibliográfica de volumen e impacto comparables a institutos extranjeros de envergadura, y superior a sus símiles en la región. En comparación a dos décadas atrás, el volumen de astrónomos se ha duplicado y el volumen de publicaciones se ha octuplicado. Estas características también demuestran capacidad de educación de nuevas generaciones de astrónomos. En la última década el número de estudiantes de post-gradado en Chile ha crecido en un factor 8, y se aprecia un interés creciente por estudiar astronomía. Por otro lado, el ambiente de colaboraciones nacionales e internacionales es mejor que nunca en el pasado, y la comunidad sigue teniendo acceso a la más alta tecnología astronómica del planeta. El uso apropiado de tales recursos ha sido posible fundamentalmente por el apoyo permanente brindado por las instituciones universitarias. Sosteniendo una inversión de capital relativamente modesta, la astronomía nacional se puede convertir en la primera ciencia chilena con estándares de país desarrollado, con el consecuente desarrollo tecnológico y humano que esto implica.

I. Introducción:

El presente estudio pretende dar una visión del estado actual de la actividad astronómica profesional en instituciones chilenas. Con esto, se establece una continuidad con el último trabajo de este tipo, publicado en el año 1993, también bajo el patrocinio de la Academia de Ciencias y CONICYT (“Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena”, 1993, de aquí en adelante el “Estudio de 1993”). En tal estudio, dos fueron las conclusiones principales: había un número insuficiente de astrónomos chilenos para aprovechar al máximo la infraestructura de telescopios que se estaba instalando en Chile, y se anhelaban programas de doctorado, aún inexistentes en ese año.

En nuestro trabajo, doce años más tarde, constatamos la existencia de una comunidad que es dos veces mayor en número que en 1993, de dos programas de doctorado nuevos y exitosos, de más fuentes de financiamiento externas a las universidades, y de más colaboraciones internacionales e inter-institucionales. Este escenario incipiente comienza a tomar forma recién en la última década (Kaiser 1995, Bronfman 2002, Rubio 2003). Como consecuencia de estos cambios, mostramos aquí que tanto la productividad en publicaciones como su impacto han crecido ostensiblemente en el último período. Por lo tanto, cabe hacerse la pregunta ¿de qué debe entonces preocuparse nuestra

comunidad?

Teniendo acceso considerable a observatorios astronómicos de primer nivel mundial, Chile aún no alcanza niveles de país desarrollado en astronomía. Si bien las estadísticas nos permiten sacar conclusiones claramente positivas al comparar con 1993, cabe preguntarse si este desarrollo es sustentable en el tiempo y si hemos superado la masa crítica necesaria para un despegue definitivo. ¿Cuál será nuestra situación en 10 años más? Aventuramos algunos lineamientos en los dos últimos capítulos de este trabajo.

Nuestro estudio comienza con una breve reseña histórica de la astronomía chilena (capítulo II), seguida de una descripción en III de los observatorios internacionales en Chile, y en IV de la gestión del astrónomo y la utilización por parte de éste de los recursos observacionales. Luego en V describimos los centros chilenos de astronomía, y en VI describimos el papel de la astronomía chilena en la sociedad. En VII describimos la comunidad astronómica chilena profesional y las diferentes áreas de investigación. El capítulo VIII está dedicado a un estudio detallado sobre productividad e impacto científico de la comunidad, comparándola con otros centros astronómicos de Estados Unidos, Inglaterra y países latinoamericanos. En IX describimos las fuentes de financiamiento de la astronomía nacional. Las conclusiones se detallan en X, y en XI hacemos una proyección a diez años de los resultados.

Aspiramos a que nuestro trabajo sirva tanto a las autoridades pertinentes, como también a la propia comunidad astronómica en la planificación de la investigación científica nacional. Finalmente, deseamos agradecer tanto a los Directores de Departamentos o Grupos que nos facilitaron la información que aquí presentamos, como también a cada uno de los investigadores -académicos y post-doctorantes- que tan amablemente nos proporcionó sus antecedentes.

Con el presente volumen se publica una lista de astrónomos activos y con puestos permanentes en instituciones chilenas. En lo que sigue nos referiremos a tal lista como el "Directorio", aunque sin perder de vista que se trata de un subconjunto del total de investigadores, pues no incluye a post-doctorantes ni a técnicos especializados.

II. Reseña histórica de la Astronomía en Chile

La historia de la investigación astronómica en Chile¹ se inicia en 1849 con la llegada a Santiago de una expedición de la Armada de los Estados Unidos a cargo del teniente James M. Gilliss. Esta expedición tenía como objetivo complementar mediciones de la distancia Tierra-Sol hechas en el hemisferio Norte. En 1852, el gobierno de Chile compró a la expedición los instrumentos,

¹ Para una visión más amplia del tema referimos al lector al Capítulo de Astronomía del Estudio de 1993.

edificios y documentos del observatorio astronómico que ésta había establecido en el Cerro Santa Lucía. El observatorio del Cerro Santa Lucía se convirtió así en el Observatorio Astronómico Nacional y pasó a depender del Ministerio de Instrucciones Públicas. Posteriormente, en 1927 la Universidad de Chile se hace cargo de éste. A principios de 1900, otra expedición norteamericana instaló en el Cerro San Cristóbal un observatorio astrofísico, que en 1929 pasó a manos de la Universidad Católica.

A partir de 1950 se le imprime a la astronomía nacional un gran dinamismo cuando se instalan en Chile el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo y el Observatorio Europeo Austral en Cerro La Silla. Más tarde se instalaría también la *Carnegie Institution de Washington* en Cerro Las Campanas. Desde entonces, y en forma acelerada, Chile se ha ido convirtiendo en uno de los centros astronómicos más importantes del mundo, dadas sus óptimas condiciones observacionales. Hoy, gracias al Observatorio de Cerro Paranal, de Cerro Pachón, y del Llano de Chajnantor, Chile es el primer centro astronómico del hemisferio austral.

III. Los observatorios internacionales en Chile.

Como ya hemos dicho, Chile es anfitrión de los proyectos astronómicos más ambiciosos a nivel mundial desde hace ya varias décadas. Astrónomos europeos y estadounidenses encuentran en nuestro país excelentes condiciones atmosféricas para sus proyectos de observatorios, además de buenas garantías para su operación. Es así como esa tendencia se extiende hasta nuestros días, llegando a una inversión conjunta (2005) de más de US\$ 2.000 millones en nuestro territorio, sin precedente en otro lugar del planeta. Esto sin duda significa un valioso aporte para la ciencia chilena, y particularmente para la astronomía. Algunos de estos proyectos se describen a continuación.

1. Observatorio Interamericano de Cerro Tololo (CTIO) El observatorio interamericano de Cerro Tololo comenzó formalmente su operación a fines del año 1962, después de la firma de un acuerdo de cooperación entre la Universidad de Chile y la Asociación de Universidades para Investigación en Astronomía (AURA) en 1961. En el observatorio de Cerro Tololo están actualmente en operación los telescopios de 4 metros, 1.5 m, 1.3 m, 1 m y 90 cm. Sin duda el instrumento más importante en esta instalación es el telescopio Blanco de 4 m que aún sigue bajo periódicos mejoramientos con el fin de mantener su competitividad.

2. Observatorio Europeo Austral (ESO) El Observatorio Europeo Austral llegó a Chile en 1964 mediante un convenio directo con el gobierno de Chile. Las primeras instalaciones en nuestro país se efectuaron en el observatorio de Cerro

La Silla, 150 km al norte de la ciudad de La Serena. En este lugar llegaron a funcionar más de 12 telescopios ópticos de diferentes tamaños y el radiotelescopio SEST. Actualmente se destacan el telescopio de 3.6 m, el telescopio de nueva tecnología de 3.5 m (NTT), y el telescopio del Instituto Max Planck y ESO de 2.2 m. La gran mayoría de los telescopios menores han cesado sus actividades quedando operativos casi exclusivamente los ya mencionados. Estos telescopios fueron parte de los mayores telescopios ópticos en el mundo durante la época comprendida por la década de los 80 y gran parte de los 90, y aún siguen siendo instrumentos muy competitivos.

Durante los 90 ESO expandió sus actividades a Cerro Paranal, 120 km al sur de Antofagasta. El año 1999 inauguró el primero de cuatro telescopios de 8.2 m en este observatorio. Los cuatro entraron en operación en el año 2001, constituyéndose en el proyecto óptico más ambicioso a nivel internacional (*Very Large Telescope, VLT*). En conjunto estos telescopios tienen la capacidad colectora de uno de 16 m de diámetro y permiten realizar las observaciones de mayor resolución espacial obtenidas hasta ahora. El VLT es actualmente el telescopio más avanzado en el mundo, y lo seguirá siendo al menos por la próxima década.

3. Observatorio de la Institución Carnegie de Washington (OCIW) El observatorio de la institución norteamericana Carnegie comenzó su operación en el año 1969, después de varios años de prospección de sitios de observación en nuestro país. Este grupo escogió al Cerro Las Campanas para su operación, situado aproximadamente 150 km al norte de La Serena. Este observatorio actualmente alberga a dos telescopio gemelos de 6.5 m cada uno -denominados "Magallanes"-, un telescopio de 2.5 m, uno de 1 m, más varios telescopios más pequeños de otras instituciones. El primero de los Magallanes fue inaugurado en el año 2000, y el segundo en el año 2002. Ambos telescopios son de alta complejidad y muy avanzados en su instrumentación.

4. Observatorio Internacional Gemini El observatorio Gemini es operado por un consorcio de 7 países que incluye a Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Estados Unidos y el Reino Unido, y a Chile como anfitrión. Este consorcio opera dos telescopios de 8.1 m, uno en Mauna Kea ubicado en la isla grande de Hawaii, y el otro en Chile, sobre el cerro Pachón cerca de la ciudad de La Serena. El telescopio Gemini-Sur está optimizado para observaciones en el rango infrarrojo y comenzó a funcionar en el año 2002.

5. Observatorio Austral para Investigación Astrofísica (SOAR) El observatorio SOAR en Cerro Pachón mantiene y opera un telescopio de 4.3 m con instrumentación de alto nivel tecnológico. Las instituciones y países que colaboran en su operación son: *University of North Carolina at Chapel Hill*, CTIO, *Michigan State University* y Brasil.

6. Gran Arreglo Milimétrico de Atacama (ALMA) El gran arreglo milimétrico de Atacama es el proyecto astronómico más ambicioso de la década. Es un proyecto financiado por Estados Unidos, la Comunidad Europea y Japón. Se estima una inversión de aproximadamente US \$800 millones para su construcción. ALMA está siendo construido en el Llano de Chajnantor al Este de San Pedro de Atacama y a 5000 m sobre el nivel del mar. El proyecto contempla 64 antenas de 12 m que operarán en el rango sub-milimétrico con líneas basales de hasta 10 km. Este radiotelescopio permitirá la observación de objetos astronómicos hasta ahora imposibles de detectar.

IV. Acceso chileno a tiempo de telescopio

Los astrónomos chilenos tienen acceso a todas las instalaciones mencionadas anteriormente para realizar sus trabajos de investigación². Los acuerdos firmados aseguran que el 10% del tiempo disponible en cada uno de los telescopios en nuestro país pueda ser asignado a proyectos de observación chilenos, por ser Chile el país anfitrión. Los proyectos se definen como chilenos cuando el investigador principal pertenece a una institución chilena, independientemente de la nacionalidad de éste. Para investigadores con puestos no permanentes, hay restricciones en cuanto al período de permanencia mínimo antes y después de postular.

Dadas las cifras anteriores, los Comités de Asignación de Tiempo de Telescopio ("TAC", por sus siglas en inglés) chilenos administran una fracción importante de la totalidad de recursos para astronomía disponibles en nuestro país (ver Capítulo IX).

Existen diferentes modalidades de TAC a partir de diferentes modelos de observatorios. Esto es así porque distintos observatorios operan en Chile bajo diferentes marcos legales, dependiendo principalmente del representante en Chile con quien se hizo la negociación. Es así como OCIW y CTIO operan en Chile utilizando un convenio firmado con la Universidad de Chile, en cambio Gemini y ESO firmaron sus respectivos convenios directamente con el Gobierno de Chile. En consecuencia, la responsabilidad de administrar el tiempo de observación chileno en OCIW y CTIO recae por ley en el Rector de la Universidad de Chile, y en el caso del tiempo de Gemini la responsabilidad recae sobre CONICYT. En el caso de ESO, el convenio firmado define que el tiempo chileno se asigne a través del proceso general de asignación de tiempo de telescopio de ESO (donde hay participación de astrónomos chilenos).

² Sin embargo, debemos señalar que astrónomos chilenos postulan exitosamente también a telescopios fuera del territorio nacional, como por ejemplo el *Very Large Array* en Estados Unidos o el telescopio espacial *Hubble* de la NASA.

El proceso de asignación de tiempo de telescopio en los distintos observatorios se realiza normalmente dos veces al año, momento en el cual el astrónomo proponente debe enviar un proyecto de observación. Este proyecto es revisado por un panel de expertos especialmente convocado para este propósito. La conformación de los paneles de expertos depende del Director del Departamento de Astronomía de la U. de Chile en el caso de CTIO y OCIW, del Director de CONICYT en el caso de Gemini, y del Director de ESO para sus telescopios. El comité de expertos es naturalmente internacional en el caso de ESO ya que debe incluir astrónomos de sus países miembros. De manera similar, los comités nacionales incluyen una fracción importante de astrónomos extranjeros de prestigio internacional. Estos paneles de expertos evalúan por su mérito científico cada una de las propuestas, estableciendo un ranking. Las propuestas más meritorias obtienen acceso a las instalaciones antes mencionadas.

¿Qué porcentaje del tiempo disponible es usado en proyectos chilenos? Para los telescopios de CTIO, OCIW y Gemini, se observa un factor de presión que promedia -gruesamente y con bastantes variaciones temporales- el valor de 2; es decir, se solicita dos veces más tiempo que el que está disponible. Por lo tanto, hay una cierta competencia en el proceso de selección. Sin embargo, esta competencia podría ser aún más saludable si tal factor fuera mayor. Por ejemplo, el factor de presión para acceso internacional a telescopios de ESO es 5, y aquél para el telescopio espacial *Hubble* es de 6 a 7. La conclusión es que la comunidad astronómica nacional usa el 100 % del tiempo asignado, pero es deseable que el factor de presión se incremente.

V. Centros chilenos de Investigación y su Infraestructura

En este capítulo detallamos las instituciones chilenas que albergan actividades de investigación en astronomía. Hay que hacer notar que la totalidad de éstas son departamentos o grupos al alero de universidades. La excepción es el instituto Isaac Newton, que depende directamente del Ministerio de Educación.

En todos estos centros se realizan investigaciones astronómicas tanto observacionales como teóricas. No hemos incluido departamentos de física o institutos con físicos que cuentan con publicaciones en astrofísica teórica³.

Por su carácter universitario, una misión fundamental de estas instituciones es formar futuros astrónomos. Dos de estas universidades (UCh y PUCCH) ya cuentan con un programa de Doctorado en Astronomía, y otra (UdeC) cuenta con un programa de Doctorado en Física que permite investigación en astronomía. El objetivo de los programas es formar investigadores de alto nivel que en el futuro hagan pleno uso de la infraestructura existente para la

³ Éstos aparecen detallados en el Capítulo Temático de Física.

astronomía en Chile. Esto incluye tanto a astrofísicos observacionales que hagan uso directo de los telescopios, como a investigadores en aspectos teóricos cuya labor es la modelación físico-matemática de los fenómenos observados.

Un doctor en astronomía está capacitado para llevar a cabo -en forma independiente- investigación original, novedosa, y relevante en el área general de la astrofísica. Esto implica una capacidad crítica, independencia de criterio y capacidad de aprender por si mismo. En particular, un doctor en astronomía requiere de una base fuerte de conocimientos y comprensión de la física y su aplicación a los fenómenos astronómicos.

Por orden de tamaño, las instituciones son las siguientes:

1. Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile.

Infraestructura. El Departamento de Astronomía (DAS) de la Universidad de Chile es parte de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) y está ubicado en Cerro Calán en Santiago. El DAS es además sede del Observatorio Astronómico Nacional de Chile que ha funcionado por más de 150 años, realizando programas de observación y proporcionando servicios astronómicos tales como provisión de señales de tiempo y coordenadas geográficas, o efemérides astronómicas.

El DAS cuenta con tres salas de conferencias, dos telescopios refractores y uno reflector de última generación, servicio horario, un centro de procesamiento de imágenes astronómicas y una biblioteca con más de cinco mil volúmenes. El observatorio utiliza estos medios también para desarrollar un programa de difusión de la astronomía. Por otra parte, este observatorio mantiene relaciones estrechas con los observatorios extranjeros instalados en el norte de Chile.

De particular mención es el telescopio reflector óptico de 45 cm Cassegrain GOTO, dotado de cámara CCD, que está siendo utilizado tanto para difusión como para formación de estudiantes de ingeniería y astronomía. Además, el DAS cuenta con un telescopio Maksutov de 70 cm en el Cerro El Roble a 70 km al norte de Santiago.

En el DAS se realizan actividades de investigación en astronomía y astrofísica teórica y experimental, docencia de pre- y post-grado (Magíster y Doctorado), actividades de extensión a la comunidad y administración científica. Para ello el DAS cuenta al 2005 con un plantel activo de 17 académicos e investigadores, 6 post-doctorantes, más de 20 estudiantes en varios niveles de formación, y también personal técnico de apoyo.

Proyectos. Hay tres proyectos institucionales importantes de destacar: El Centro FONDAF de astrofísica, un Programa MECESUP de apoyo al Doctorado en Astronomía y un programa de doctorado en colaboración con la Universidad de Yale en Estados Unidos apoyado por la Fundación Andes. Los dos primeros

se describen en más detalle en el capítulo IX.

Docencia. La Licenciatura en Astronomía fue creada en 1965 y en ella se educaron las primeras generaciones de astrónomos chilenos. Hoy tanto la Licenciatura como el Magíster y Doctorado son ofrecidos como carreras derivadas del Plan Común de la FCFM, pero cuentan también con estudiantes de otras facultades de la Universidad de Chile e incluso de otras universidades latinoamericanas.

El objetivo del Programa de Licenciatura es formar graduados del más alto nivel académico con una base sólida en matemáticas, física, astronomía, y métodos de investigación científicos. Los estudiantes egresados del programa están capacitados para emprender con éxito un programa de estudios de post-grado en astronomía o física, donde la capacidad de realizar trabajo de investigación independiente es esencial. El programa de Magíster corresponde típicamente a 3 semestres de dedicación completa e incluye la elaboración de una tesis en un semestre. El programa de Doctorado corresponde típicamente a 6-8 semestres de dedicación completa. La tesis doctoral debe tener una duración mínima equivalente a cuatro semestres. Según el convenio con la Universidad de Yale, el estudiante de Doctorado puede, a partir del tercer semestre, realizar pasantías de hasta un año de duración en dicha Universidad. Durante su estadía en la Universidad de Yale, se espera que el estudiante realice cursos y/o investigación. El estudiante también puede realizar su tesis de Doctorado bajo una co-tutela entre académicos de ambos Departamentos.

Además de estos programas, el Programa de Doctorado en Ingeniería Eléctrica cuenta con una nueva mención en instrumentación radioastronómica. A la fecha hay tres alumnos en esta mención.

Instrumentación radioastronómica La Universidad de Chile cuenta con una larga tradición y experiencia en el desarrollo de instrumentación radioastronómica. La creación del Radio Observatorio de Maipú en 1959 dió inicio a la radioastronomía en Latinoamérica, y desde entonces investigadores del DAS han estado vinculados al desarrollo de instrumentación radioastronómica. Se construyeron diversos instrumentos para la banda decamétrica, por ejemplo el primer interferómetro de gran línea basal (Maipú-Kentucky); se diseñó y construyó un radiotelescopio de gran área colectora (10.000 metros cuadrados) para la banda métrica (incluyendo nuevos detectores); se instaló y operó un instrumento para la banda milimétrica; se rediseñó y construyó un espectrógrafo de banda ancha para un telescopio milimétrico, entre otros proyectos.

En la actualidad el grupo del DAS colabora con centros importantes en instrumentación radioastronómica en el mundo: en Estados Unidos con el *National Radio Astronomy Observatory*, con el *California Institute of Technology*, con el *Smithsonian Astrophysical Observatory*, y con la *U. de Florida*; en Alemania con el *Max-Planck-Institut für Radioastronomie* y con la *U. de Colonia*;

finalmente, en Japón con el *National Astronomical Observatory of Japan*, con el *Nobeyama Radio Observatory*, y con la U. de Nagoya.

El DAS ha iniciado –con el apoyo del fondo ALMA-CONICYT- la implementación de un laboratorio de instrumentación astronómica en Cerro Calán que contará con un laboratorio de tecnología de punta en receptores y detectores para las bandas milimétrica y submilimétrica. Dicho laboratorio pretende no sólo potenciar la ingeniería nacional en el área de telecomunicaciones, sino también permitir la instalación en el país de diversos proyectos astronómicos que necesitan colaborar y contar con la activa participación de ingenieros chilenos para su construcción y operación.

El laboratorio dispone de un radiotelescopio milimétrico, instalado en Cerro Tololo con fines de docencia, investigación aplicada y básica. Este radiotelescopio también servirá como un banco de prueba para los receptores que se construyan y calibren en el laboratorio.

2. Departamento de Astronomía y Astrofísica de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Infraestructura. El Departamento de Astronomía y Astrofísica (DAA) es uno de los dos departamentos de la Facultad de Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUCCH). La astrofísica se cultivó en la Universidad Católica desde 1929, fecha en que la Universidad recibió en donación el telescopio Mills de 36" del Observatorio Manuel Foster ubicado en el Cerro San Cristóbal en Santiago. A partir de 1981 se empezaron a desarrollar las actuales líneas de investigación en astrofísica, y el 2 de enero de 1996 se constituyó el DAA, con oficinas en el Campus San Joaquín.

En el año 2004 se terminó la construcción de un nuevo edificio del DAA que duplicó el espacio físico existente. El DAA cuenta además con la Biblioteca Gauss y una Red computacional interna que incluye un súper-computador y acceso inalámbrico.

El Observatorio de la Universidad Católica, inaugurado en enero de 2005, se encuentra ubicado en Lo Barnechea, al interior de la Hacienda Santa Martina. Sus equipos permiten que los estudiantes realicen allí sus primeras observaciones científicas. Además, cuenta con un programa de visitas para el público general y colegios.

El Observatorio histórico Manuel Foster cuenta con un telescopio astrofísico de 1 m de diámetro, construido a principios del siglo 20 en el Cerro San Cristóbal de Santiago. Sus partes se exhiben en varios museos y exposiciones.

Proyectos. Hay cuatro proyectos institucionales a destacar: (1) Centro FONDAP

de Astrofísica, (2) Red LENAC o *Latin-American European network for Astrophysics and Cosmology* financiado con fondos de la Comunidad Europea, y que permite, entre otras cosas, el intercambio de profesores, investigadores y académicos entre la Universidad Católica y cinco instituciones Europeas y cinco instituciones latinoamericanas. (3) Colaboración entre la Universidad de Princeton y de Johns Hopkins, EEUU, y la Universidad Católica, financiada por la Fundación Andes. Originalmente éste era un programa de cinco años; sin embargo, como resultado de la evaluación del tercer año, se extendió por tres años más. El objetivo principal de este programa es fortalecer el programa de post-grado en la PUCCH, promoviendo el crecimiento del plantel académico e infraestructura, aumentando el número y calidad de investigadores profesionales, motivando a los alumnos de post-grado a realizar visitas de investigación en Princeton, y promoviendo vínculos entre la PUCCH y la Universidad de Princeton en EEUU. (4) Proyecto ALMA-CONICYT para apoyar la creación de un grupo de radioastrónomos y el financiamiento parcial de becas de post-grado.

Docencia La Licenciatura en Astronomía de la Universidad Católica de Chile se inició en 1998, motivada simultáneamente por el gran potencial de desarrollo de esta ciencia en Chile y la escasez de astrónomos. Es actualmente el único programa de licenciatura en astronomía con entrada directa una vez terminada la educación media. Este programa de licenciatura es el más exitoso en términos de los puntajes de ingreso de los estudiantes que entran a estudiar algún programa de ciencia básica en Chile. Así también, ha tenido un impacto importante en cuanto al número y calidad de estudiantes, en el ya existente programa paralelo de Licenciatura en Física de la Universidad. En la Licenciatura en Astronomía de la PUCCH se encuentran matriculados más de 100 estudiantes.

El objetivo de la Licenciatura en Astronomía es proporcionar una sólida base en matemáticas, física y astronomía, que permita a sus egresados seguir exitosamente estudios de post-grado en astrofísica, física o áreas relacionadas, o bien desempeñarse en aquellas áreas de tecnología avanzada que se benefician de una importante formación científica, por ejemplo en observatorios internacionales.

El post-grado en Astrofísica existe desde los 80 como un área del post-grado en física y desde el año 2003 como programa independiente, el que está constituido por el Magíster en Ciencias Exactas con mención en Astrofísica y por el Doctorado en Ciencias Exactas con mención en Astrofísica. El Magíster, previo al Doctorado, está dirigido a aquellas personas que tengan una fuerte motivación por desenvolverse en el área de la astrofísica, pero por diversas razones no tengan el interés o la posibilidad de seguir un programa con la exigencia y duración de un doctorado. Estas personas quedan muy bien capacitadas para realizar apoyo de alto nivel a la investigación, docencia o difusión en física o astronomía.

3. Grupo de Astronomía de la Universidad de Concepción

El Grupo de Astronomía de la Universidad de Concepción fue fundado en 1995. Actualmente el Grupo de Astronomía cuenta con cinco profesores, cuatro de ellos profesores titulares y uno profesor asistente. Además, hay siete post-doctorantes. El Grupo pertenece administrativamente al Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Las actividades de investigación se llevan a cabo en un amplio espectro de temas, incluyendo evolución estelar, estrellas variables, poblaciones estelares en galaxias cercanas, la escala de distancias extra-galáctica, cúmulos estelares, formación y evolución de galaxias, dinámica de galaxias, nebulosas planetarias, y núcleos de galaxias activas. Los astrónomos de la Universidad de Concepción son frecuentes usuarios de los telescopios en Chile. Por otro lado, también la radio-astronomía se está desarrollando en el Grupo de Astronomía, y se están usando radio-telescopios con instrumentación en rango milimétrico y sub-milimétrico.

El Grupo de Astronomía dispone de una amplia y moderna infraestructura, gracias a varios proyectos apoyados por la Fundación Andes. Todos los miembros del Grupo tienen oficinas equipadas con computadores modernos y otros equipos para el trabajo de investigación. El Grupo también dispone de un telescopio Meade de 30 cm equipado con una cámara CCD moderna, situado en un edificio del campus de la Universidad de Concepción.

Los académicos y post-doctorantes del Grupo de Astronomía participan en una variedad de proyectos científicos nacionales e internacionales. Entre ellos, se destaca la participación en el Centro FONDAF de Astrofísica, proyectos FONDECYT, y proyectos con la NASA en preparación de la misión espacial SIM (*Space Interferometry Mission*).

La producción científica en publicaciones ISI se encuentra en un alto nivel. El Grupo de Astronomía declara generar típicamente unas 50 publicaciones ISI por año. Existen colaboraciones con científicos de muchos países de Europa y Norteamérica. Entre las colaboraciones formalizadas por acuerdos inter-institucionales, se encuentran acuerdos con la Universidad de Texas en Austin, con la Universidad de Hawaii en Honolulu, y con la Universidad de Munich en Alemania.

En docencia, los astrónomos también participan en la carrera de Ciencias Físicas y Astronómicas. Esta carrera de pre-grado dura 6 años y fue iniciada en 2003. Los astrónomos también participan en el Programa de Doctorado en Ciencias Físicas, acreditado por la CONAP hasta 2008. Actualmente, hay cuatro alumnos de este programa trabajando en sus tesis de doctorado en un tema astronómico.

4. Grupo de Astrofísica de la Universidad de La Serena

El Grupo de Astrofísica de la Universidad de La Serena (ULS) está compuesto por cuatro académicos del Departamento de Física. Éstos dirigen proyectos de investigación en colaboración con investigadores de importantes centros astrofísicos nacionales e internacionales. A las instituciones chilenas se agregan el *Space Telescope Science Institute* (Estados Unidos), *Gemini Observatory*, *Carnegie Institution of Washington*, Instituto Astrofísico de Andalucía (España), Universidad de Berkeley (USA), *Ames Research Center NASA* (Estados Unidos), Observatorio Astronómico de La Plata (Argentina), e Instituto de Astrofísica y Geofísica - USP (Brasil). Estas colaboraciones han implicado la visita a la ULS de 17 investigadores de distintos centros, y en forma recíproca los astrónomos de la ULS han sido invitados a esas instituciones. Hay dos propuestas de astrónomos titulares extranjeros para realizar sus sabáticos en la ULS durante el año 2006.

El plan de consolidación de la astrofísica en la ULS tiene el reconocimiento de la comunidad astronómica nacional, siendo actualmente el cuarto grupo de astronomía en Chile, después de la UCh, de la PUCCH y de la UdeC. Este reconocimiento está demostrado por la inversión que el Comité Mixto ESO-Chile ha hecho en este grupo, a través del Anuncio de Oportunidades para el desarrollo de la astronomía en Chile. Este Comité tiene representantes científicos y gubernamentales, los cuales se han manifestado favorables a las propuestas de desarrollo de la ULS durante tres años consecutivos.

En docencia, la Mención Astronomía fue incorporada a la Licenciatura en Física en el año 2001. Una consecuencia del éxito de la Licenciatura en Física con Mención en Astronomía es la calidad de sus estudiantes, quienes han obtenido las Becas de Pasantía para Estudiantes de pre-grado en Centros de Alta Tecnología de la Fundación Andes y becas para asistir a la Escuela de Astrónomos Jóvenes en México de la *International Astronomical Union*. Además, han sido seleccionados para el Programa de Investigación en Astronomía (PIA) del Observatorio de Cerro Tololo y son co-investigadores en proyectos de largo plazo del Observatorio de Cerro Tololo.

5. Instituto de Astronomía de la Universidad Católica del Norte

El Instituto de Astronomía (IA) se encuentra en Antofagasta, inició sus actividades en 1996, y depende de la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica del Norte. Ofrece una Licenciatura en Física con Mención en Astronomía.

Declara como misión “contribuir a través del cultivo de la astronomía y la Astrofísica al conocimiento universal del hombre y la naturaleza, a la formación y perfeccionamiento de profesionales y científicos que el país y en particular el

Norte de Chile necesitan”.

A Junio de 2005 cuenta con 3 académicos. El IA también opera el Observatorio Cerro Armazones, con dos telescopios reflectores de 84 y 41 cm dotados de cámaras CCD. El observatorio fue construido en 1995, y fue financiado con la ayuda del IA, el Instituto de Astronomía de la Universidad de Bochum, CONICYT, ESO, e instituciones privadas chilenas.

6. Universidad de Tarapacá

A Junio de 2005 hay un astrónomo trabajando en el Departamento de Física (Facultad de Ciencias) de la Universidad de Tarapacá.

7. Universidad de Valparaíso

A junio de 2005 hay un astrónomo trabajando en el Departamento de Física y Meteorología (Facultad de Ciencias) de la Universidad de Valparaíso.

8. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación

A junio de 2005 hay un astrónomo trabajando en la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.

9. Instituto Isaac Newton

El Instituto Isaac Newton (INI) cuenta con tres investigadores con base en Chile. El INI no desarrolla labores de docencia y depende del Ministerio de Educación.

VI. Astronomía y sociedad chilena

La astronomía es reconocidamente un área científica atractiva para el público general. Detectamos a los menos cuatro ámbitos de contacto entre astronomía y sociedad chilena: difusión, redes de aficionados, contratación de personal chileno en los observatorios internacionales, y marcos legales⁴.

1. Difusión universitaria: Como en toda ciencia, la difusión universitaria tiene dos funciones. Primero, cumplir con el deber ético del científico de comunicar su quehacer a la comunidad que contribuye a financiar su investigación, y

⁴ Véase también en este volumen Capítulo Transversal de Ciencia y Sociedad, con respecto al periodismo científico.

segundo, atraer a nuevos candidatos a sus programas de pre y post-grado. Siendo astronomía por si misma una ciencia atractiva para el público general, los caminos usados en difusión han sido hasta ahora:

1. Programa EXPLORA de CONICYT: desde su inicio en el año 2000 éste programa ha contado con 21 clases magistrales dictadas por astrónomos a estudiantes de colegios. Además, dentro de sus actividades EXPLORA cuenta con programas de divulgación en conjunto con la ULS y con ESO.
2. Difusión Universitaria: existen escuelas de verano para enseñanza media en el DAS, como así también cursos de astronomía en el programa PENTA UC.
3. Visitas a observatorios universitarios: bs departamentos DAS, DAA y UdeC cuentan con visitas programadas a sus respectivos observatorios. Además, el DAS está llevando a cabo un proyecto de control remoto del telescopio GOTO para uso de estudiantes de colegios.

Además de estas opciones, hay importantes esfuerzos de difusión hechos por los observatorios internacionales. Un ejemplo a resaltar es el programa *StarTeachers* de Gemini de intercambio de profesores de colegio de la cuarta región, quienes pueden visitar las instalaciones de Gemini-Norte (en Hawaii). Otros ejemplos son las Escuelas de Verano de Las Campanas y de Tololo para estudiantes universitarios de pre-grado, visitas guiadas a los observatorios de La Silla y al observatorio de Tololo, y el planetario móvil Gemini-AURA-Tololo.

2. Astronomía amateur. La astronomía amateur puede hacer aportes importantes a la astronomía profesional en fenómenos llamados transientes (supernovas, asteroides, etc). En Chile existen grupos con fines parecidos (además de difusión astronómica), entre los cuales se destacan la Asociación Chilena de Astronomía y Astronáutica (ACHAYA), la Red de Estudiantes de La Serena (REDLASER), y AURIGA, un grupo de estudiantes de la Universidad de Chile. Muchos de estos grupos aparecen agrupados en un sitio *web* llamado "Red Chilena de Astronomía".

En los últimos años se han desarrollado observatorios privados que promueven el astro-turismo, como por ejemplo el Observatorio Mamalluca en la cuarta región. Finalmente, también es pertinente nombrar las siguientes instituciones astronómicas privadas: Observatorio Nicolás Copérnico (Calama), Observatorio Escuela Padre Le Paige (Antofagasta) y Observatorio Escuela Baquedano (Antofagasta). El astro-turismo en Chile se puede convertir en un factor económico importante, como ha ocurrido en otras partes del mundo.

3. Personal técnico chileno en observatorios internacionales con base en Chile. La gestión de un observatorio de gran envergadura requiere la participación de mucho personal especializado y los observatorios internacionales con base en Chile contratan también a técnicos y asistentes

chilenos. La información cuantitativa a este respecto es escasa, pero podemos proveer los siguientes números. En CTIO hay alrededor de 45 profesionales chilenos (Ingenieros eléctricos, mecánicos, ópticos, programadores, asistentes de investigación y nocturnos, y paramédicos). En OCIW encontramos unos 23, y el número es de 59 en el caso de La Silla.

En cuanto a contratación de personal no especializado, ya sea directamente o vía concesiones, hay que mencionar que la presencia de los observatorios tiene un impacto regional importante.

Finalmente, es necesario destacar que la mayoría de estos observatorios han optado por un sistema de observación remota, en que astrónomos o asistentes técnicos del personal local ejecutan las observaciones. En la mayoría de los puestos de asistentes técnicos se ha optado por personal chileno (incluido en los números anteriores), pero sólo un número muy reducido de astrónomos chilenos con doctorado trabaja hoy para estas instituciones.

4. Ley de protección de contaminación lumínica Desde hace muy poco tiempo, se ha establecido una norma para la regulación de la contaminación lumínica cerca de los observatorios internacionales. Ésta compete tanto a ciudades como a centros mineros (D.S. N° 686/98 del Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción). En el sitio *web* de la Corporación Nacional de Medio Ambiente se lee: “Considerando que los cielos de las regiones II, III y IV de nuestro país constituyen un valioso patrimonio ambiental y cultural para desarrollar la actividad de observación astronómica, es que se establece esta norma, la cual fue publicada en el Diario Oficial el 02 de Agosto de 1999.”

El trabajo conjunto entre la CONAMA y los observatorios internacionales ha conducido al cambio de luminarias públicas en varias ciudades de la cuarta región, con el fin de disminuir la contaminación lumínica y ahorrar energía eléctrica. Esta ley, que también considera posible contaminación en frecuencias de radio, es una de las más modernas del mundo.

VII. Recursos humanos y temas científicos

En este capítulo describimos la comunidad astronómica en instituciones chilenas. Los datos gruesos sobre personal fueron entregados por las mismas instituciones o provienen de las páginas *web* de los respectivos departamentos (a Junio de 2005). Los datos individuales fueron gentilmente proporcionados por cada investigador que completó nuestra encuesta electrónica entre Mayo y Junio de 2005.

1. La comunidad

La comunidad astronómica nacional está actualmente constituida por los 42 investigadores listados en el Directorio, a los que se agregan 19 post-doctorantes y tres investigadores asociados al INI, con lo cual se cuenta un total de 64 investigadores. Los 42 miembros del Directorio están asociados a ocho universidades, 3 en Santiago y 5 en regiones. Hay dos investigadores en el Directorio que, aunque se encuentran trabajando en investigación, están jubilados y uno que se encuentra en calidad de adjunto. Por lo tanto, el número de investigadores asociados a las academias en jornada completa o parcial es de 39 personas. En comparación, en 1995 había sólo 22 académicos en esta situación. Para estos 39 académicos el año promedio de obtención del Ph.D. es de 1990.0, lo cual revela una comunidad de gente joven.

Las instituciones donde el total de investigadores realizó un post-grado en astronomía son diversas: 21 son europeas, 20 norteamericanas, 12 sudamericanas, y de estas últimas, 4 chilenas. Contando sólo a la población de académicos, las instituciones donde éstos realizaron su pre-grado son en un 40% extranjeras. Los porcentajes de personal académico con formación de pre-grado en el instituto donde actualmente trabaja son los siguientes: UCh: 100%, PUCCH: 20%, y 0 % en UdeC, ULS, y UCN.

El desarrollo a través del tiempo del personal académico chileno se muestra en el gráfico 1.

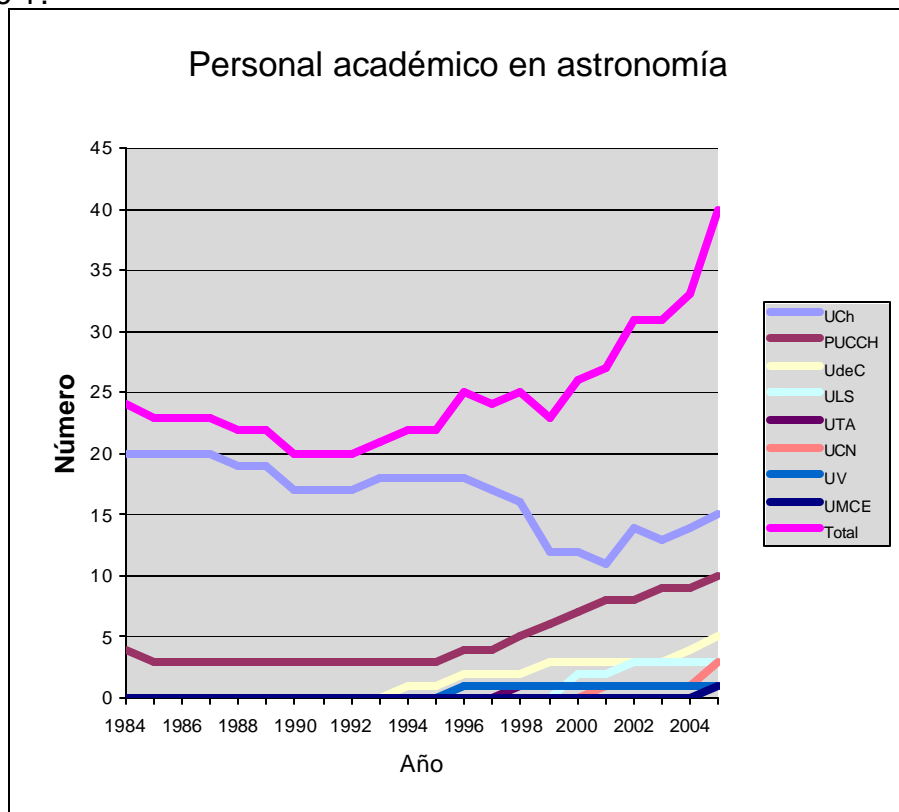


Gráfico 1

El desglose de personal en los cinco departamentos de astronomía más numerosos se muestra en el gráfico 2. En el ítem “estudiantes” sólo se incluyeron alumnos de post-grado. En el ítem “funcionarios” se incluyó a personal calificado (técnicos, bibliotecarias, secretarias, etc).

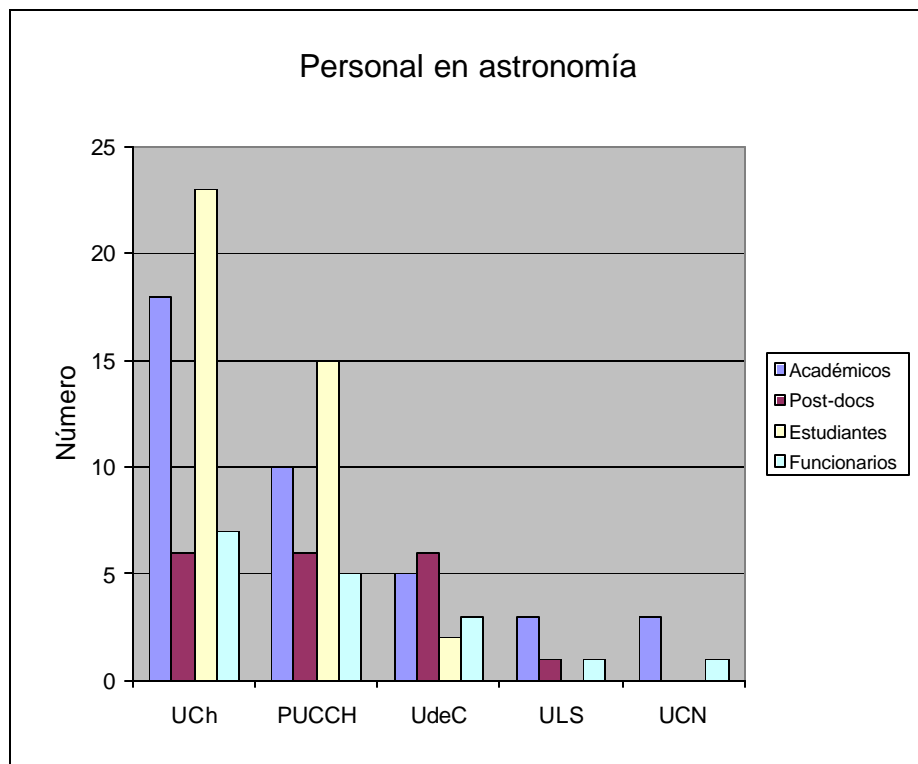


Gráfico 2

En relación a post-doctorantes es importante señalar que (1) sólo dos fueron formados en instituciones chilenas; (2) post-doctorantes de ESO pueden pasar el último año de su contrato en instituciones chilenas.

En cuanto a estudiantes, hay 40 alumnos actualmente en programas de post-grado (18 de ellos en programas de doctorado), número muy superior a los 5 estudiantes de post-grado señalados en el Estudio de 1993. Además de éstos, hay más de 20 alumnos egresados de universidades chilenas que al 2005 se están doctorando en el extranjero.

Como conclusión, podemos decir que la comunidad de astrónomos en instituciones chilenas tiene tres características importantes: (1) constituye sólo el 2% de la comunidad científica nacional según el Directorio que se edita con

este volumen; (2) tiene casi en su totalidad formación de post-grado en el extranjero; (3) es relativamente joven.

2. Áreas de investigación

La distribución temática de investigadores chilenos es como sigue. De 64 astrónomos en instituciones chilenas, 28 (44%) trabajan en astronomía extragaláctica y 36 (56%) en astronomía Galáctica y estelar⁵. Hay algunos investigadores trabajando en ambas áreas que para este efecto fueron incluidos en sólo una de ellas. Del mismo total, contamos a cinco (8%) investigadores que se declaran teóricos, siendo el resto observacionales.

Usando el desglose por temas que usa la *American Astronomical Society* (AAS) en sus publicaciones, el número de investigadores en cada tema es el siguiente (con varios investigadores en más de un tema):

1. Datos y procesos físicos (7 investigadores)
2. Instrumentación astronómica, métodos y técnicas (2)
3. Bases de datos (0)
4. Astrometría y mecánica celeste (3)
5. El sol (1)
6. Sistema solar (2)
7. Estrellas (20)
8. Medio interestelar(8)
9. La Galaxia(11)
10. Galaxias (19)
11. Cosmología (10)
12. Fuentes según su longitud de onda (4)

Así, la comunidad astronómica chilena es marcadamente observacional. Además, se observan tres grandes concentraciones temáticas: en formación estelar, en estructura de la Galaxia, y en galaxias y cosmología. La investigación en instrumentación astronómica está tomando un nuevo impulso.

3. Algunos logros recientes de la astronomía chilena

Durante la década pasada ha habido un número importante de contribuciones en el área de la astronomía y astrofísica realizada por investigadores nacionales. Algunas de estas contribuciones (con publicaciones en *Nature* o *Science*) han tenido repercusión mundial por los cambios que han significado en nuestra visión del Universo.

A muy grandes rasgos, podemos resaltar: (a) la medición de la tasa de

⁵ Esta separación, sin embargo, tiene sesgos evidentes, ya que áreas de investigación como Cosmología tienen objetos de estudio tanto Galácticos como extra-galácticos.

expansión del Universo por medio de observaciones de supernovas de tipo Ia. Objetos de este tipo fueron descubiertos, monitoreados y analizados por astrónomos chilenos (Hamuy, Maza, et al.). Logros en esta área, usando estrellas cefeidas, han sido obtenidos también por otros grupos (Gieren et al.). (b) Descubrimiento de un halo caliente en la nube grande de Magallanes (Minniti et al.), resultado que sugiere que galaxias masivas como la nuestra y galaxias pequeñas como las Nubes de Magallanes comparten un proceso de formación similar, en contraposición a lo pensado hasta entonces.

El impacto de la producción astronómica chilena también ha tenido repercusión en el país, y en la década pasada se otorgaron Premios Nacionales de Ciencias Exactas a dos astrónomos, M. T. Ruiz y J. Maza. Asimismo, el astrónomo G. Garay ha sido nominado para la versión 2005 de este Premio.

4. Sociedad Chilena de astronomía.

La Sociedad Chilena de Astronomía (SOCHIAS) se fundó en el año 2000 y su primera directiva fue encabezada por L. Bronfman (Presidente) y L. Infante (Primer Vice-Presidente y gestor). La SOCHIAS cuenta a la fecha con 54 miembros. La SOCHIAS organiza reuniones científicas anuales, otorga becas de asistencia a alumnos de astronomía, y publica anualmente una *newsletter*.

VIII Productividad bibliográfica e impacto

En este capítulo describimos productividad bibliográfica e impacto de la comunidad astronómica nacional. Los datos fueron obtenidos del *NASA Astrophysics Data System (ADS)*. El ADS se declara completo a un nivel de 98%. Las siguientes estadísticas se refieren exclusivamente a miembros de la comunidad chilena y no a astrónomos de los observatorios internacionales con base en Chile.

Los 64 investigadores que a Junio de 2005 se encuentran en instituciones chilenas cuentan hasta esa fecha con un total de 5333 publicaciones, de las cuales 2666 fueron sometidas a referato. Considerando sólo a los 42 (66%) investigadores listados en el Directorio, las cifras son de 3847 (72%) y 1855 (70%), respectivamente.

La productividad de los 42 investigadores del Directorio en el último quinquenio (2000-2004) fue de 649 artículos bajo referato, es decir, 15.45 artículos por investigador. La distribución por investigador se puede ver en el gráfico 3. Ésta tiene una dispersión de 12.7 y valores extremos de 2 y 68. Así, en promedio para este quinquenio se observa una productividad de 3.09 artículos bajo referato por investigador por año. Este último indicador se calcula igual a 0.7 hace 20 años, usando datos del Estudio de 1993.

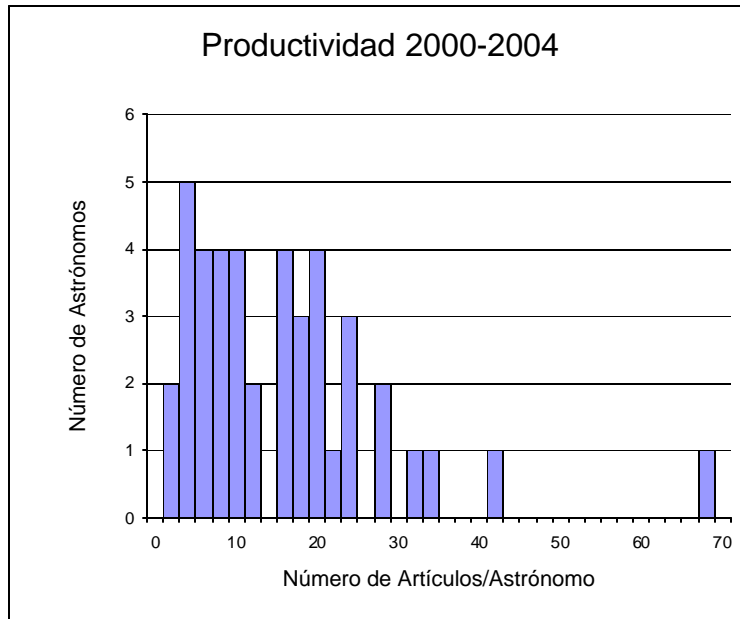


Gráfico 3

Con el fin de efectuar una comparación con la productividad de otras instituciones se seleccionaron aleatoriamente 5 investigadores de cada una de las universidades de Harvard, Princeton, Oxford, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Nacional de la Plata en Argentina (UNLP), e Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas de la Universidad en Sao Paulo, Brasil (IAG). Dentro de Europa y los Estados Unidos, Harvard, Princeton y Oxford son reconocidos centros astronómicos de excelencia en cuanto a productividad e impacto bibliográfico. Así mismo, los tres institutos latinoamericanos se cuentan entre los más grandes de la región.

Después de efectuar el mismo análisis a estos investigadores y obtener su producción promedio, se puede hacer el ranking mostrado en la tabla 1.

Tabla 1 Productividad en Astronomía 2000-2004

Institución (o país)	Artículos/Astrónomo (2000-2004)
Princeton	50.8
Harvard	28.4
Oxford	25.2
Chile	15.5
UNAM	13.2
UNLP	11.6
IAG	10.2

Los astrónomos chilenos en promedio lideran en la región en cuanto a productividad, y se comparan a algunos de sus pares en los más importantes centros norteamericanos y europeos. Según el estudio por Abt (1990) sobre producción bibliográfica de astrónomos miembros de la AAS en el quinquenio 1984-88, el promedio aquí obtenido para Princeton corresponde al 7% más productivo de toda la comunidad de la AAS en aquél período y para Harvard al 18%, en tanto que el número obtenido para Chile corresponde al 55% más productivo.

Impacto bibliográfico:

Medimos el impacto bibliográfico por medio del número de citas a Junio de 2005. No hemos considerado el índice de impacto individual de cada revista, ni el tamaño de las comunidades en cada área de investigación.

La comunidad de 64 investigadores cuenta hasta Junio del año 2005 con 52.655 citas bibliográficas a sus trabajos, de las cuales 41.664 (79%) corresponden a trabajos de los 42 (66%) investigadores del Directorio.

Considerando los 649 artículos publicados bajo referato en el último quinquenio (2000-2004) por los 42 investigadores mencionados, se observa un promedio de 12.9 citas por artículo⁶. La distribución se puede ver en el gráfico 4. Hay un rango amplio, desde investigadores con 54.3 citas por artículo publicados bajo referato en el último quinquenio hasta investigadores con un índice de 1.

⁶ Valor promedio de los índices por autor. Si se toma el total de citas a trabajos sometidos a referato, el índice resultante es de 15.2 citas por artículo (número similar al obtenido en el Capítulo Transversal de Publicaciones y Patentes). Sin embargo, éste último cálculo está más afecto a aquellos artículos con un número extremo de citas.

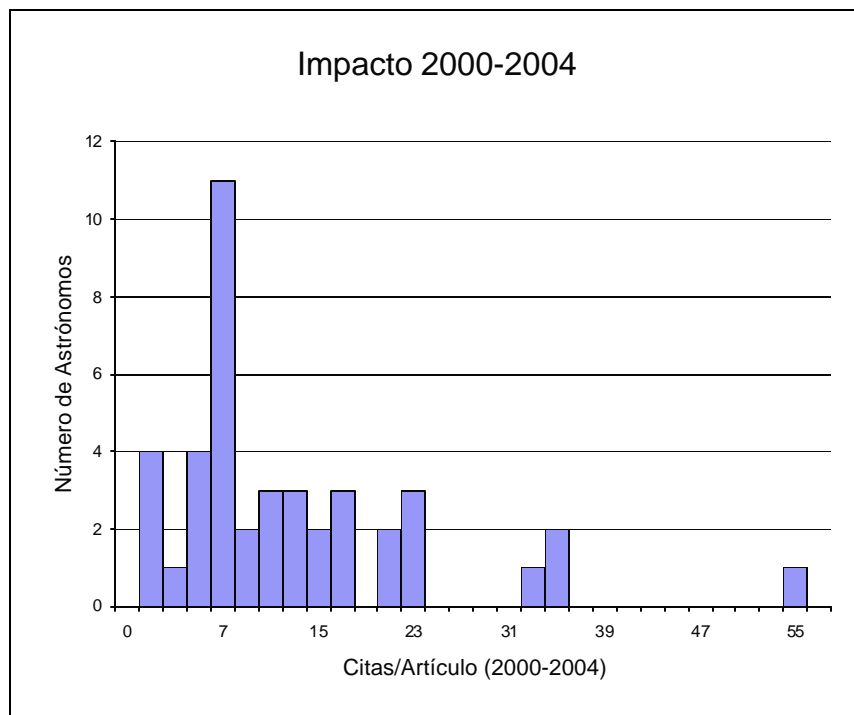


Gráfico 4

En comparación con Harvard, Princeton, Oxford, UNAM, UNLP e IAG, se obtiene el ranking mostrado en la tabla 2.

Tabla 2 Impacto en Astronomía 2000-2004

Institución (o país)	Citas/artículo (2000-2004)
Princeton	36.7
Harvard	28.1
Oxford	26.3
Chile	12.9
IAG	8.0
UNAM	7.9
UNLP	7.3

El índice de impacto de los artículos chilenos es menor que los de Princeton, Harvard y Oxford –probablemente entre los más altos del mundo-, y superior a aquellos de las tres instituciones latinoamericanas elegidas, los que se aprecian muy parecidos entre sí.

En resumen, la productividad científica de los astrónomos chilenos aparece un 32% superior al promedio de la UNAM, UNLP e IAG (15.5 versus promedio de 11.7 artículos bajo referato por autor en el quinquenio). Sin embargo, esta mayor productividad no se logra a expensas de la calidad pues en lo que a impacto se refiere la astronomía nacional supera al promedio de las tres instituciones latinoamericanas en un 68% (12.9 versus promedio de 7.7 citas por artículo en el quinquenio).

IX. Fuentes de financiamiento

En este capítulo describimos las principales fuentes actuales de financiamiento de la astronomía chilena⁷. Por orden de envergadura éstas son las siguientes.

Universidades. Las universidades son la principal fuente de apoyo a la investigación en astronomía y constituyen el cimiento donde ésta se elabora. Los sueldos de los investigadores son sufragados mayoritariamente del presupuesto regular de los distintos departamentos de astronomía. *Sólo gracias a que las universidades están dispuestas a dar contratos con permanencia para investigadores del área es que la astronomía nacional se ha desarrollado.* Fuentes adicionales de financiamiento tienen efecto en promover el desarrollo gracias a que las universidades han hecho una inversión de base que ha durado por muchos años. Aunque es difícil estimar exactamente los montos involucrados, constatamos que la inversión anual en astronomía del sistema universitario bordea los mil millones de pesos (posiblemente entre 1000 y 1.200 millones); en forma tentativa hemos considerado este aporte en US \$ 2 millones anuales.

FONDAP. El Centro FONDAP de Astrofísica es uno de los Centros de Excelencia del Programa Fondo de Investigación Avanzado en Áreas Prioritarias (FONDAP). El Centro opera desde el año 2002 en el DAS de la Universidad de Chile, y en dos organizaciones asociadas, el DAA de la Universidad Católica y el Departamento de Física de la Universidad de Concepción. Las áreas de investigación están descritas en Bronfman (2002). De la página *web* del Centro se lee que declara como su misión la de “cimentar las bases para el desarrollo de la astrofísica en el siglo XXI a través de la investigación de sus miembros y de la educación de las nuevas generaciones de astrónomos”. Es evidente que el Centro de Astrofísica ya ha comenzado a tener un gran impacto en la astronomía chilena al estar produciendo ciencia de primer nivel, como lo demuestran sus estadísticas. El presupuesto anual del Centro bordea un millón de dólares anuales.

⁷ A Junio de 2005. Además, para un análisis más global ver Capítulo Transversal de Financiamiento.

Comité Mixto ESO-Chile. De acuerdo a lo establecido en un Tratado Internacional entre el Gobierno de Chile y ESO aprobado por el Congreso Nacional en 1996, ESO estableció un monto anual para el desarrollo de la astronomía en Chile. Tales fondos apoyan diversos aspectos del desarrollo de la astronomía chilena incluyendo la divulgación y áreas de ingeniería relacionadas con la astronomía. El monto bordea los US \$ 350.000 anuales.

Fondos ALMA. El consorcio ALMA ha comenzado a proveer fondos a la astronomía chilena para “apoyar su desarrollo y prepararla para la utilización plena del radiotelescopio ALMA”. El monto anual de tales fondos bordea los US \$ 350.000.

Fundación Andes. La Fundación Andes ha provisto fondos que bordean los US \$ 400.000 anuales para fomentar la astronomía nacional. Aquí se destacan la ayuda a la creación y desarrollo del Programa de Doctorado entre la Universidad de Chile y la Universidad de Yale, y la ayuda a la creación y desarrollo del Programa de Colaboración entre la Universidad Católica y las universidades de Princeton y de Johns Hopkins.

FONDECYT. El Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDECYT, fue creado en 1981, inaugurando la modalidad de fondos concursables introducida por el Estado Chileno para la asignación de recursos en ciencias y tecnología. Para astronomía, estos fondos ha sido el sustento primordial de recursos externos no institucionales en las dos décadas previas al inicio del FONDAPE. Según la base de datos de FONDECYT, recursos a 152 proyectos han sido otorgados en el Área de Astronomía desde 1982. De éstos, 124 corresponden a proyectos llamados regulares, siendo el resto proyectos de post-doctorado (7), de incentivo a la cooperación internacional (11), y otros (líneas complementarias y doctorado). El desglose por instituciones del investigador responsable es UCh: 91 (60%); PUCCH: 51 (33%); UdeC: 8 (5%); ULS: 2 (1%). El gráfico 5 muestra la historia de proyectos FONDECYT otorgados al Área de Astronomía. Tomando un promedio de seis proyectos por año y US \$ 20.000 por proyecto, se determina un aporte anual de FONDECYT a la astronomía de unos US \$ 120.000.

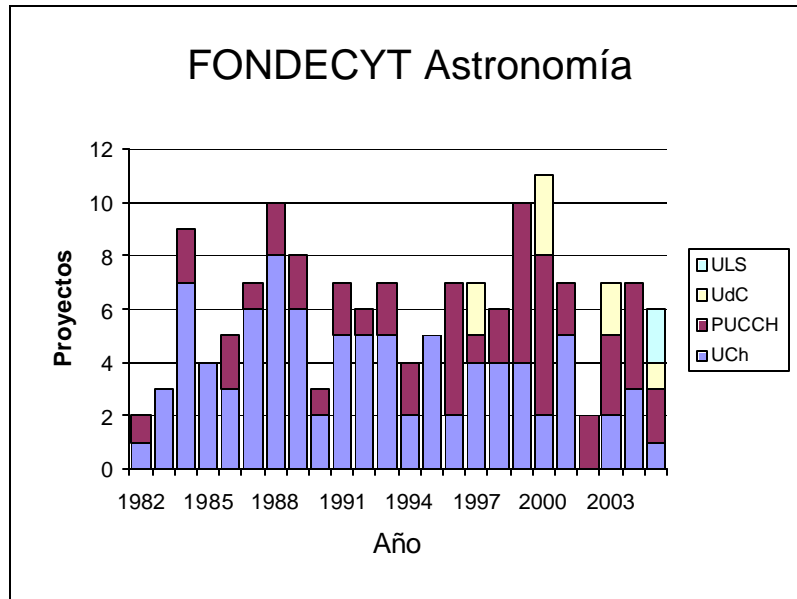


Gráfico 5

MECESUP. El DAS de la Universidad de Chile cuenta con un Programa MECESUP de apoyo al Doctorado en Astronomía desde de Marzo del año 2002 y por un periodo inicial de tres años. El objetivo de estos fondos es principalmente el establecimiento de becas concursables a estudiantes de doctorado, y el financiamiento de elementos de apoyo al programa tales como la compra de material bibliográfico y computadores para los estudiantes, el apoyo de profesores visitantes para dictar mini-cursos especializados, y la contratación de nuevos académicos. El monto aproximado de los fondos se acerca a los US \$ 100.000 anuales.

ALFA. El programa de cooperación entre institutos de educación superior de América Latina y Europa ALFA está financiando el proyecto *Latin-american European Network for Astrophysics and Cosmology* (LENAC). Durante su primer año de funcionamiento (de tres) nueve estudiantes y post-doctorantes chilenos de la Universidad Católica han realizado pasantías de 3 a 12 meses en diversas universidades extranjeras. El monto anual aproximado es de US \$ 50.000.

Fondos para el Instituto Isaac Newton. Como ya se mencionó, el INI depende del Ministerio de Educación por lo que recibe fondos directamente del Estado. En su página *web* el instituto señala tener más de 300 miembros de países de Europa del Este y declara como misión "dar una compensación económica a científicos que han vivido bajo circunstancias difíciles". El monto anual asignado por el Estado chileno al INI es de aproximadamente US \$ 100.000.⁸

⁸ Notemos que dada la declaración del INI, tales fondos constituyen más una colaboración internacional que una contribución directa al desarrollo científico nacional.

Tiempo de telescopio. La producción astronómica chilena está basada en el uso de los telescopios internacionales. El equivalente en dinero de este recurso se puede estimar de los costos operacionales de los observatorios, que para un telescopio del tipo “8 metros” puede bordear los US \$ 40.000. Considerando el 10% de tiempo de telescopio, y sumando el conjunto de telescopios en el país, se llega a una cifra cercana a los US \$ 10 millones al año que la astronomía chilena recibe como subsidio de los observatorios. Tal cifra supera con creces la suma de todas las fuentes de dinero “real” nacionales; los recursos que el país gasta en astronomía son menos de la mitad de lo que recibe por el 10% de tiempo de telescopio.

La tabla 3 resume los montos mencionados en este capítulo .

Tabla 3 Fuentes de Financiamiento 2005 de la Astronomía Chilena

Fuente	US \$ / año	%
Universidades	2.000.000	45.8
FONDAP	1.000.000	22.9
Comité ESO-Chile	350.000	8.0
Comité ALMA	350.000	8.0
Fundación Andes	400.000	9.2
FONDECYT	120.000	2.7
MECESUP	100.000	2.3
ALFA	50.000	1.1
Suma	4.370.000	100.0

Si se deja de lado el tiempo de telescopio (que no es en dinero “fresco” para la ciencia chilena) *el aporte más importante a la astronomía proviene de las universidades.* Si bien FONDAP y FONDECYT son muy importantes, su relevancia se hace notar como complemento a una actividad permanente que hasta ahora han realizado las universidades. Si el apoyo a la ciencia continuase exclusivamente por vía de financiar proyectos individuales en desmedro del aporte fiscal a las universidades, tal política socavaría las bases de un desarrollo sustentable. Por lo tanto, parece fundamental que el estado siga apoyando a las universidades para poder desarrollar nuevos grupos de investigación en astrofísica a lo largo del país

X. Conclusiones

A la luz del análisis mostrado, nuestras conclusiones son las siguientes.

1. La comunidad astronómica chilena al año 2005 está concentrada en universidades, es aún pequeña (2% de la comunidad científica nacional), pero es también joven y activa. Los académicos representan 2/3 de esta comunidad, tienen un promedio de doctorado de 15 años al 2005 y demuestran estar científicamente activos dada su buena productividad. En consecuencia, existen en Chile recursos humanos idóneos para la formación de nuevas generaciones de astrónomos.
2. La producción bibliográfica de los astrónomos chilenos⁹ es superior a sus pares de la región latinoamericana y cercana a la media norteamericana de hace dos décadas. A su vez, el impacto de la astronomía nacional⁹ está en un mejor pie que cualquier otro país de la región. En comparación a dos décadas atrás, el número de publicaciones se ha octuplicado, mientras el número de investigadores se ha duplicado.
3. El hecho que la astronomía aparezca mejor posicionada que otras áreas científicas en Chile es consecuencia directa del acceso de la comunidad chilena a los instrumentos de última generación en los observatorios internacionales. Estos recursos equivalen a más del doble del total de fondos nacionales disponibles para la actividad. Sin embargo, el uso adecuado de los recursos internacionales sólo ha sido posible gracias al apoyo sostenido de las universidades.
4. Existen importantes esfuerzos por crear y desarrollar programas de doctorado y se nota un interés creciente de los jóvenes por estudiar astronomía (hay 8 veces más estudiantes de post-grado que una década atrás). Existen también algunos intentos por impulsar desarrollo tecnológico asociado a instrumentación astronómica.

XI. Proyecciones

La astronomía chilena podría convertirse en la primera ciencia nacional en alcanzar estándares de país desarrollado. La inserción científica mundial -aún en ciencias básicas- de un país emergente como Chile potencia su propio desarrollo, pues va acompañada de nuevas inversiones y desarrollo tecnológico y humano. Es ya tradicional que estudios internacionales sobre ciencia chilena destaquen a la astronomía como la mejor posicionada a nivel nacional (e.g., Kaiser 1995) pero también que muestren preocupación por las falencias

⁹ Sin contar al personal de los centros astronómico internacionales con base en Chile.

nacionales en el ámbito tecnológico (e.g., Queisser, 2004).

Para lograr este objetivo en astronomía, el acceso chileno asegurado a la infraestructura en telescopios en territorio nacional permite concentrar esfuerzos en sólo dos grandes temas: (1) colaboración inter-institucional y (2) formación y absorción de recursos humanos. Nuestro estudio demuestra que la comunidad astronómica nacional ya cuenta con la capacidad correspondiente en estos dos ámbitos, por lo que es en estas áreas donde se deben concentrar esfuerzos de inversión.

1. Colaboración

La Sesión de Astronomía en el marco del encuentro Chile-Ciencia 2000 (Rubio, 2003) arrojó como acción deseable para consolidar la astronomía nacional “la creación de un Instituto de Astronomía” que funcionaría al alero de los Departamentos ya existentes, y cuyo principal objetivo sería la incorporación de nuevos recursos humanos. Claramente, tal institución se ha plasmado en el hoy exitoso Centro FONDAP de Astrofísica. Es muy interesante que la primera misión del Centro se declare como “transformar la astrofísica chilena de esfuerzos individuales a una misión coordinada de colaboraciones en ciencia y educación” (Bronfman 2002).

En efecto, en gran medida el desarrollo de la astronomía en Chile durante la última década se ha potenciado gracias al ambiente de colaboración entre astrónomos de distintas universidades, y al apoyo que estos han recibido de sus instituciones, de instituciones del estado, de instituciones privadas y de los observatorios astronómicos. Esto ha posibilitado iniciativas comunes como por ejemplo la creación de la SOCHIAS y la creación del Centro FONDAP de Astrofísica. En cuanto a educación, hemos demostrado aquí que la comunidad cuenta con la capacidad de formar nuevos astrónomos: es joven, está bien educada y es activa en investigación.

2. Recursos humanos

En el estudio de 1993 se establece como deseable que Chile incremente el número de astrónomos para acercarse a la relación (bien establecida) de 5 a 10 astrónomos por millón de habitantes con que cuentan países más desarrollados. A tal fecha, Chile contaba con unos 2 astrónomos por millón de habitantes. Al 2005, esta cifra se ha duplicado. Sin embargo, el número puede y debe incrementarse aún más.

Con más astrónomos, los factores de presión sobre el uso chileno de tiempo de telescopio se incrementarían, haciendo la competencia por tiempo de telescopio aún más saludable. Ciertamente el gran acceso a este recurso fomenta colaboraciones internacionales que a la vez ayudan al desarrollo de la astronomía chilena. No obstante, también es esperable que nuevos grupos nacionales se creen y potencien. En países desarrollados, varios estudios han

demostrado una relación proporcional entre número de astrónomos y productividad e impacto (Abt 2000; Sánchez 2004)

En Chile, los recursos humanos -a lo largo de toda la escala de formación- ya están potencialmente a disposición: hay un interés creciente de jóvenes por estudiar astronomía, hay ocho veces más estudiantes de post-grado en Chile que hace 10 años, y hay una cantidad de estudiantes de doctorado y post-doctorantes chilenos en el extranjero que es comparable en número a todos los investigadores en instituciones chilenas. *Junto al acceso a 10% del tiempo de telescopio, es éste el mayor capital para el desarrollo de la astronomía en Chile.*

El número de becas chilenas de postgrado ha sido relativamente modesto en la última década, principalmente debido a lo joven de los programas. Sin embargo, el aumento en el número y calidad de estudiantes necesitará de un número cada vez más importante de becas. Hasta ahora el proyecto MECESUP ha sido fundamental en este ámbito y es importante que apoyos de este tipo sean sostenidos en el tiempo y se extiendan a otras universidades.

Creemos que el aprovechamiento de estos recursos sólo ha sido posible gracias a las universidades que ofrecen puestos permanentes a astrónomos y son capaces de proveer contrapartes locales a fondos internacionales.

No está claro si las actuales universidades con departamentos y grupos de astronomía podrán o no absorber el número creciente de astrónomos nacionales con doctorados recientes que buscarán plazas en el país. En países de la región (Argentina, México y Brasil), los volúmenes de recursos humanos en astronomía superan por lo menos en un factor 3 a los de Chile, tanto en número de investigadores como en cantidad de institutos. Aquellos se han diversificado, saliendo de las universidades tradicionales. Quizás sea éste un camino a seguir por Chile también, y surjan nuevos institutos, por ejemplo al alero de universidades privadas.

Para terminar, una nota sobre desarrollo tecnológico. Alcanzar estándares desarrollados en una ciencia básica va de la mano de desarrollo humano y tecnológico. Detrás de cada astrónomo chileno activo hay ingenieros, técnicos y personal de apoyo trabajando. Incluso quizás no sea una quimera hacer un aporte tecnológico nacional en desarrollo y mantenimiento de instrumentación astronómica, un ámbito donde Chile no ha participado hasta ahora.

XII Referencias

Abt, H., 1990, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, **102**, 1161

Abt, H., 2000, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **112**, 1417

Bronfman, L., 2002, *The Messenger*, **107**, 14

Gutiérrez, A., Campusano, L. E., & Maza, J., 1993, en *Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena*, editores: Jorge E. Allende & Tito Ureta

Kaiser, J., 1995, *Science*, **267**, 808

Rubio, M. 2003, en *Chile-Ciencia 2000, un encuentro histórico*, editor: Tito Ureta

Sánchez, S. F. & Benn, C. R., 2004, *Astronomische Nachrichten*, **325**, 445

Queisser, H. J., 2004, *Comments on Chilean Science*, en *Observations from the Millennium Science Initiative* <http://www.mideplan.cl/milenio/ingles/articulos.htm>