

**Informe sobre el estado de
la investigación en
Astronomía en España
(1999-2001)**

Octubre de 2002

Autores:

Xavier Barcons, Profesor de investigación del CSIC
Instituto de Física de Cantabria (CSIC-Univ. de Cantabria)

Rosa María Domínguez Tenreiro, Catedrática de Universidad
Departamento de Física Teórica, Universidad Autónoma de Madrid

Manuel López Puertas, Investigador científico del CSIC
Instituto de Astrofísica de Andalucía, CSIC

Pere L. Pallé, Coordinador de investigación
Instituto de Astrofísica de Canarias

Josep Maria Paredes, Profesor Titular de Universidad
Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona

Ismael Pérez Fournon, Profesor Titular de Universidad
Instituto de Astrofísica de Canarias y
Departamento de Astrofísica, Universidad de La Laguna

Índice

Prefacio y agradecimientos	4
1. Introducción	6
1.1 Ámbito del estudio	6
1.2 Objetivos del estudio	6
2. Recogida de datos	8
2.1 Encuesta a los investigadores	8
2.2 Recogida de datos sobre centros	10
2.3 Datos sobre publicaciones	12
3. Demografía científica	14
3.1 Temas de investigación	14
3.2 Herramientas	16
3.3 Utilización de recursos observacionales	17
4. Actividades de los centros y los investigadores	19
4.1 Personal y su evolución	19
4.2 Personal por centros	21
4.3 Infraestructuras en los centros	22
4.4 Financiación	22
4.5 Formación de investigadores	23
4.6 Participación en proyectos de instrumentación	24
4.7 Acceso a grandes instalaciones sin pre-asignación de tiempo	25
5. Producción científica (publicaciones)	27
5.1 ¿En qué revistas se publica?	27
5.2 Citas	29
5.3 Publicaciones por investigador y por centro	32
6. Necesidades, según los investigadores	34
7. Conclusiones	37

Prefacio y agradecimientos

Este documento recoge los resultados de un estudio sobre el estado de la investigación astronómica en los centros del sistema español de investigación y desarrollo, en lo referente al trienio 1999-2001. Su objetivo es conocer y dar a conocer la situación real de las actividades investigadoras de una disciplina que se ha desarrollado espectacularmente en los últimos decenios en España.

Los nuevos retos que se plantean en todo el mundo alrededor de la Astronomía, particularmente con la puesta a punto generalizada de grandes observatorios en todas las bandas del espectro, son motivación más que suficiente para examinar el potencial que existe en España para afrontar estos retos en todas sus facetas. Esta necesidad se ve acrecentada en el caso de España por el desarrollo de grandes instalaciones astronómicas como el Gran Telescopio Canarias, el Radiotelescopio de 40 metros de Yebes, la participación en el Atacama Large Millimetre Array (ALMA) o la, todavía no concretada, entrada de España en el Observatorio Europeo Austral (ESO). En un contexto tan competitivo como el que se desarrollan todas las actividades relacionadas con la Astronomía (acceso a grandes instalaciones, publicación de resultados en revistas científicas, desarrollo de instrumentación) es imprescindible conocer también la situación de nuestra potencialidad relativa a la de otros países de nuestro entorno.

El estudio hace referencia principalmente a un trienio (1999-2001), lapso de tiempo probablemente suficiente para que las fluctuaciones propias en todo tipo de actividades hayan quedado bien muestradas, y a la vez la evolución de las mismas no haya sido muy significativa.

Este estudio recoge una serie de datos que han sido analizados por los autores del mismo y cuyos resultados se presentan a lo largo de este documento. Al final del mismo se recoge, a modo de conclusiones, el "diagnóstico" que a juicio de los autores emerge de este análisis. Aunque en dichas conclusiones se recogen o plantean algunas sugerencias que emergen de forma obvia de los resultados, no corresponde al presente estudio el sugerir medidas o actuaciones concretas.

Este estudio se ha realizado a iniciativa de la Sociedad Española de Astronomía (SEA). A mediados de 2001 su presidente, Prof. Eduard Salvador, sugirió al coordinador de este estudio la realización del mismo. El coordinador eligió, solicitó y obtuvo la colaboración en esta empresa del resto del equipo investigador. La financiación de este estudio ha corrido a cargo del Ministerio de Ciencia y Tecnología, a través de la Acción Especial AYA2001-4366-E del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica.

Han sido muchas las personas y entidades sin las que este estudio no se hubiera podido llevar a cabo, al menos en su forma actual. En primer lugar la Junta Directiva de la Sociedad Española de Astronomía por impulsar y apoyar en todo momento su realización. Muy especialmente la gestión de su Tesorero, Prof. Javier Gorgas, posibilitó la contratación de una persona para diseñar y gestionar la base de datos en que está apoyada este informe.

En segundo lugar, agradecer al Ministerio de Ciencia y Tecnología la concesión de la Acción Especial. Muy especialmente es de agradecer el apoyo y ayuda generosa del Dr. Rafael Rodrigo, gestor del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica. Gracias a

su eficiente actuación el presente estudio cuenta con datos fiables sobre los proyectos financiados por dicho Programa en sus 3 años de vida (2000, 2001 y 2002). Además el Dr. Rodrigo, en su calidad de antiguo gestor del Plan Nacional de Investigación Espacial hasta 1999, también nos ha proporcionado los datos sobre dicho programa en ese año. Lamentablemente no se dispone de los datos del Plan Nacional del Espacio durante los años 2000 y 2001.

En el procesado de los datos que se han recogido para la elaboración de este informe ha tenido un papel destacado la Dra. Maite Ceballos quien, fuera de su dedicación a otro proyecto, ha desarrollado una aplicación específica para tratar los datos de la encuesta a los investigadores. Ludolfo Caiña, contratado con cargo a la Acción Especial, ha realizado una labor más allá de lo esperable en el diseño, confección y relleno de la base de datos. La Dra. Pilar Monterde diseñó la página web con la encuesta. A todos ellos muchas gracias por su soporte y comentarios a varias partes del estudio.

Para poder comparar los resultados de este informe con los de otros países ha sido preciso que varias personas nos hicieran llegar documentos y referencias. Entre ellos la Prof. S. Jocelyn Bell-Bunell, presidenta de la Royal Astronomical Society; la Prof. Catherine Pilachowski, presidenta de la American Astronomical Society; la Prof. Françoise Combès, presidenta de la Société Française d'Astronomie et Astrophysique y el Dr. Richard Leroy de la misma sociedad.

Hay también una larga lista de personas cuyas contribuciones aparentemente colaterales, han servido para pulir distintos aspectos del estudio. Entre ellos Luis Corral (Instituto de Astrofísica de Canarias IAC) por compartir con nosotros su experiencia con datos de ISI; Iñigo Flórez (Universidad de Cantabria UC), Carmen del Puerto (IAC) y Antonia Cortés (Universidad de Castilla-La Mancha) por su ayuda en la relación con los medios de comunicación; Isabel Tejerina (UC) por su asesoramiento lingüístico con la "Demografía científica"; Pilar Navalón de la Biblioteca de la UC por su ayuda con la bibliometría y acceso a bases de datos; Francisco y a Miguel Carrera por su ayuda con los datos demográficos.

Finalmente, pero no menos importante, agradecer a los investigadores que rellenan la encuesta y a los directores de centros y sus colaboradores que nos enviaron los datos sin los que este estudio no se hubiera podido realizar.

1. Introducción

1.1 Ámbito del estudio

Los datos del presente estudio se refieren únicamente a las actividades de los centros del sistema de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) españoles y de sus investigadores. Se incluyen por tanto centros y departamentos universitarios así como organismos públicos de investigación (OPIs). No se incluyen aquellos centros de origen extranjero o multinacional, radicados en España pero fuera del sistema español de I+D+i (Agencia Europea del espacio ESA, Grupo Isaac Newton ING, Instituto de Radioastronomía Milimétrica IRAM, Telescopio Nacional Galileo TNG, Telescopio Nórdico Óptico NOT, etc).

1.2 Objetivos del estudio

El objetivo fundamental del presente estudio es la medida de indicadores *globales* de la investigación astronómica, en los centros del sistema de I+D+i en España. También es objetivo del estudio el buscar la existencia de tendencias entre centros en dichos indicadores, por ejemplo en función de su tamaño o pertenencia orgánica. En ningún caso este estudio refiere resultados específicos de centros individuales.

Los principales parámetros que se pretenden medir se agrupan en 4 categorías:

- Demografía científica. Distribución por temas de investigación y técnicas utilizadas (observaciones, teoría, etc.)
- Actividades de investigadores y centros:
 - Recursos humanos y su evolución en el trienio 1999-2001
 - Infraestructuras de los centros
 - Financiación
 - Formación de personal investigador
 - Participación en proyectos de instrumentación astronómica
 - Acceso a grandes instalaciones
- Producción científica. Publicaciones del trienio 1999-2001 y su impacto.
- Necesidades, según los propios investigadores.

Los datos utilizados se han recogido por tres caminos complementarios:

- Mediante una encuesta electrónica a los propios investigadores
- Mediante los datos recabados y aportados por los directores de centros
- Mediante la adquisición de información bibliométrica a *ISI Services* de las publicaciones científicas del campo de la Astronomía en el trienio 1999-2001.

A estos datos hay que añadir los proporcionados por el gestor del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica acerca de la financiación de proyectos en los años 2000, 2001 y 2002, así como los del Programa Nacional de Investigación Espacial en 1999.

Con los indicadores reseñados, el estudio pretende ofrecer un diagnóstico del estado actual de la investigación Astronómica en España. En ningún caso este documento hace recomendaciones o propuestas concretas de distribución financiera, ya que estos

extremos sobrepasan el ámbito del mismo. Recurriendo a un símil astronómico, este documento presenta las observaciones, la toma de datos y su análisis, mientras que el modelo o teoría queda fuera del mismo.

2. Recogida de datos

2.1 Encuesta a los investigadores

Durante los meses de Abril y Mayo de 2002 se compiló una lista de investigadores en los centros de interés, basada en los datos remitidos por los directores de centros (ver sección 2.2). Por investigador se entiende cualquier persona dedicada a la investigación Astronómica (o así declarado por su director de centro), que caiga en cualesquiera de las cinco siguientes categorías:

- Personal investigador en plantilla
- Contratados postdoctorales
- Contratados predoctorales
- Becarios postdoctorales
- Becarios predoctorales

Aunque también se solicitó información a los directores acerca de "colaboradores" como personal no ligado contractualmente al centro, pero colaborando en la investigación que se realiza en su seno, no se remitió la encuesta al personal de esta categoría, salvo aquellos casos en que estas personas estuvieran adscritas propiamente a algún centro. El resto de personas citadas como "colaboradores" constituye una muestra muy heterogénea en la que caben desde estudiantes de licenciatura hasta investigadores en centros ajenos al sistema pero que mantienen alguna relación con el centro.

También se recogió información sobre "personal de apoyo". En este caso los listados de que se dispuso son claramente incompletos e inhomogéneos. Por otro lado, la encuesta se dirigió únicamente al personal investigador.

En total la encuesta se dirigió a 448 investigadores. El total de respuestas recogidas fue de 181 (40%). La Figura 1 muestra la distribución de personas encuestadas y de respuestas por categorías. Es de destacar la elevada fracción del personal en plantilla (casi un 50%) que respondió la encuesta.

En la encuesta se solicitaban una serie de datos que caen en tres categorías:

- Datos sobre las áreas de dedicación y herramientas utilizadas. En cada caso el investigador podía especificar su perfil fraccionadamente en unidades del 10% entre las distintas opciones. Estos datos se han utilizado para describir la demografía científica (sección 3).
- Opinión sobre las 3 mayores necesidades que, a juicio del investigador, son más importantes para continuar con su labor investigadora. Se sugería una lista de necesidades y además se dejaba la opción de especificar entre un genérico apartado de "otros". De entre aquellos encuestados que utilizaron esta última opción, una fracción apreciable se pudo reclasificar entre la lista de opciones propuestas.

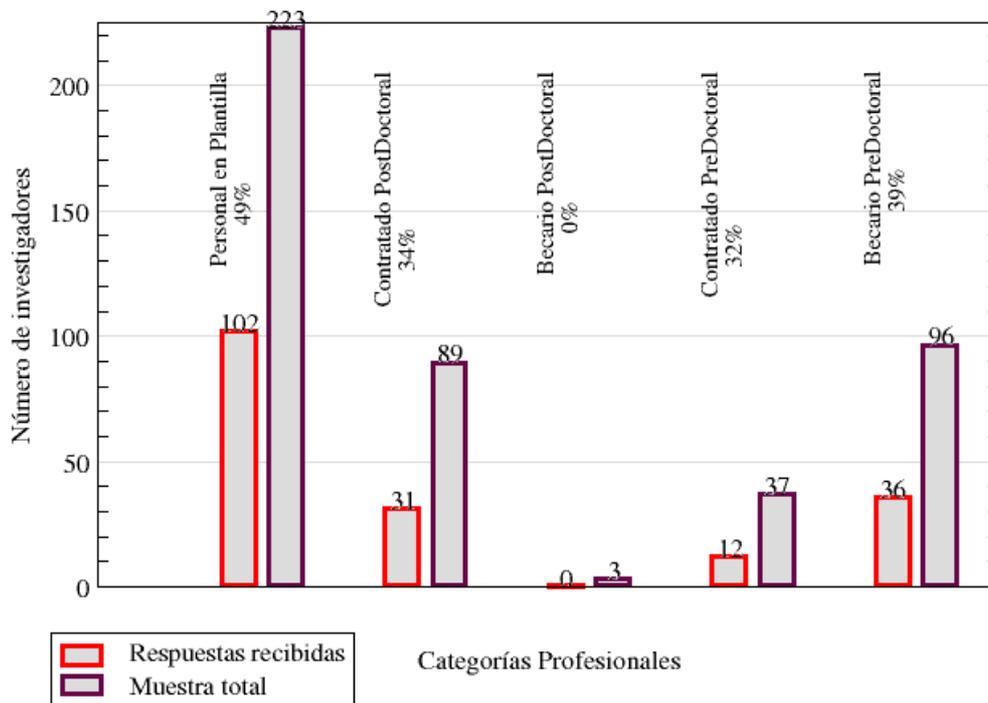


Figura 1. Distribución de personal al que se envió la encuesta y de respuestas recibidas.

- Datos sobre actividades propias del investigador. En esta lista se solicitaba explícitamente el acceso a grandes instalaciones en las que España no tiene una fracción de tiempo pre-asignada, así como premios, etc.

Los datos de la encuesta se recogían en 2 ficheros separados. En uno figuraba el nombre del investigador, su centro actual, su correo electrónico y un código autogenerated. En otro fichero, el mismo código, la categoría profesional, el centro y todas las respuestas. El primero de estos ficheros fue utilizado para asegurarse de que las respuestas sólo habían sido remitidas por personas a las que iba dirigida la encuesta. Los datos correspondientes al tercer apartado fueron obtenidos con una aplicación específica que lee los dos ficheros. Para los dos primeros apartados sólo se utilizó el segundo de los ficheros donde no consta la identidad del remitente. Este mecanismo ha permitido garantizar la anonimato en el tratamiento de los datos demográficos y de las necesidades apuntadas por los investigadores.

Una última prueba que se realizó antes de analizar los datos fue la de comprobar que la fracción de investigadores que contestaron la encuesta no ofrece sesgos importantes entre centros. La dispersión en dicha fracción es muy grande para centros con pocos investigadores, en los que en algunos casos la encuesta fue contestada por el 100% de los mismos y en otros por un escaso 10%. En los centros más numerosos, la fracción de respuestas es muy similar a la media. Por consiguiente, los resultados basados en estos datos no están dominados por ningún centro ni ningún grupo de centros.

2.3 Recogida de datos sobre centros

A los efectos de este estudio se entiende por "centro" cualquier grupo de investigación geográficamente compacto que comparte recursos. De forma más pragmática, un centro es una dirección común en la firma de las publicaciones (con alguna excepción). En el mismo concepto de centro entran tanto Institutos de investigación pertenecientes a OPIs, departamentos o unidades de los mismos, departamentos universitarios completos, grupos dentro de un departamento universitario e incluso grupos inter-departamentales en una misma Universidad.

Para construir el listado de centros, se partió del conjunto de direcciones de correo donde hay algún miembro de la Sociedad Española de Astronomía (un total de 53). Entre estas direcciones hay varias que claramente no corresponden a centros de investigación. El catálogo de centros fue modificado acorde a la información remitida por los directores de centros. Entre las respuestas recibidas de sus directores, se verificó que algún centro no debía ser considerado como de investigación en Astronomía y en otro caso se refundieron varias direcciones en un solo centro.

Tabla 1. Centros que han suministrado datos y personas de contacto.

Centro	Director/persona de contacto
Area de Física Teórica, Fac. de Ciencias U. de Salamanca.	F. Atrio
Dpto. d'Astronomia i Astrofísica, U. de València.	J.M. Ibáñez, G. Almodóvar
Dpto. d'Astronomia i Meteorologia, U. Barcelona.	E. Salvador, G. Mateu
Dpto. de Astrofísica, U. Complutense de Madrid.	E. de Castro, M. Rego
Dpto. de Ciencias Náuticas y de la Tierra, U. da Coruña.	M. Manteiga
Dpto. de Física, U. de Extremadura.	J.M. Vaquero, R. Vilchez
Dpto. de Física Atómica y Nuclear, UCM	V. Fonseca
Dpto. de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, U. de Alicante.	G. Bernabéu
Dpto. de Física, U. de les Illes Balears.	J.L. Ballester
Dptos. de Física y Matemática Aplicada, U. de Oviedo.	L. Toffolatti, F. Argüeso
Dpto. de Física, U. Europea de Madrid.	J.R. Rizzo
Dpto. de Física Aplicada, E. Politécnica Superior de Alcoi.	M.A. Satorre
Dpto. de Física Aplicada, U. de Jaén.	J. Martí
Dpto. de Física Aplicada I, U. del País Vasco.	A. Sánchez Lavega
Dpto. de Física Moderna, U. de Cantabria.	L.J. Goicoechea
Dpto. de Física Teórica, U. Autónoma de Madrid.	R. Domínguez
Dpto. de Física Teórica, U. del País Vasco.*	A. Chamorro
Dpto. de Física Teórica y del Cosmos, U. de Granada.	E. Battaner
Dpto. de Matemática Aplicada IV, U. Politécnica de Catalunya.	J. Sanz
Dpto. de Matemática Aplicada y Estadística. U. Politécnica de Cartagena.	M.J. Pons
Dpto. D'Eng. Informàtica, U. Rovira i Virgili.	J.M. Solanes
Grup d'Astronomia i Astrofísica, U. Politécnica de Catalunya,	D. García
Grupo de Rayos Cósmicos, Universidad de Alcalá de Henares	J. Sequeiros, M.A. Hidalgo
Institut d'Estudis Espacials de Catalunya.	J. Isern, J.M. Torrelles
Instituto de Astrofísica de Andalucía, CSIC.	R. Rodrigo, A. Alberdi
Instituto de Astrofísica de Canarias.	F. Sánchez, J. De Araoz, P.L. Pallé
Instituto de Astronomía y Geodesia, CSIC-UCM.	A.I. Gómez
Instituto de Estructura de la Materia, CSIC.	M.J. Sempere
Instituto de Física de Cantabria, CSIC- UC.	L. Pesquera, L. Cayón
INTA, Oficina de Cargas Útiles.	L. Sabau
INTA/CDA, Estación de Sondeos Atmosféricos El Arenosillo.	A.J. Castro-Tirado
Lab. de Astrofísica Espacial y Fis. Fundamental, INTA.	B. Montesinos, M. Guitart
Observatorio Astronómico Nacional.	J. Gómez, P. Planesas
Observatorio Astronómico "Ramón M. Aller", U. de Santiago.	J.A. Docobo
*No incluído en el estudio, a sugerencia del director	

El catálogo de centros, que se presenta en la tabla 1, es el que se ha utilizado para la mayoría de los estudios sobre los mismos. Hay otros pocos centros, de los que se tienen

datos sobre su actividad científica (esencialmente publicaciones) que se han incluido lógicamente en los cómputos globales, pero sobre los que no se ha podido hacer un estudio detallado al no disponer de datos suficientes. Por los indicios que se tienen en el momento de la redacción de este informe, esos centros sobre los que no se tienen datos suficientes no representan en conjunto más allá de 10 investigadores en el peor de los casos, por lo que el catálogo confeccionado cubre más del 97% del personal investigador.

En la agrupación de investigadores por centros se ha tenido siempre en cuenta dónde las personas realizan su actividad investigadora y no otras (por ejemplo la docencia). Esto afecta a un número relevante de personas cuya investigación se realiza en un OPI y sin embargo, su docencia se ejercita en un departamento universitario.

A los directores de centros se les solicitó, además del listado de personal por categorías, la siguiente información:

- Listado de instalaciones o infraestructuras locales de soporte para la investigación astronómica. Explícitamente:
 - Computadores: estimación del número total de los mismos, junto a algún indicador como potencia de cálculo, espacio en disco total, etc.
 - Observatorios del centro o a los que el centro mantiene acceso especial más allá de las infraestructuras comúnmente accesibles para la comunidad astronómica española.
 - Biblioteca: especificando, si la hay, número estimado de volúmenes de Astronomía y si se reciben o no las principales revistas de Astronomía (o si se tiene acceso a las mismas electrónicamente).
- Subvenciones y proyectos de investigación concedidos a grupos del Centro, a excepción de los del plan nacional de I+D+i (datos que se han podido complementar al menos en el caso del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica). Específicamente: Unión Europea, Empresas y fundaciones y comunidades autónomas/municipios.
- Participación del centro en proyectos de investigación o infraestructura de especial relevancia. Explícitamente: IPs o co-Is de instrumentos astronómicos (en tierra o espaciales, tanto en funcionamiento como en construcción o estudio).
- Tesis doctorales leídas en el periodo de estudio 1999-2001 (ambos inclusive)
- Programas de doctorado desarrollados en el Departamento o Centro
 - a) exclusivamente de Astronomía
 - b) con contenidos significativos de Astronomía (junto a una estimación porcentual)
- Congresos acogidos por el centro, durante el trienio 1999-2001, mencionando la publicación de actas.
- Evolución, en los últimos 3 años (1999, 2000 y 2001) del personal en las distintas categorías.

Hay que destacar que la respuesta de los directores ha sido abrumadora en cuanto a la voluntad de colaboración. En algunos casos los directores fueron asistidos en la confección de esta (bastante compleja) información por otras personas de su centro. En la tabla 1 se da un listado de todas las personas que han colaborado en la entrega de esta información, a los que los responsables de este estudio quieren agradecer explícitamente su ayuda.

Los datos suministrados por los centros son, sin embargo, de calidad variable. Esto es principalmente fruto de la ambigüedad en algunas de las preguntas que se remitieron. En algunos casos especialmente difíciles de interpretar, se pudo contactar con las personas de la lista y clarificar algunos extremos. En otros, hubo que hacer una interpretación lo más ajustada a la realidad posible sobre la base de los datos disponibles. En ningún caso los resultados que se presentan aquí son fruto de dichas interpretaciones más allá de algún detalle.

2.3 Datos sobre publicaciones

Para buscar indicadores de producción científica normalizados y contrastables, se adquirió a *ISI Services* una base de datos sobre publicaciones. El criterio de selección fue el siguiente:

- Publicaciones de los años 1999, 2000 y 2001
- Publicaciones donde alguno de los autores referenciara alguna dirección en España
- Publicaciones del área de Astronomía/Ciencias del Espacio. Se han excluido de esta lista las revistas *Astrophysics and Space Science* y *Advances in Space Research* al considerarse que contienen casi exclusivamente publicaciones de actas de congresos.
- Publicaciones en las revistas *Nature* y *Science* que ISI había clasificado en el área de Astronomía/Ciencias del Espacio.
- Una serie de revistas de Física, Espectroscopía e Instrumentación donde se constató la publicación de artículos de Astronomía. En este caso y, dado que el volumen de los datos encarecía inútilmente el producto, se optó por incluir exclusivamente aquellos artículos en que el título contenía alguna de un listado de palabras clave. Algunas pruebas que se realizaron usando el ADS, revelaron que las pérdidas de artículos de Astronomía al aplicar este filtrado eran mínimas.

El listado final de revistas buscadas es el siguiente:

ACT ASTRONO	ANN GEOPH	ANN PHYSICS(1)	ANN R ASTRO
APPL OPTICS(2)	ASTR AST SS	ASTR ASTR R	ASTRO SP SC(0)
ASTRON ASTR	ASTRON GEOP	ASTRON LETT	ASTRON NACH
ASTRONOM J	ASTROPART P	ASTROPH J S	ASTROPHYS J
ASTROPHYS L	CAN J PHYS(1)	CEL MEC DYN	CHIN ASTR A
CLASS QUANT(1)	COMM MATH P(1)	EARTH MOON	EXP ASTRON
GEN RELAT G(1)	GEOPH ASTRO	GEOPHYS R L	ICARUS
INT J IM SY	INT J MOD D(1)	INT J MOD P(1)	INT J THEOR(1)
J ATMOS S-P	J COMPUT PH(1)	J GEO R-PLA	J GEO R-S P
J GEO RES-A	J MATH PHYS(1)	J OPT SOC A(2)	J PHYS A(1)
J QUAN SPEC	M NOT R AST	MOD PHY L A(1)	NATURE(3)
NEW ASTR R NEW	ASTRON	NUCL PHYS B(1)	NUOV CIM C(1)
OBSERVATORY	PHI T ROY A(1)	PHYS LETT A(1)	PHYS LETT B
PHYS REV D(1)	PHYS REV L(1)	PLANET SPAC	PUB AST S J
PUB AST S P	PUBL ASTRON	REP MATH PH(1)	REV M PHYS
REV MEX AST	SCI AM	SCIENCE(3)	SOLAR PHYS
SPACE SCI R			

(0) No pedida;

(1) Sólo aquellos artículos cuyo título contiene alguna de las palabras siguientes: Astronomy, Astrophysics, Universe, Cosmic, Cosmology, Primordial, Galaxy, Cluster

(2) Sólo aquellos artículos cuyo título contiene alguna de las palabras siguientes: Atmosphere, Telescope, Airglow, Satellite, Astronomy, Radiance

(3) Sólo aquellos artículos que ISI ha clasificado dentro del campo de Astronomía y Ciencias del Espacio.

La base de datos contiene el título del artículo, su referencia bibliográfica (incluyendo su año de publicación), sus autores, las direcciones de los mismos, el número de citas recibidas (en cada uno de los años) y el número de citas esperadas en función de la revista, tipo de artículo (review, artículo, editorial, etc), año de publicación y fecha de consulta a la base de datos de ISI.

La base de datos contiene 1773 artículos, 6889 direcciones y 9512 autores. Sin embargo, no todos los artículos son objeto de este estudio por varios motivos: algunos corresponden a centros radicados en España pero pertenecientes a organismos extranjeros o supranacionales y otros corresponden (a pesar del filtrado) a artículos que no son de Astronomía.

El procedimiento para filtrar esta lista ha consistido en identificar todas las direcciones que aparecen en esta muestra de artículos con centros de investigación del catálogo y desechar aquellas que no están dentro del catálogo. Nótese que, puesto que la unidad mínima para el presente estudio es el centro y no el investigador, los artículos se han asignado a centros, pudiendo haber varios centros co-autores del mismo artículo.

Este proceso se ha podido hacer automáticamente en una fracción de las direcciones, pero en aproximadamente la mitad de los casos ha habido que identificarlas una a una. Se trata, a menudo, de casos donde los autores sólo especifican, por ejemplo, la Universidad sin mencionar el Departamento.

Lógicamente se han incluido todos los centros de investigación en Astronomía, se tengan datos sobre los mismos o no. En algunos casos especialmente problemáticos ha habido que examinar el título y otras características del artículo para decidir.

Después del filtrado, el número de artículos donde ha intervenido alguno de los centros se reduce a 1170. Creemos que puede haber unos pocos (menos de 10 seguramente) que sin corresponder a Astronomía se han asignado a algún centro por corresponder la dirección, pero no es de esperar que esto cause efectos importantes en nuestros indicadores.

3. Demografía Científica

Los resultados que se presentan en este capítulo han sido elaborados a partir de los datos remitidos por los investigadores al responder la encuesta.

3.1 Temas de investigación

Los temas de investigación dentro de la Astronomía, se han clasificado siguiendo el esquema común que han adoptado las principales revistas de Astronomía (Astrophysical Journal, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society y Astronomy & Astrophysics entre otras) desde el año 2001. Los temas son los siguientes:

- Procesos y datos físicos
- Instrumentación astronómica y metodología
- Bases de datos astronómicos
- Astrometría y mecánica celeste
- El Sol
- Sistema solar y atmósferas planetarias
- Estrellas
- Medio interestelar y nebulosas planetarias
- La Galaxia
- Galaxias
- Cosmología

Con respecto a la lista original de temas, la lista adoptada tiene dos variaciones: la mención explícita de "atmósferas planetarias" dentro del tema de Sistema Solar y la exclusión del tema "Fuentes por longitud de onda", por responder más al concepto de herramientas que al de temas.

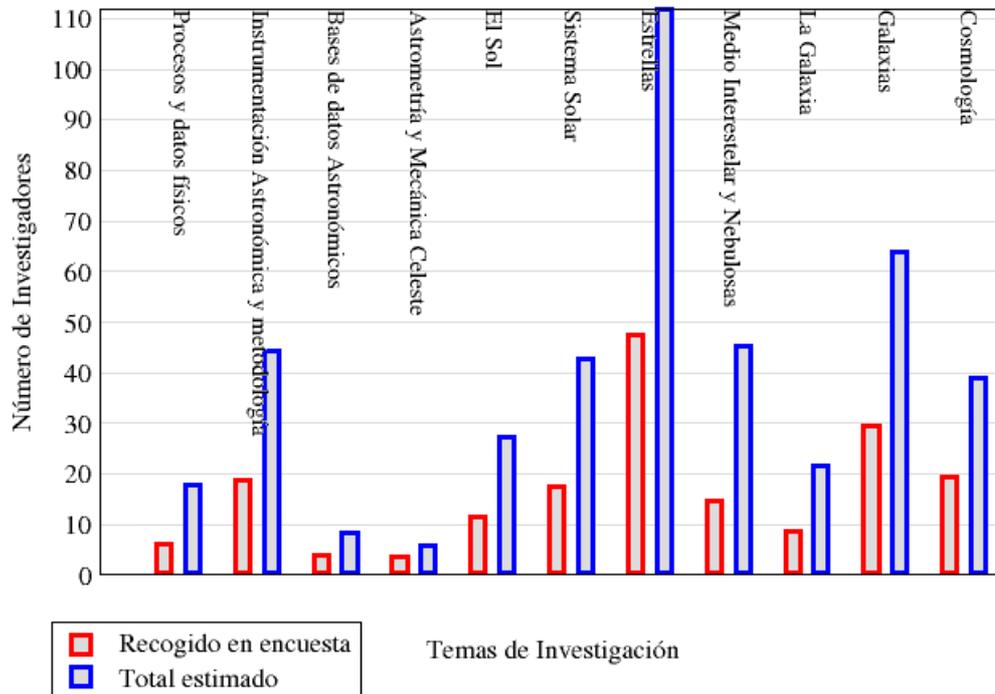


Figura 2. Distribución de dedicación de los investigadores a los distintos temas de investigación.

En la figura 2 se recogen (en rojo) las respuestas recogidas directamente de las 181 encuestas, lógicamente pesadas con el porcentaje de dedicación a cada tema que el investigador especificó. La figura 2 también recoge (en azul) una estimación de los recursos humanos totales dedicados a cada tema. Esta estimación se ha realizado bajo el supuesto que los investigadores que contestaron la encuesta son representativos de su centro. Por tanto se corrigió cada respuesta por el inverso de la fracción de investigadores que respondieron la encuesta en cada centro.

Para facilitar la comparación con las actividades en otros países, hemos agrupado estos porcentajes en grandes temas, que son el Sol, Sistema Solar, Estrellas y la Galaxia (agrupando estrellas, medio interestelar y la Galaxia), y Astronomía extragaláctica (agrupando Galaxias y Cosmología).

Tabla 2. Comparación de los porcentajes de dedicación a distintos temas entre países europeos

Grandes Temas	España (%)	Francia (%) ¹	R. Unido (%) ²
Sol	6	8	7
Sistema Solar	10	11-18	17
Estrellas y la Galaxia	42	35	22
Astron. extragaláctica	24	22	17
Otros	18	17-24	37 ³

La dedicación porcentual a los grandes temas se muestra en la tabla 2, junto a las de otros países. Se puede deducir de la tabla 2 que el porcentaje de esfuerzo dedicado al Sol es del mismo orden en todos los países, mientras que en el Sistema Solar se empieza a constatar una carencia relativa en España. En el caso de las estrellas y la Galaxia, el esfuerzo porcentual en España es claramente superior al de los otros países, mientras que en la Astronomía extragaláctica los porcentajes son similares.

3.2 Herramientas

La figura 3 muestra los datos sobre las herramientas utilizadas en las labores de investigación. Nuevamente en azul se reseña el total estimado, corrigiendo las respuestas por centros.

Hay que resaltar dos aspectos de estos datos. En primer lugar no está claro que el sentido de la opción "Astronomía y Astrofísica numérica" fuera debidamente explicado en la encuesta, ya que lo que se pretendía era ver el esfuerzo dedicado a *desarrollar* códigos numéricos, más que a utilizarlos. En segundo lugar hay que cuestionar la completitud de esta encuesta en el tema de "Laboratorios en Tierra", ya que este tipo de investigación puede muy bien realizarse fuera del catálogo de centros utilizado.

Para poder comparar con los datos de otros países, y con las incertidumbres expuestas, hemos agrupado teoría y modelado con astronomía y astrofísica numérica por un lado, observaciones por otro y el resto en un tercer apartado.

Tabla 3. Distribución porcentual de la utilización de herramientas por los investigadores en países europeos.

Herramientas	España (%)	Francia (%) ⁴	R Unido (%) ⁵
Teoría, modelado y numérico	44	54	34
Observación	52	38	41
Otros	4	8	25 ⁶

¹ Datos adaptados del documento *Thématiques, acteurs et structures de la recherche en astronomie*, por M. Blanc (accesible desde <http://www.oamp.fr/section14/arcachon.html>) que recogió estos datos en 1998.

² Datos adaptados de C. Tadhunter, *Astronomy & Geophysics*, 41, 2.19 (2000), relativos a 1998.

³ Esta elevada cifra contiene porcentajes de dedicación a fuentes en virtud de determinados rangos observacionales (radio, rayos X, rayos cósmicos etc.)

⁴ Datos adaptados del documento *Thématiques, acteurs et structures de la recherche en astronomie*, por M. Blanc (accesible desde <http://www.oamp.fr/section14/arcachon.html>) que recogió estos datos en 1998.

⁵ Datos adaptados de C. Tadhunter, *Astronomy & Geophysics*, 41, 2.19 (2000), relativos a 1998.

⁶ De este porcentaje, casi 2/3 corresponden a desarrollo de instrumentación.

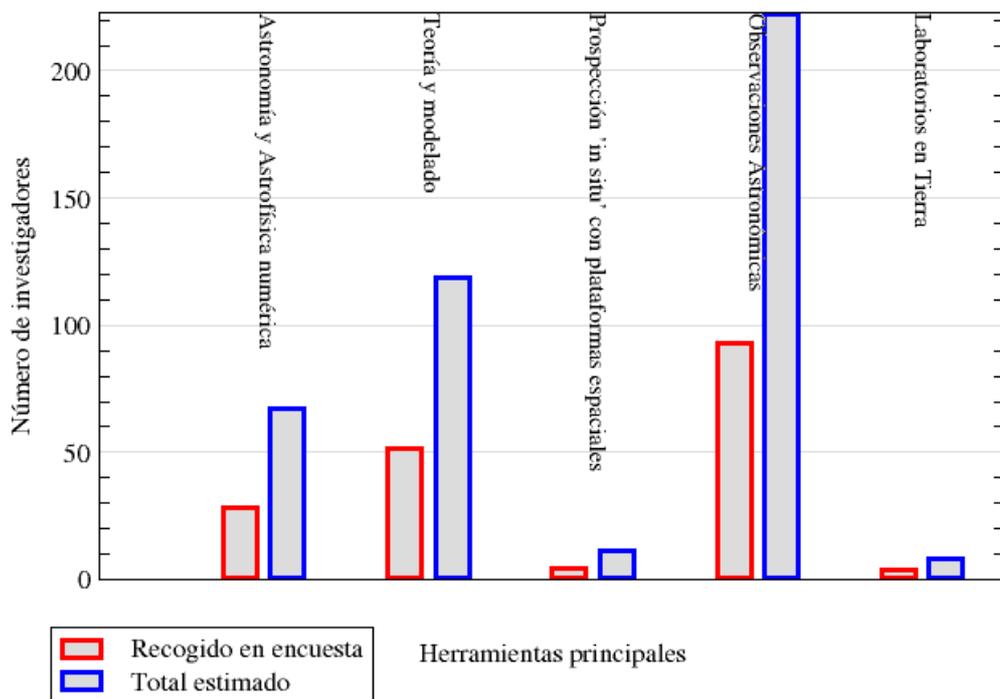


Figura 3. Distribución de la utilización de distintas herramientas por los investigadores españoles.

En esta comparación destaca el elevado porcentaje de recursos humanos dedicados a la observación astronómica en comparación con otros países. Nótese que el potencial humano global dedicado a la observación en España es de unos 220 investigadores.

3.3 Utilización de recursos observacionales

Es interesante también determinar en qué bandas del espectro se realizan estas observaciones. La figura 4 muestra la distribución recogida en la encuesta (rojo) y la estimación global del número de investigadores equivalentes, aplicando la corrección por centros habitual (en azul).

La encuesta desglosaba las opciones hasta un gran nivel de detalle como se puede apreciar. También se puede percibir que, con mucho, domina la observación óptica terrestre. Efectuando el recuento, se puede concluir que la relación terrestre: espacial en los recursos humanos dedicados a la observación es de 3:1.

Con el fin de poder comparar mejor con los esfuerzos en otros países, la figura 5 muestra la misma distribución agrupada por grandes bandas.

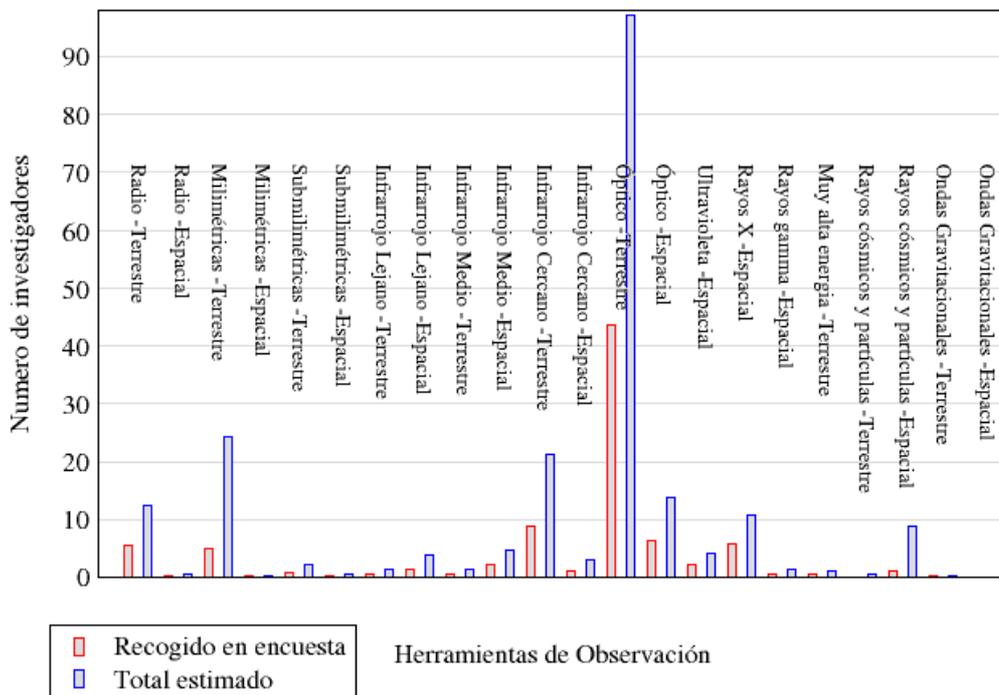


Figura 4. Distribución detallada de la dedicación a distintos recursos observacionales.

La tabla 4 recoge porcentajes del total estimado, pero agrupados de la misma forma que en Tadhunter (2000, *Astronomy & Geophysics*, 41, 2.19), con el fin de facilitar la comparación.

Tabla 4. Comparación de la dedicación a distintos recursos observacionales para España y Reino Unido.

Banda	España (%)	R. Unido (%)
Radio, milimétricas y submm	19	21
Infrarrojo	17	17
Óptico	52	33
Ultravioleta	2	6
Rayos X	5	20
Rayos Gamma y rayos cósmicos	5	3

Las diferencias más destacables entre las dos columnas están en la banda óptica, donde la dedicación porcentual (que no absoluta) en España es muy superior a la del Reino Unido, y en rayos X donde se da la circunstancia contraria. Por lo demás (particularmente en radio/mm/submm e infrarrojo) los porcentajes de dedicación son muy parecidos.

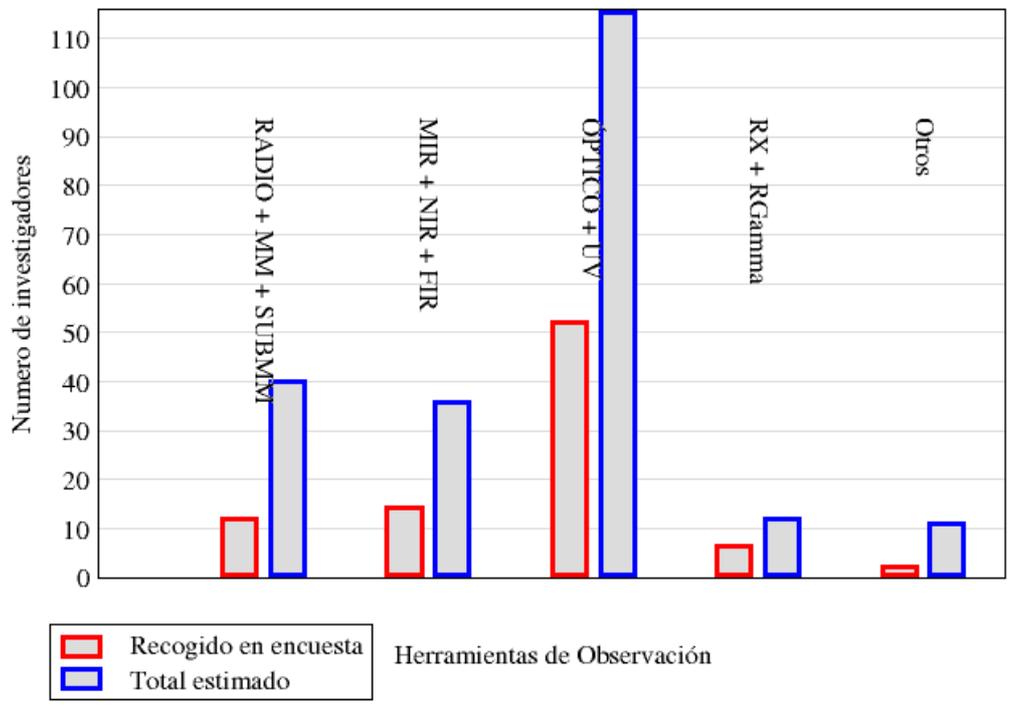


Figura 5. Distribución de la utilización de recursos observacionales agrupados por grandes bandas.

4. Actividades de los centros y los investigadores

En este capítulo se recogen aspectos muy diversos sobre las dotaciones y actividades de los centros (recursos humanos, materiales, formación, desarrollo instrumental, etc.). La mayor parte de los datos se han recogido directamente de los directores de centros con una pequeña aportación de los propios investigadores recogida en la encuesta.

4.1 Personal y su evolución

A fecha de mediados de 2002, el número de personal relacionado con los centros de investigación es de 460. Nótese que no se han computado en este número ni aquellas personas que caen en la categoría de "colaboradores" (por su heterogeneidad) ni el personal de apoyo o ingenieros que participan en proyectos de instrumentación. Asimismo, es de destacar que este número es ligeramente superior al de destinatarios de la encuesta (448). Esta pequeña diferencia viene de que en el caso de un centro los listados de personal se recibieron mucho después de analizada la encuesta y en otro caso la información sobre el personal se ha obtenido de la página web, al no haberla proporcionado las personas a las que se les preguntó.

Desglosando el número de investigadores por categorías se obtiene la tabla 5. Nótese que la mitad del personal investigador no está en plantilla.

Tabla 5. Distribución del personal investigador por categorías

Categoría	Número
Personal investigador en plantilla	229
Contratados postdoctorales	90
Contratados predoctorales	37
Becarios postdoctorales	4
Becarios predoctorales	100
<i>TOTAL personal investigador</i>	<i>460</i>

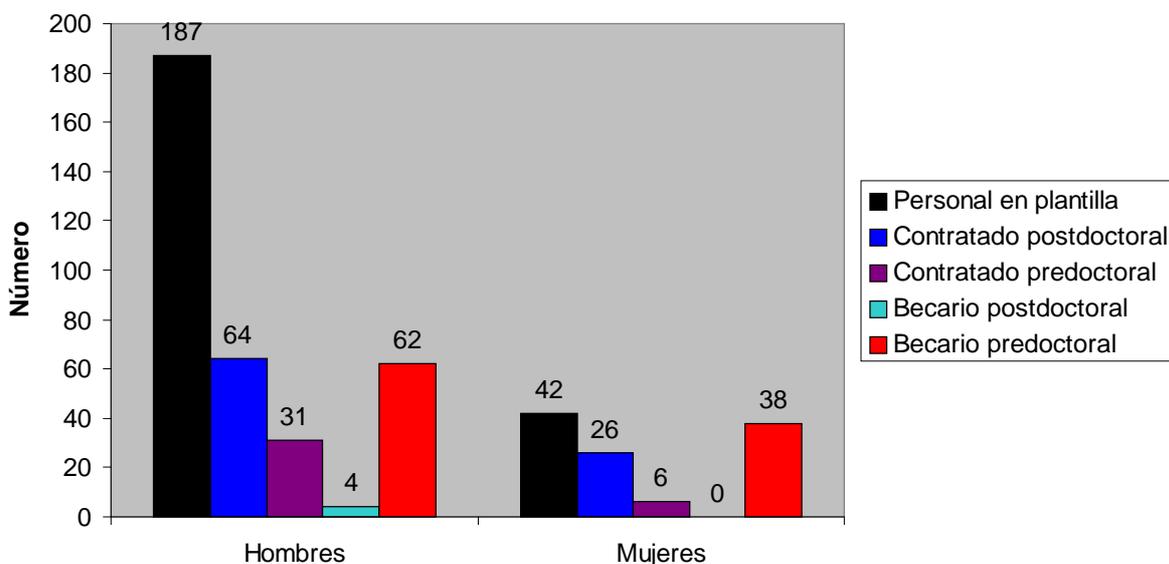


Figura 6. Distribución por géneros y categorías del personal investigador.

Hay que notar, en primer lugar, que no solamente el número total de investigadores (460) es sensiblemente inferior al de Francia, Alemania o Reino Unido, sino que también el número por millón de habitantes es sensiblemente menor.

Se ha analizado también la relación entre la cantidad de personal investigador frente al número de investigadores en plantilla por centros. Esta fracción presenta una gran dispersión entre centros (particularmente los centros adscritos a Universidades), donde varía entre 1 (es decir sólo personal en plantilla) y 4. Sin embargo, la media de este cociente es muy aproximadamente 2, tanto si se separan centros grandes (con más de 10 investigadores) y pequeños (con menos de 10 investigadores). Tampoco hay variación significativa entre centros adscritos a Universidades y centros adscritos a Organismos Públicos de investigación.

La distribución por géneros arroja una enorme asimetría, ya que los hombres representan algo más del 75% de los investigadores. Esta asimetría es más marcada en el caso del personal investigador en plantilla (82%).

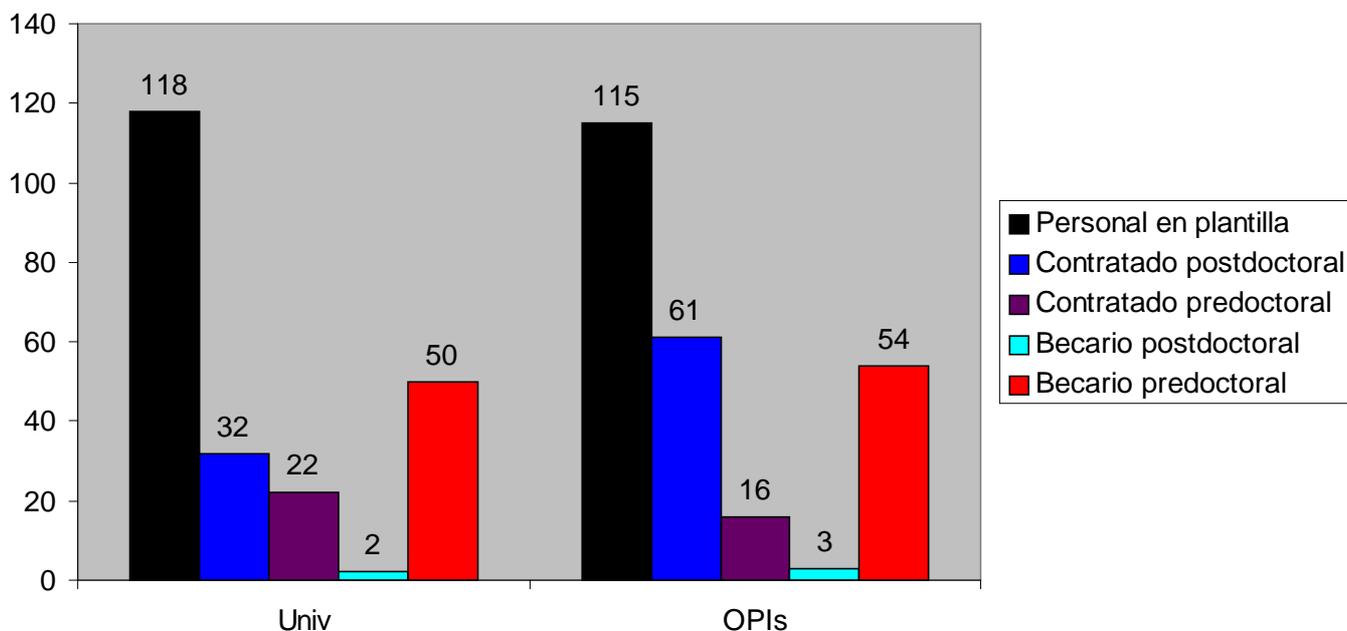


Figura 7. Distribución del personal investigador por categorías en centros Universitarios y OPIs.

Se ha estudiado también la distribución de personal en Universidades y OPIs. Aquí se hace referencia al carácter del centro, no a la afiliación orgánica de los investigadores. Así, se dan unos pocos casos donde el centro es a la vez Universitario y OPI. En la figura 7 se presenta la distribución por categorías en los dos grupos. A la vista de estos datos, se puede concluir que la distribución de investigadores entre Universidades y OPIs es casi mitad y mitad. La única asimetría notable es la de los contratados postdoctorales que en los OPIs casi doblan los de las Universidades.

En la siguiente gráfica se puede ver también la evolución del personal en esas categorías, pero en este caso sólo relativo a aquellos centros que nos han proporcionado los datos relevantes, que contienen más del 91% del total de investigadores. Como se

puede apreciar la evolución es prácticamente nula a lo largo del trienio, e inferior al 2% anual en promedio. Hay que destacar que en el 2001 no se habían incorporado todos los contratados postdoctorales del programa "Ramón y Cajal" de la primera convocatoria, por lo que el incremento del personal postdoctoral contratado entre 2000 y 2001 podría ser ligeramente mayor (unas pocas personas más). En el mejor de los casos, y teniendo en cuenta que el crecimiento entre 1999 y 2000 fue nulo, podría adscribirse un crecimiento máximo del 4.5% entre 2000 y 2001.

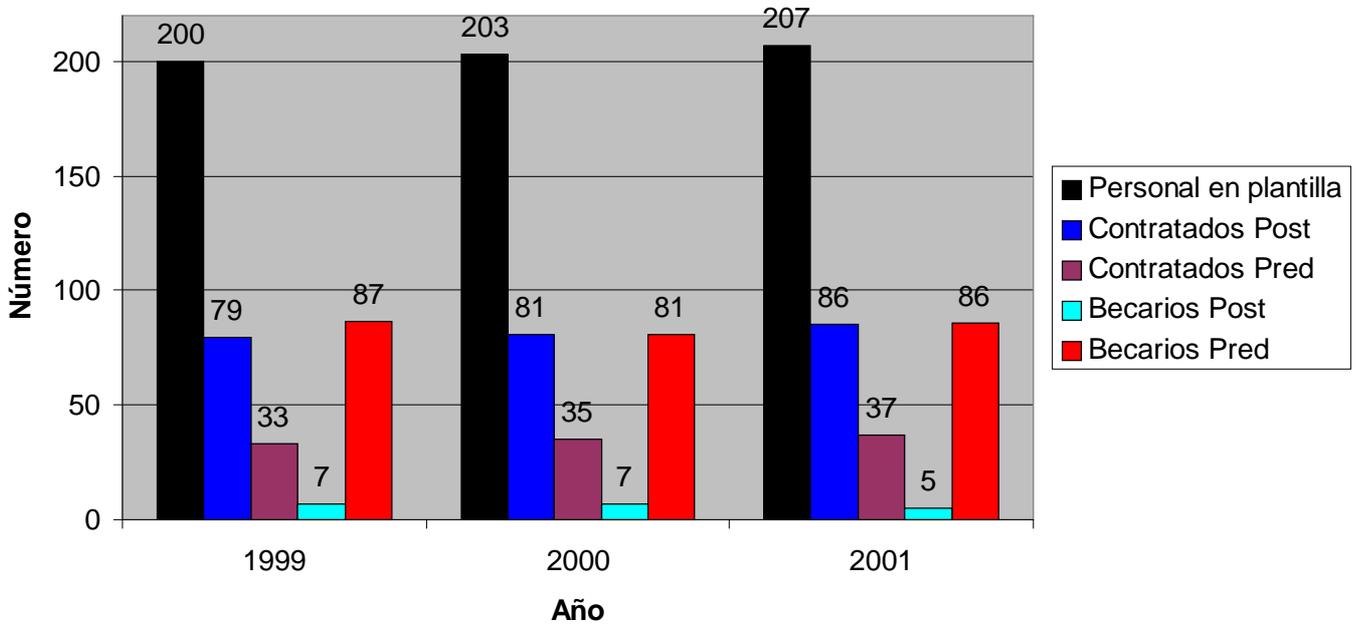


Figura 8. Evolución del personal investigador por categorías en los años 1999, 2000 y 2001.

4.2 Personal por centros

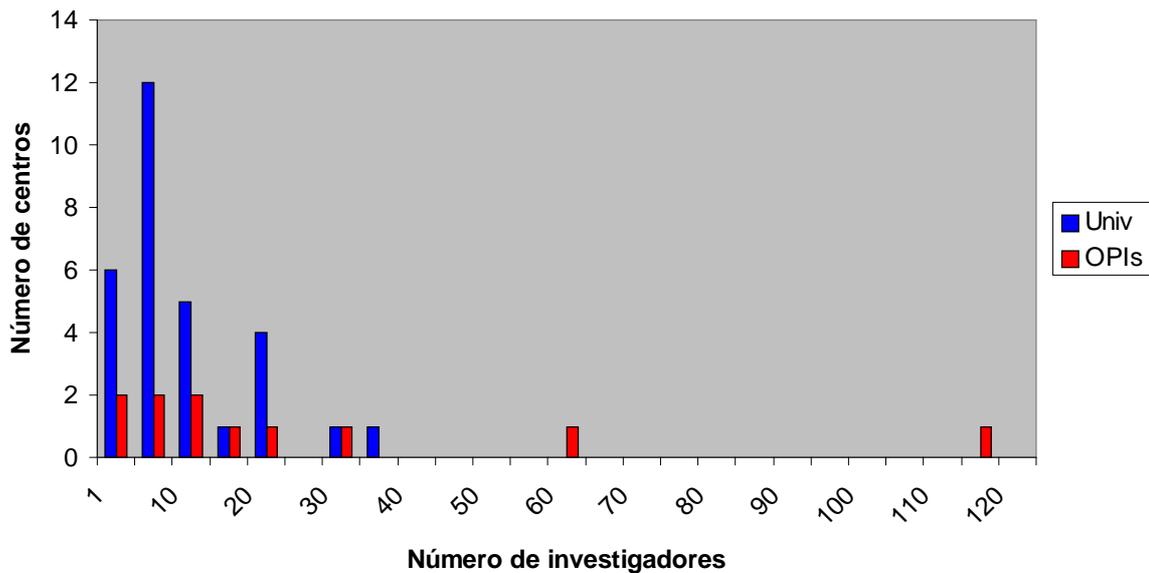


Figura 9. Distribución del número de investigadores por centros.

En la figura 9 se muestra un histograma del número de investigadores (en plantilla, contratados y becarios) en los centros, separando centros Universitarios y centros adscritos a OPIs. Como se puede ver no hay un tamaño típico, aunque obviamente los centros mayores son OPIs. Cuando ha sido posible, se han buscado diferencias entre OPIs y Universidades por un lado y entre centros "grandes" y "pequeños" por otro, en este caso separando unos de otros en 10 investigadores.

4.3 Infraestructuras en los centros

La mayoría de los centros, de los que se han podido recabar los correspondientes datos, parecen poseer al menos unas infraestructuras mínimas necesarias para el desarrollo de la actividad investigadora.

El número promedio de ordenadores (sin distinguir entre capacidad de cálculo) es de 2.7 por investigador. Este número es ligeramente superior en centros grandes (2.9) que en pequeños (1.9), aunque parte de este hecho puede relacionarse con el mayor número de personal de apoyo y colaboradores de los primeros, así como, en algún caso, con el desarrollo y/o operaciones científicas de instrumentación astronómica. Es de destacar también que sólo en los 3 mayores centros el número total de ordenadores excede los 50, por lo que la posibilidad de organizar grandes "granjas" de PCs en los propios centros se restringe prácticamente a unos pocos.

No existe por el momento ningún centro de supercomputación con capacidad de cálculo comparable a los existentes o a los que se están instalando en los centros de investigación en Astronomía de los países de nuestro entorno.

Sólo en 5 de los 18 centros en los que se nos ha especificado la capacidad de almacenamiento en disco, esta cantidad es inferior a los 100Gb. Esto significa que al menos un proceso de reducción elemental de datos y/o de análisis de simulaciones es posible en la mayoría de los centros.

De aquellos centros (25) en los que se nos ha especificado el número de volúmenes en Astronomía de que dispone su biblioteca, una mayoría (18, el 70%) poseen más de 100, aproximadamente la mitad (11, el 44%) poseen más de 500 y una minoría (3, el 12%) poseen más de 1000 volúmenes.

De aquellos centros (29) en los que se nos ha comunicado si tienen acceso a las principales revistas de Astronomía, ya sea en copia escrita o mediante acceso electrónico, una tercera parte (10) han indicado que no, lo cual es especialmente preocupante.

En cuanto a otras infraestructuras, y en particular instrumentos de observación astronómica, una docena de centros poseen algún tipo de telescopio. Salvo los casos obvios (observatorios del Teide, Roque de Los Muchachos, Sierra Nevada, etc.) se trata de instrumental más orientado a la formación que a la investigación.

4.4 Financiación

La principal herramienta de financiación (excluyendo los salarios) es el Plan Nacional de Investigación Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+i). Desde 2000 existe un

Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica (AYA) que constituye la principal fuente de financiación para la mayoría de los centros. El Plan Nacional del Espacio (anteriormente de Investigación espacial) también ha contribuido sustancialmente a financiar proyectos de instrumentación para misiones espaciales relacionadas con Astronomía. En la tabla 6 se detallan el número de proyectos concedido a centros del catálogo y la cuantía total en millones de Euros.

Tabla 6. Número de proyectos financiados y cuantía total por los Programas Nacionales del Espacio y de Astronomía y Astrofísica.

	1999		2000		2001		2002	
	Num	M•	Num	M•	Num	M•	Num	M•
PNIE/PNE	16	3.875	?	?	?	?		
AYA	-	-	23	3.259	32	2.964	19	1.721

En el caso del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica, y teniendo en cuenta que este programa no empezó hasta el 2000, se ha añadido la anualidad 2002 con el fin de poder cerrar un ciclo de 3 años. Hay que tener en cuenta también que en el año 2000 se convocaron y adjudicaron en el mismo programa, proyectos de infraestructura (modalidad F4), por lo que la cantidad total financiada ese año es superior. No se dispone de datos de financiación de proyectos en el Plan Nacional del Espacio correspondientes a los años 2000 y 2001.

Con una financiación estabilizada de unos 2 millones de Euros anuales en el Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica y englobando un ciclo completo de vigencia de los proyectos (3 años), hemos estudiado la distribución de estos fondos por centros. Un total de 22 centros del catálogo han obtenido financiación con cargo a este programa en alguna de las 3 anualidades 2000, 2001 y 2002. El nivel medio de financiación por investigador y por trienio es de 19.8 ± 2 mil Euros, aunque este nivel fluctúa entre 5 y 30. No existe sin embargo tendencia significativa de que el nivel de financiación varíe con el tamaño de los centros, que es de 16.3 ± 3 miles de Euros para centros pequeños y de 20.3 ± 2 para centros grandes (en ambos casos por investigador y trienio).

La financiación derivada del Programa Nacional de Investigación Espacial en 1999 es mucho más irregular, en parte por tratarse de un solo año en un ciclo de tres, y por otro lado por corresponder principalmente a desarrollo de instrumentación. La cuantía asociada a este programa es, al menos en 1999, comparativamente importante.

Además, los centros se financian también mediante otras fuentes. Dentro del Programa Nacional de I+D+i hay que destacar varios proyectos del Programa Nacional de Promoción General del Conocimiento, al menos uno, bastante cuantioso, del Programa Nacional de Altas Energías y también uno del Programa Nacional de Recursos Naturales.

Además ha habido financiación en el trienio 1999-2001 de al menos 22 proyectos de la unión europea (TMRs, etc.); 18 proyectos de intercambio bi- o multi-lateral entre varios países; 8 contratos con la Agencia Europea del Espacio; hasta 40 proyectos financiados por Comunidades Autónomas (estos están restringidos a las de Andalucía, Cataluña, Comunidad Valenciana y Canarias); y finalmente hasta 15 contratos con o proyectos financiados por empresas (entre ellas notablemente Grantecan y también Telefónica,

Iberdrola, etc.). Es difícil estimar la dotación económica que conllevan estos proyectos, pero en cualquier caso aparecen como una componente importante en algunos centros.

4.5 Formación de investigadores

Entre los centros adscritos a Universidades, algunos desarrollan o participan en programas de doctorado en los que, total o parcialmente, se incluyen temas de Astronomía. Un total de 13 centros participan en 16 programas de doctorado. Sin embargo, sólo 4 de esos programas tienen un 70% o más de contribución en Astronomía. Por el contrario, si se suman los esfuerzos dedicados a esos 16 programas de doctorado, esto equivale a más de 6 programas de doctorado completos.

Estos números reflejan que a pesar del importante esfuerzo que los investigadores invierten en formación de nuevos doctores, sólo en unos pocos centros se puede cursar un doctorado con un peso importante en Astronomía.

Otro aspecto importante es el número de tesis leídas durante el trienio 1999-2001 que es de 44, es decir unas 15 tesis doctorales por año. Este ritmo de formación debería permitir, en las condiciones actuales, un incremento anual de la plantilla investigadora de hasta el 5% de los doctores existentes. Naturalmente esto no incorpora los efectos de las becas del nuevo Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica, ya que los primeros beneficiarios de las mismas empezaron en Julio de 2001, ni los numerosos investigadores españoles que están realizando sus estudios de doctorado en el extranjero.

Aunque los datos se refieren únicamente a un trienio, periodo inferior al de realización de una tesis doctoral, es de remarcar que sólo en 8 de los 24 centros (universitarios y OPIs) de los que se dispone de datos en este aspecto, se han concluido tesis doctorales. Este dato contrasta nuevamente con el de los 13 centros universitarios que desarrollan programas de doctorado en su seno o bien con el esfuerzo total realizado de más de 6 programas de doctorado para tan solo 15 nuevos doctores al año. Esta clara disfunción refleja el hecho de que en la práctica los programas de doctorado son intra-universitarios sin que la posibilidad de que sean inter-universitarios haya podido realizarse.

Finalmente es también interesante ver que el número actual de becarios predoctorales (100) augura un incremento en el número de tesis doctorales que se presentarán en los próximos años. Para un ciclo normal de 4 años por tesis, la tasa anual de nuevos doctores debería aumentar hasta unos 25 en el futuro próximo, lo cual representa más de un 7% sobre el número de doctores por año.

4.6 Participación en proyectos de instrumentación

Uno de los indicadores de la actividad investigadora en los centros es su participación directa en la concepción, diseño, construcción u operaciones de instrumentación científica para observatorios a) espaciales, b) terrestres o c) centros de computación. De la información aportada por los directores de los centros, hemos podido verificar una gran actividad en este campo. Las modalidades y niveles de participación en los tres tipos de instrumentos son bastante distintos:

a) Instrumentos espaciales

Se ha detectado participación en todas las misiones aprobadas del programa científico de la ESA (en las áreas de Astronomía y Sistema Solar) hasta 2012: SOHO, XMM-Newton, INTEGRAL, Cassini-Huygens, Mars-Express, Rosetta, SMART-2, Eddington, NGST, GAIA, Bepi-SOLO. También hay participación en misiones de la ESA de otros programas (MIPAS/Envisat) de NASA (SABER/TIMED), misiones propuestas o en estudio (World Space Observatory, DARWIN, XEUS) y misiones de otras agencias como COROT. Esta participación va desde el nivel de Investigador Principal en algún caso, al de simple colaborador en otros, pasando por el más frecuente de co-investigador.

Lo más destacable es que esta participación está muy extendida entre los centros, habiéndose detectado participación en 12 de ellos, en 11 de los cuales con nivel de co-investigador o equivalente.

b) Instrumentos terrestres

Aquí son los grandes proyectos los que dominan. Hay una gran actividad alrededor del Gran Telescopio Canarias y sus instrumentos, de la antena de 40 metros de Yebes, y también en el desarrollo u operaciones de nuevos instrumentos para observatorios ya en funcionamiento (HEGRA, instrumentos para WHT, telescopios solares, laboratorios de heliosismología, etc.). También hay dos casos de desarrollo de instrumentación u operaciones "dedicadas" (BOOTES y Partner).

A diferencia del caso del espacio, aquí la actividad está mucho más concentrada. En concreto sólo se tiene constancia de participación en 7 centros en estas actividades, aunque principalmente están concentradas en los 3 de mayor tamaño. Creemos que este efecto es real y se interpreta en las conclusiones.

c) Supercomputación

Aquí no se tiene constancia prácticamente de actividad alguna en este momento.

4.7 Acceso a grandes instalaciones sin pre-asignación de tiempo

De los datos aportados por los propios investigadores se desprende que los investigadores españoles acceden a grandes instalaciones (a menudo extranjeras o supranacionales) en régimen competitivo. No estamos contando aquí los accesos que España tiene garantizados en los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias o en Calar Alto, sino aquéllos en los que únicamente la calidad de las propuestas permite a los astrónomos españoles acceder a esas instalaciones, a menudo en condiciones adversas.

a) Acceso a observatorios en tierra.

Entre las grandes instalaciones terrestres de todo el mundo a las que se ha accedido, figuran las más importantes en radio-milimétricas como MERLIN, VLA, VLBA, VLBI, EVN, Nobeyama, Plateau de Bure, Effelsberg y JCMT. En el óptico e infrarrojo hay constancia de la utilización de todos los telescopios del observatorio europeo austral (ESO), incluido el VLT, de Gemini, Subaru, Keck, Hobby-Eberly Telescope y todos los grandes telescopios de la clase de 8-10 metros, además de otros de menor apertura como el Canada-France-Hawaii Telescope, WIYN, etc.

Además de totalizar alrededor de 300 accesos (entre los que puede haber un número mínimo de repeticiones), lo cual representa 100 propuestas por año, es de destacar el gran número de centros involucrados: 19.

b) Acceso a observatorios espaciales.

Aquí el número de accesos es más limitado (alrededor de 40 en el trienio 1999-2001) y también más limitado el número de centros involucrados (11). Entre las instalaciones accedidas figuran los principales observatorios espaciales como el Hubble Space Telescope, el Infrared Space Observatory, XMM-Newton y Chandra. También figuran sondas espaciales como Huygens-Cassini, MIPAS, SABER, etc.

Es notable que la dedicación expresada por los investigadores a observatorios terrestres es el triple que a los espaciales, mientras que los accesos (propuestas) a los mismos están en una relación de 7.5:1. Este hecho posiblemente refleja tanto que las observaciones espaciales son más escasas como más difíciles de analizar y calibrar.

c) Acceso a centros de supercomputación

Aquí la utilización es mucho más limitada (12 ocasiones) y corresponde únicamente a 3 centros. Aunque ciertamente no toda la Astronomía y Astrofísica numérica precisa de accesos a centros de supercomputación, este dato no deja de contrastar con el elevado porcentaje de dedicación declarado por los investigadores.

4. Producción científica (publicaciones)

Una vez identificadas todas las direcciones de los artículos publicados en el trienio 1999-2001, quedan 1170 artículos con algún autor en alguno de los centros del catálogo. Para un conjunto de 460 investigadores, esto corresponde a 0.85 publicaciones por investigador y por año, incluyendo investigadores en plantilla, investigadores contratados y becarios.

Estos 1170 artículos han recibido, hasta final de 2001, un total de 5699 citas, con una media de casi 5 citas por artículo.

Si se divide, para cada artículo, el número de citas recibidas por el número de citas esperadas (que proporciona la base de datos de ISI como función de la revista, tipo de artículo, fecha de publicación y fecha de consulta a la base de datos) este cociente promediado a todos los artículos es superior a la unidad, concretamente en un 2.5% aproximadamente.

En lo que sigue se analizan con detalle estos datos, tendencias y demás características de las publicaciones.

5.1 ¿En qué revistas se publica?

Una medida objetiva de la calidad de una revista es su índice de impacto. En un año determinado, el índice de impacto de una revista se computa como el promedio del número de citas recogidas a lo largo de ese año de los artículos que esa revista ha publicado en los dos anteriores. Los índices de impacto se han consultado entre los productos de ISI a través de las bibliotecas del Instituto de Astrofísica de Canarias y de la Universidad de Cantabria. Se ha tomado como referencia de las revistas el índice de impacto del año 2000.

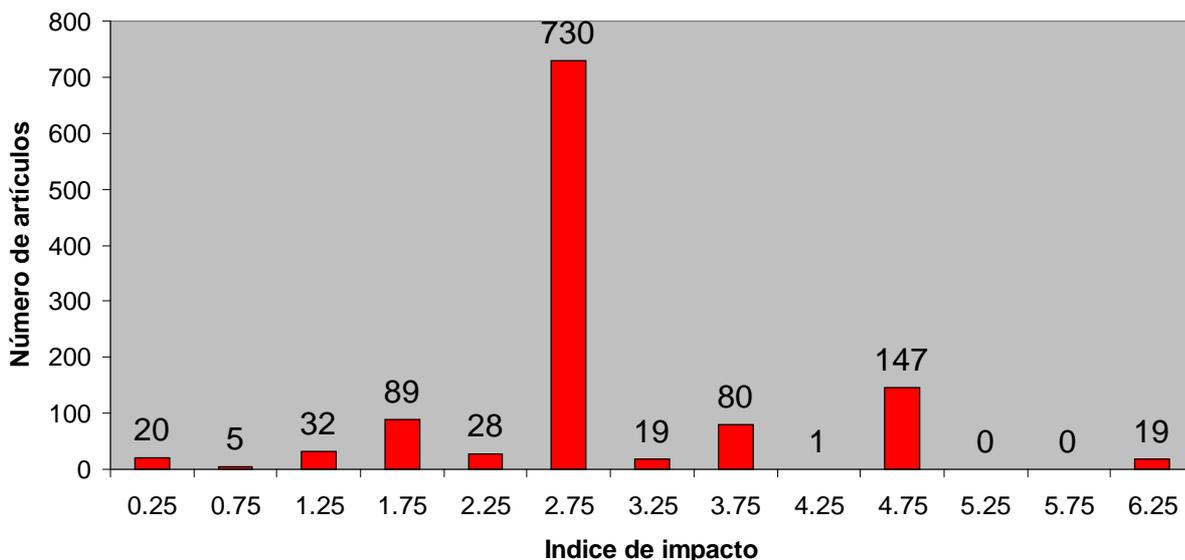


Figura 10. Distribución de las publicaciones en índice de impacto 2000.

La figura 10 muestra la distribución de artículos publicados en función del índice de impacto de las revistas. El pico de 730 revistas está dominado por los artículos publicados en A&A y ApJ, mientras que el de 147 artículos es debido particularmente a Monthly Notices. La cola de 19 artículos de gran índice de impacto, corregido para Astronomía únicamente, corresponde a *Nature* y *Science*. Formalmente, el índice de impacto medio de estas 1170 publicaciones es de 3.27, un número bastante elevado.

Tabla 7. Número de artículos publicados en las distintas revistas.

ACTA ASTRONOMICA	1
ANNALES GEOPHYSICAE-ATMOSPHERES HYDROSPHERES AND SPACE SCIENCES	2
APPLIED OPTICS	7
ASTRONOMY & ASTROPHYSICS SUPPLEMENT SERIES	59
ASTRONOMY & ASTROPHYSICS	379
ASTRONOMY LETTERS-A JOURNAL OF ASTRONOMY AND SPACE ASTROPHYSICS	1
ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN	2
ASTRONOMICAL JOURNAL	63
ASTROPARTICLE PHYSICS	14
ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES	18
ASTROPHYSICAL JOURNAL	291
ASTROPHYSICAL LETTERS & COMMUNICATIONS	24
CELESTIAL MECHANICS & DYNAMICAL ASTRONOMY	6
CHINESE ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS	1
EARTH MOON AND PLANETS	10
EXPERIMENTAL ASTRONOMY	4
GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS	12
ICARUS	18
INTERNATIONAL JOURNAL OF IMAGING SYSTEMS AND TECHNOLOGY	1
INTERNATIONAL JOURNAL OF MODERN PHYSICS A	1
JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND SOLAR-TERRESTRIAL PHYSICS	4
JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-PLANETS	5
JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-SPACE PHYSICS	4
JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-ATMOSPHERES	11
JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA A-OPTICS IMAGE SCIENCE AND VISION	2
JOURNAL OF QUANTITATIVE SPECTROSCOPY & RADIATIVE TRANSFER	3
MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY	147
NATURE	9
NEW ASTRONOMY REVIEWS	8
NEW ASTRONOMY	9
NUCLEAR PHYSICS B	1
PHYSICS LETTERS A	1
PHYSICAL REVIEW D	3
PLANETARY AND SPACE SCIENCE	8
PUBLICATIONS OF THE ASTRONOMICAL SOCIETY OF JAPAN	1
PUBLICATIONS OF THE ASTRONOMICAL SOCIETY OF THE PACIFIC	8
REVISTA MEXICANA DE ASTRONOMIA Y ASTROFISICA	9
SCIENTIFIC AMERICAN	1
SCIENCE	10
SOLAR PHYSICS	10
SPACE SCIENCE REVIEWS	2

En la tabla 7 se da un listado con el título de las revistas y el número de artículos publicados en la misma.

5.2 Citas

Como ya se ha indicado el número de citas por artículo es de 4.9. En la figura 11 se muestra el número de citas por artículo promediado por revistas y en función de los artículos publicados en cada revista.

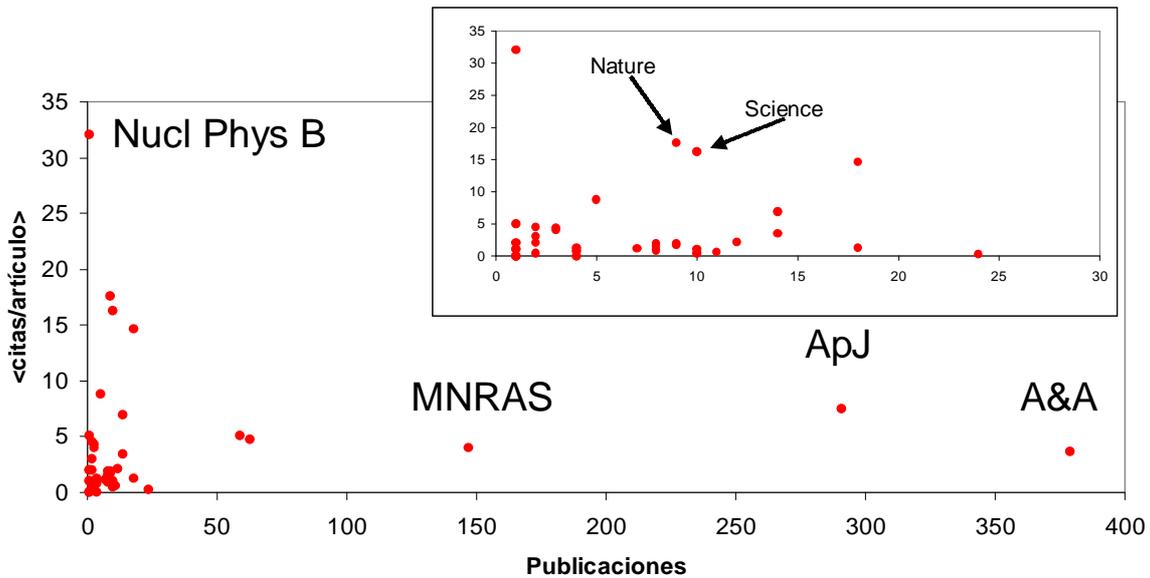


Figura 11. Número de citas medio por artículo en función del número de los mismos para las revistas cuyas publicaciones recoge este estudio.

Se puede apreciar en esta figura que en las revistas que se publican la mayoría de los artículos, el número de citas por artículo oscila alrededor de esta media: Astronomy & Astrophysics: 3.6, Astrophysical Journal: 7.4 y Monthly Notices: 3.9. Los artículos más citados en promedio por revista son los 2 publicados en Nuclear Physics B, mientras que los publicados en Nature y Science tienen en promedio entre 15 y 20 citas.

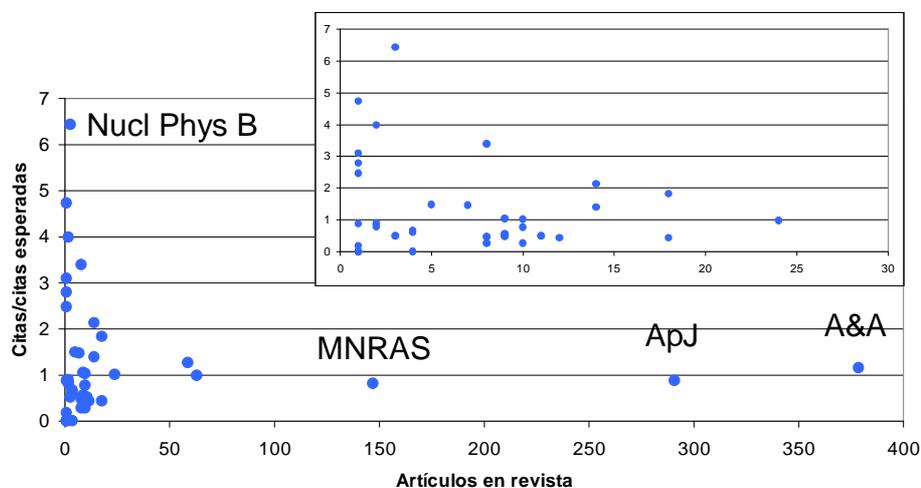


Figura 12. Calidad media (promedio del número de citas recibido frente a esperado) para los artículos publicados en distintas revistas.

También es interesante ver el número de citas dividido por el número de citas esperadas en las distintas revistas, como se representa en la siguiente figura 12.

En este caso se ve cómo para las revistas en las que se publican la mayoría de los artículos, el número de citas recibidas en promedio por las publicaciones españolas en *Astronomy & Astrophysics* es ligeramente superior a la media, mientras que en las publicaciones españolas en *Astrophysical Journal* y *Monthly Notices* el número de citas recibidas es ligeramente inferior a la media esperada.

La figura 13 presenta la distribución de citas por artículo independiente de la revista, pero restringido a los artículos publicados en 1999 (409). El motivo es que entre los publicados en 2000 y mucho más entre los publicados en 2001 hay un efecto muy apreciable de artículos con muy pocas citas debido al poco tiempo transcurrido.

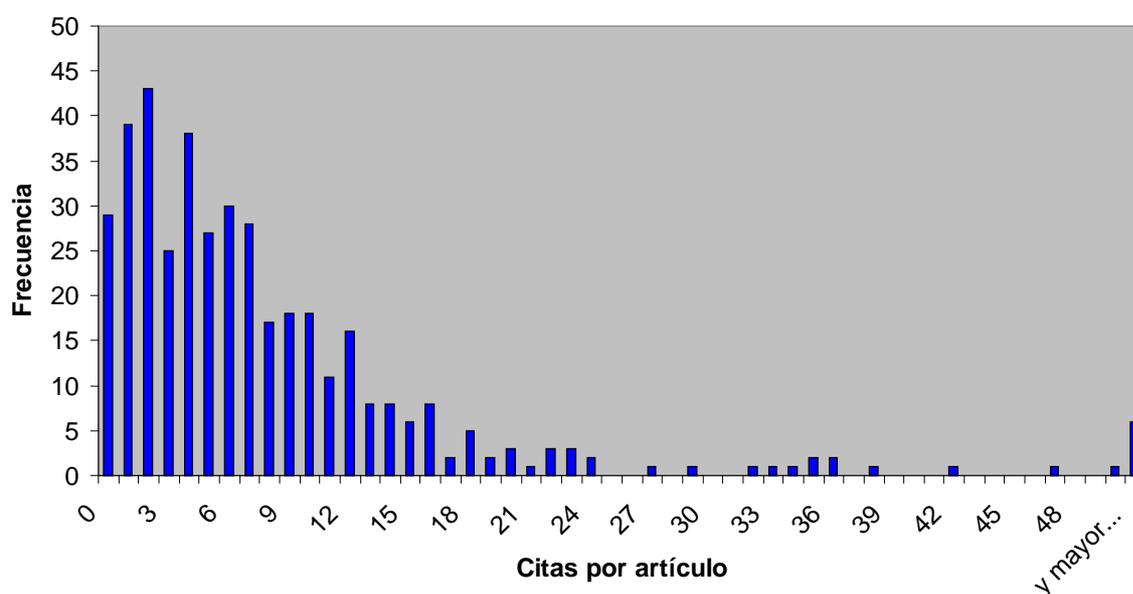


Figura 13. Distribución del número de citas recibidas para los artículos publicados en 1999.

En la figura (donde la media es ahora de 9.47 citas acumuladas por artículo) se puede apreciar que hay una cola importante de artículos que han recogido, tan sólo en 2 años, un número muy grande de citas. Hay 6 artículos con más de 50 citas que han recogido 52, 62, 67, 103, 152 y 451 citas.

En los años 2000 y 2001 el número de citas recogido hasta final de 2001 es lógicamente menor. Los artículos con más citas recogieron 32 y 23 respectivamente.

Para tener una idea del impacto relativo de estos artículos en el contexto de las revistas en que se han publicado, se ha analizado la distribución del cociente entre citas recibidas y citas esperadas. Como ya se ha dicho esta cantidad es en promedio superior a 1 en un 2.5%. Esto indica que el impacto medio de las publicaciones españolas es incluso algo superior al de las revistas en que se publica. La figura 14 muestra la distribución en esta cantidad para las publicaciones de 1999.

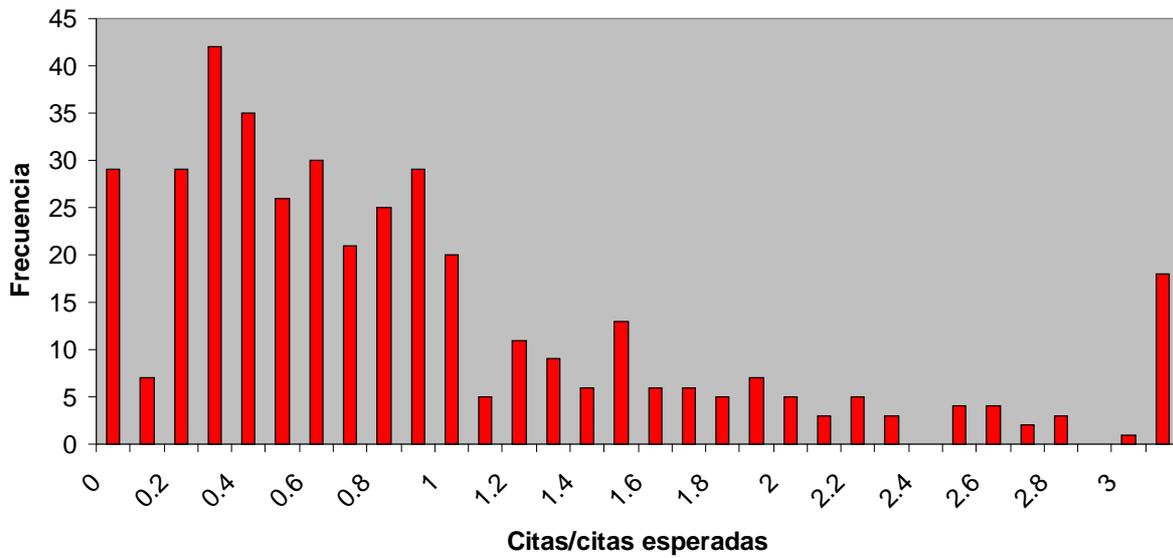


Figura 14. Distribución en el número de citas frente a citas esperadas, para los artículos publicados en 1999.

El exceso que se muestra todavía alrededor de 0 es, por lo menos en parte, debido a que la vida media de los artículos supera los 3 años a los que se restringe este estudio. También hay que destacar que hay un grupo de 18 artículos que han obtenido más del triple de las citas esperadas en las revistas correspondientes.

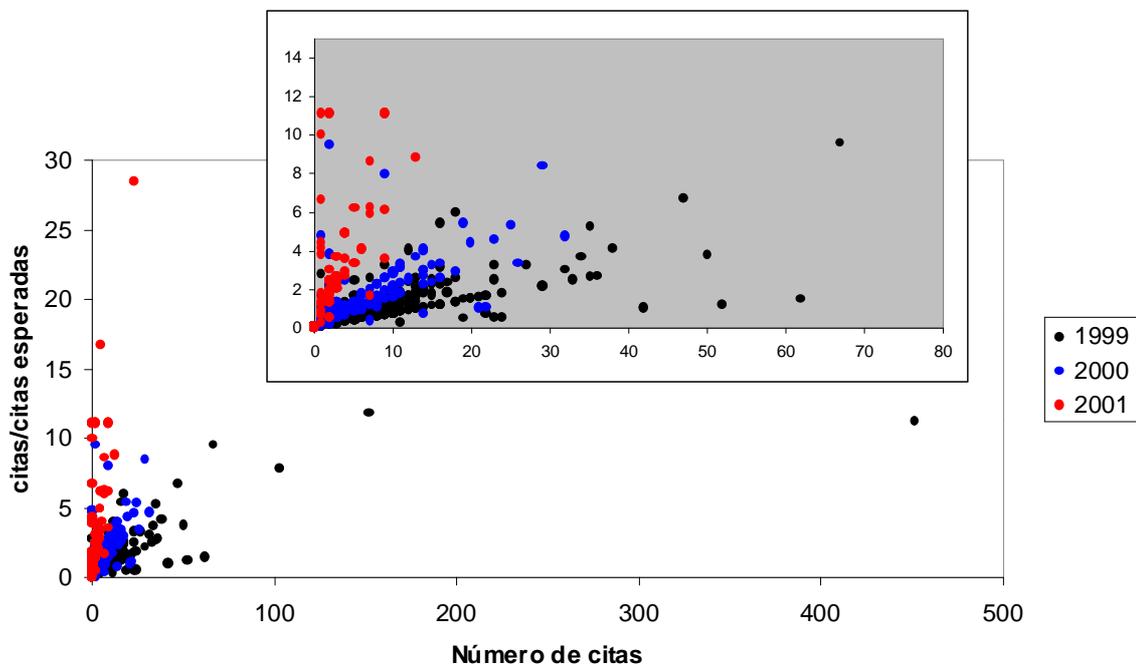


Figura 15. Relación entre la "calidad relativa" (número de citas recibidas frente a esperadas) y el número absoluto de citas.

En la figura 15 se presenta un diagrama con el número de citas recogidas por artículo y el cociente entre dicho número y la cantidad de citas esperadas en función de la revista y la fecha de publicación para los tres años estudiados. Como se puede ver los artículos más citados corresponden también a artículos cuyo impacto relativo en términos de la revista en la que se publicó también es alto. También se percibe claramente la evolución del número de citas con el tiempo.

5.3 Publicaciones por investigador y por centro.

Se ha computado también el número de publicaciones en las que participa cada centro, así como sus citas e impacto relativo en las distintas revistas. La figura 16 muestra la distribución del número de publicaciones por investigador en cada centro. Como se puede ver esta cantidad varía entre 1 y más de 10, siendo la media 3.47 artículos en el trienio 1999-2001.

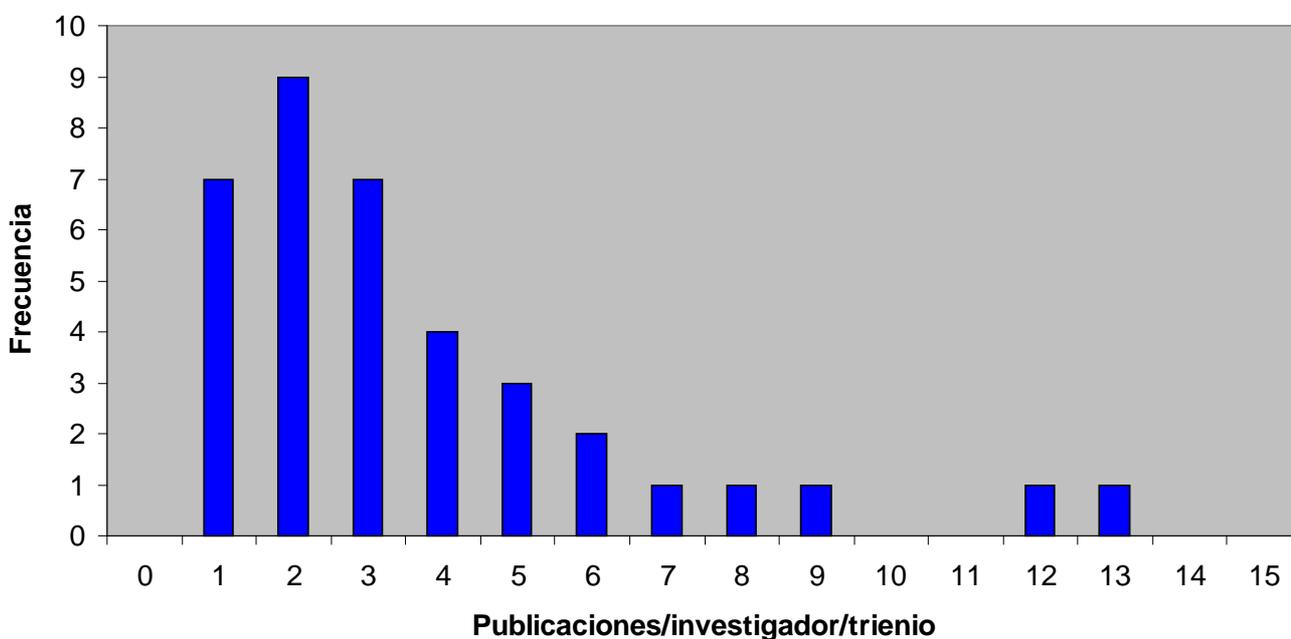


Figura 16. Distribución *por centros* del número de publicaciones por investigador en el trienio 1999-2001.

A pesar de esta gran dispersión, no hay tendencia alguna de mayor o menor número de publicaciones en función del tamaño del centro: en centros pequeños (menos de 10 investigadores) la media es de 3.55 mientras que en centros grandes es de 3.45. Si se separan centros Universitarios y OPIs las medias arrojadas son de 2.11 y 4.63 respectivamente. Al evaluar estas cifras hay que tener en cuenta que hay una importante componente de artículos en colaboración con otros centros que no está corregida.

Otro aspecto importante es la calidad de las publicaciones por centros, medida en número de citas o en impacto relativo. La figura 17 muestra la distribución del número de citas por artículo por centros, cuya media es de 4.75. Esta distribución presenta

nuevamente una enorme dispersión. Sin embargo, no aparece ninguna tendencia significativa con el tamaño del centro, siendo la media de 4.12 y 4.91 citas por artículo para centros pequeños y centros grandes respectivamente. Si se desglosa la lista de centros entre Universidades y OPIs, tampoco aparece ninguna diferencia significativa: 4.82 para centros Universitarios y 4.76 para OPIs.

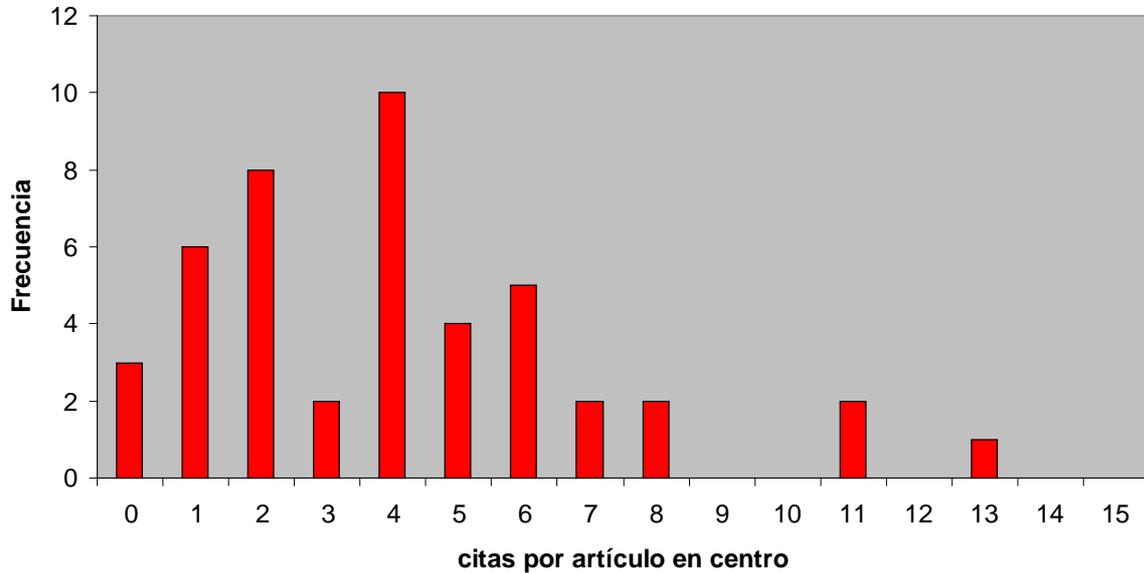


Figura 17. Distribución *por centros* del número de citas por artículo.

Finalmente también es importante destacar la uniformidad en el impacto relativo a la revista de las publicaciones. La figura 18 presenta un histograma de este factor (número de citas dividido por número esperado de citas) por centros.

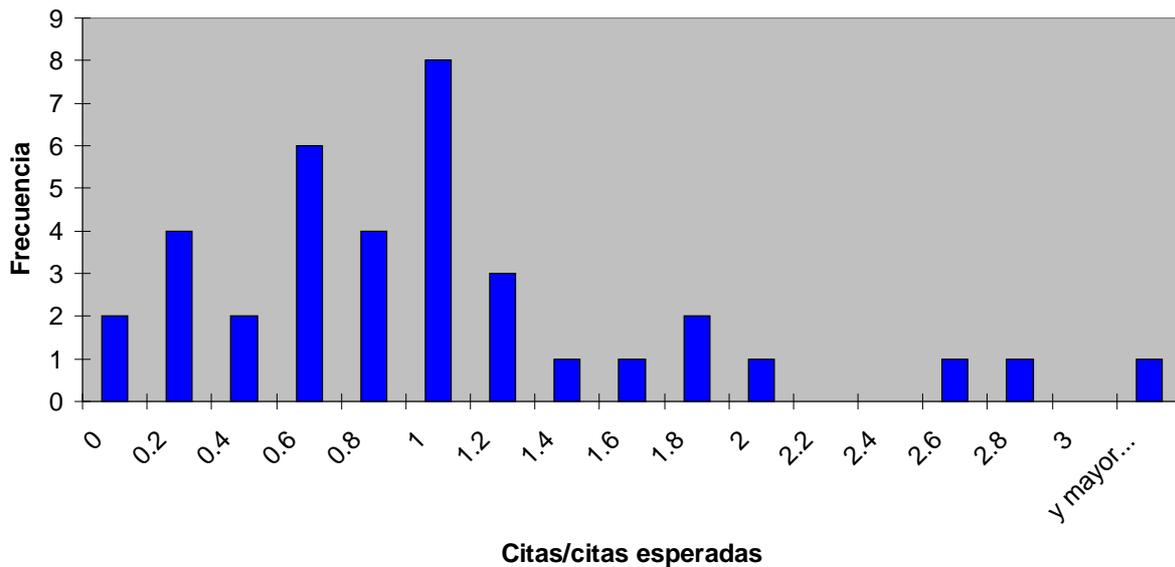


Figura 18. Distribución *por centros* del número de citas recibidas frente a esperadas de las publicaciones.

Tampoco la media, ligeramente superior a la unidad (1.025) varía significativamente ni con el tamaño de los centros (1.076 y 0.984 para centros pequeños y grandes

respectivamente) ni con el hecho de que el centro sea Universitario (0.934) o adscrito a un OPI (1.068).

En conclusión, la calidad de las publicaciones es globalmente alta, sin que haya tendencias obvias a que varíe ni con el tamaño del centro ni con su adscripción.

5. Necesidades, según los investigadores

En este apartado se recogen las mayores necesidades de la Astronomía española, a juicio de los investigadores que respondieron la encuesta. En la misma se solicitaba a los investigadores que marcaran las tres mayores necesidades (por orden) de entre una lista y se daba además la opción de añadir otras distintas bajo un capítulo de "otros".

La figura 19 muestra la distribución de las respuestas, agrupando las tres respuestas remitidas por los investigadores, sin distinguir el orden.

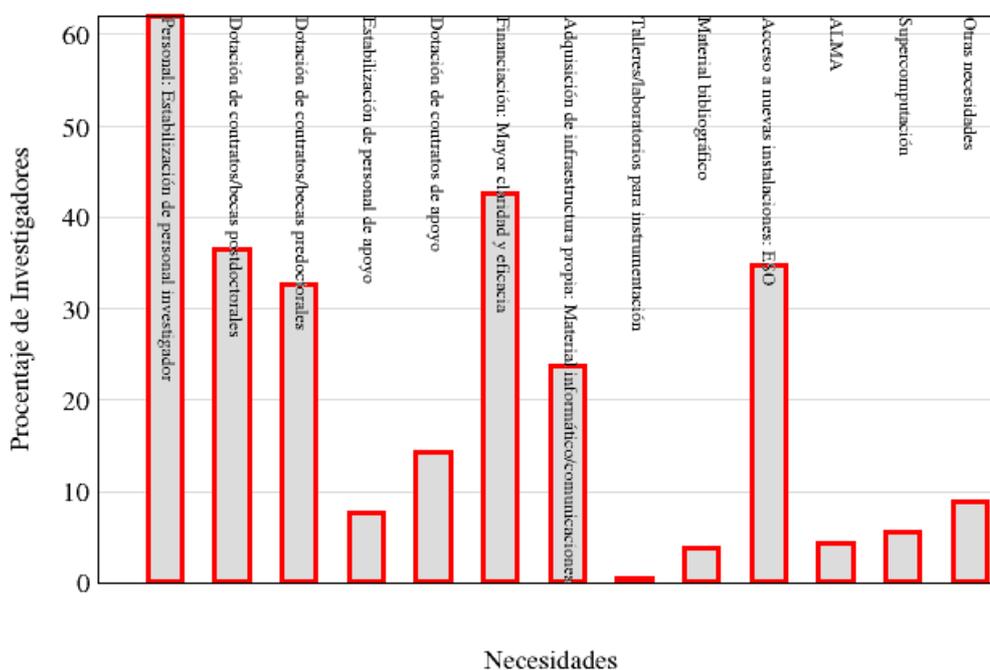


Figura 19. Distribución de las principales necesidades, a juicio de los investigadores.

Como se ve hay un bloque mayoritario de necesidades en torno a la dotación de personal, siendo la estabilización del personal investigador la necesidad más sentida. En segundo lugar aparece una mayor claridad y eficacia en la financiación y, en tercer lugar, a entrada de España en ESO.

En la figura 20 se separan las distribuciones para la primera, segunda y tercera prioridad para los investigadores.

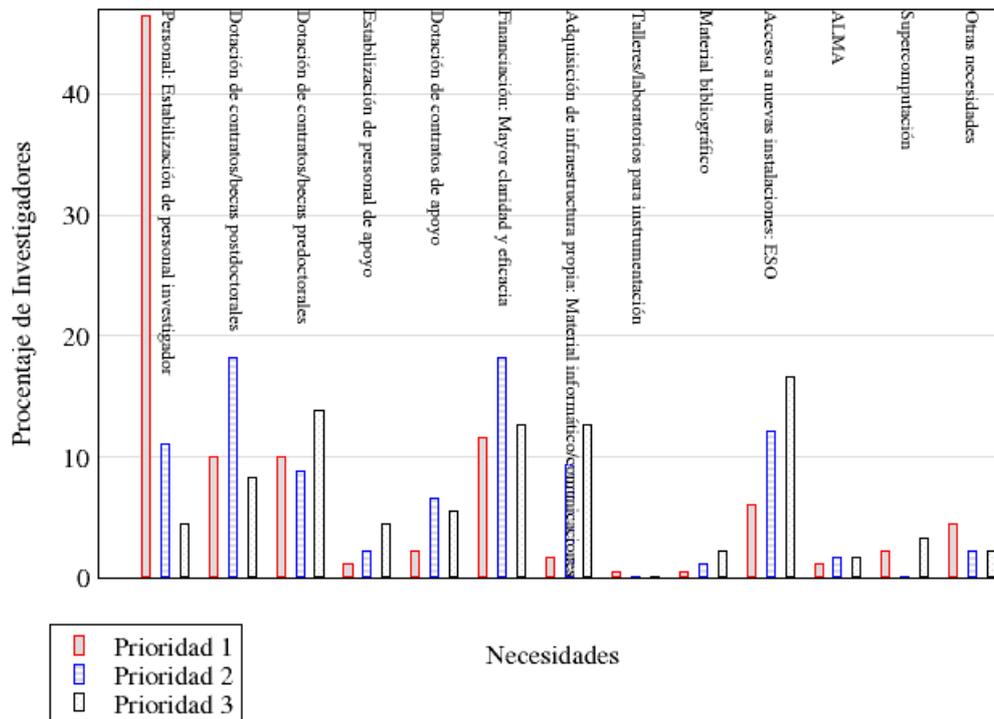


Figura 20. Distribución de las principales necesidades, separando las tres prioridades.

Aquí se puede ver que el resultado final de la encuesta, en cuanto a que las tres principales prioridades son la dotación de personal, la claridad en la financiación y la entrada de España en ESO, se reproducen en las prioridades de los propios investigadores.

Finalmente se presenta la distribución de respuestas (sin separar el orden) en función de la situación laboral de los encuestados (figura 21).

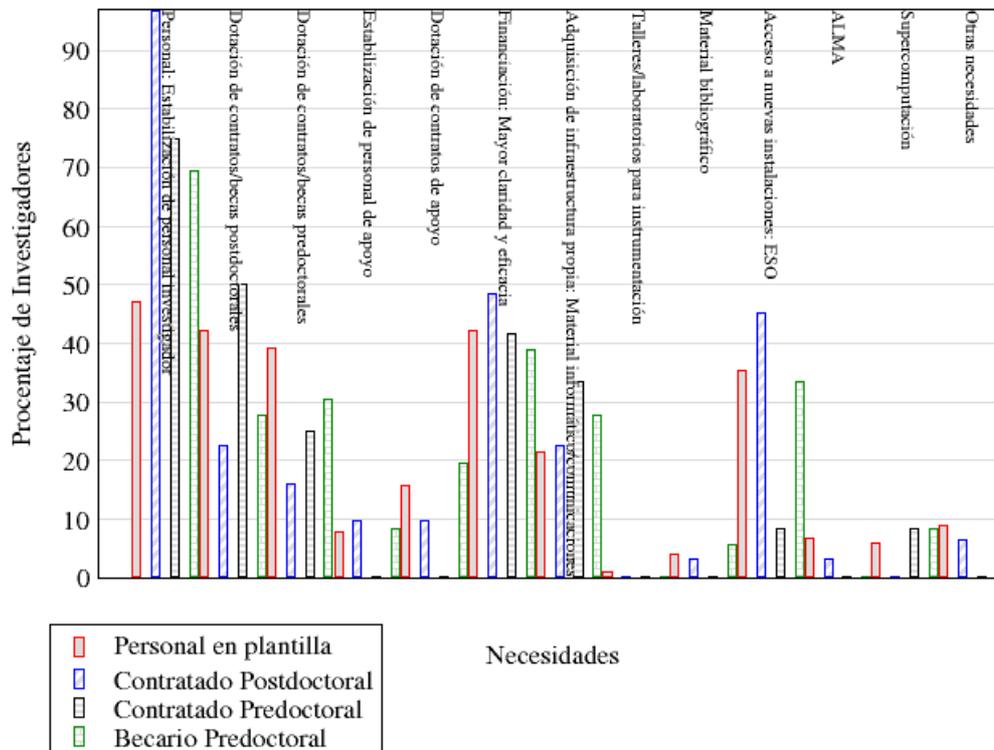


Figura 21. Distribución de las tres principales necesidades, a juicio de los investigadores separando por categoría profesional.

Si bien es obvio que la situación personal de los encuestados ha influido en las respuestas, hay que notar que por categorías se reproduce, con matices, prácticamente la misma secuencia de necesidades.

Por consiguiente, en opinión muy generalizada de los investigadores españoles, las tres principales necesidades de la investigación astronómica en España son:

- Personal, y en concreto estabilización de personal en plantilla
- Financiación: Mayor claridad y eficacia
- Entrada de España en ESO

6. Conclusiones

Resumiendo las principales conclusiones de este estudio, destacamos las siguientes:

a) La investigación en Astronomía en España es de buena calidad.

Esta conclusión está fundamentada por una serie de hechos, entre los que cabe destacar:

- La producción científica, recogida en forma de publicaciones en revistas especializadas, muestra un nivel de alrededor de 1 publicación por año y por investigador (incluyendo investigadores en plantilla, contratados y becarios).
- Los artículos se publican en revistas de alto índice de impacto (promedio 3.26) y son de impacto relativo incluso mayor que el de la media de esas revistas (2.5% por encima). Ninguno de los indicadores de calidad de los artículos muestra tendencia significativa alguna a aumentar o disminuir con el tamaño del centro de investigación o con la adscripción orgánica del mismo a una Universidad o a un Organismo Público de Investigación.
- Hay una gran actividad en cuanto a la participación en grandes proyectos de instrumentación.
 - En particular los centros españoles de I+D+i participan en todas las misiones aprobadas y en estudio del programa científico de la ESA (entre otras), siendo esta participación muy extendida entre los centros (al menos 11).
 - La participación en proyectos de instrumentación para observatorios terrestres está por una parte muy vertebrada alrededor de los grandes proyectos (Gran Telescopio Canarias, antena de 40 metros, ALMA) y por otra parte alrededor de instrumentos para observatorios ya existentes o instrumentación "dedicada". El número de centros que participa en este apartado es menor (7).
- En cuanto al desarrollo de centros de supercomputación necesarios para el florecimiento de la Astronomía y Astrofísica computacional, la actividad es, en el mejor de los casos, muy limitada. A pesar de esto, existen diferentes grupos de astrónomos que realizan un trabajo en este campo, aunque con serias limitaciones en la temática que pueden abordar por falta de infraestructuras apropiadas.
- Los investigadores españoles acceden frecuentemente a grandes instalaciones extranjeras o supranacionales que funcionan en régimen de competición y en las que no se tiene tiempo pre-asignado. Entre estas instalaciones están prácticamente todos los grandes radio-observatorios y telescopios ópticos en tierra en los que astrónomos de centros españoles han ejecutado un centenar de propuestas cada año en el trienio 1999-2001. También se ha accedido más de 40 veces a observatorios y sondas espaciales. Finalmente, unos pocos grupos han utilizado instalaciones externas de supercomputación: una docena de veces durante ese trienio.

b) En España hay pocos investigadores en Astronomía.

En la tabla 8 siguiente se comparan el número de investigadores en Astronomía y el número de tesis doctorales por año. Se incluyen los casos de España (según el presente informe), Francia y Reino Unido (datos de 1998, basados en el documento de L. Woltjer

Perspectives en Astronomie et place de la France, que aparece en <http://www.obspm.fr/section14/arcachon.html>). Se comparan estos datos frente al número de habitantes (en 2000) obtenidos del "2002 World Development Indicators" del Banco Mundial (accesibe desde http://www.worldbank.org/data/wdi2000/pdfs/tab1_1.pdf).

Tabla 8. Comparación de varios parámetros entre países europeos.

	España	Francia	Reino Unido	Alemania
Investigadores en Astron.	460	950	1470	1400
Tesis/año	15	60	100	65
Habitantes (millones)	39	59	60	82
Astrónomos/millón de hab.	11.8	16.1	24.5	17.1

En la última fila de la tabla 8 se aprecia que el número de astrónomos en por millón de habitantes en España es muy inferior al de Francia y Alemania, y menos de la mitad que en el Reino Unido.

Por tanto la primera necesidad que apuntan los investigadores en la encuesta, es decir la dotación de personal investigador, está perfectamente sustentada por los números. Asimismo, es de destacar que al ritmo de crecimiento actual, casi nulo, el envejecimiento de la plantilla investigadora es imparable por lo que la necesidad de que entre "savía nueva" en el tejido investigador es un motivo adicional de apoyo a esta necesidad.

c) La formación de investigadores en Astronomía en España debe crecer más y mejor

De la misma tabla 8 podemos comprobar que el número de nuevos doctores por año y por investigador en Astronomía en España anda alrededor de 0.03, mientras que en los demás países esta cifra está alrededor del doble.

Como ya se ha indicado el número actual de tesis doctorales en Astronomía por año (15) debería crecer hasta cerca de 25 en unos pocos años, merced al número de becarios postdoctorales que hay en la actualidad (100). Esto todavía no nos pondrá al nivel de los otros países europeos de referencia, por lo que el esfuerzo realizado en la dotación de becas en los últimos años debe no sólo mantenerse sino que también incrementarse.

Hay que destacar también la poca eficiencia del actual sistema de doctorados "intra-universitarios" sin apenas posibilitar la materialización de programas de doctorado inter-universitarios. El esfuerzo actual en docencia de tercer ciclo, equivalente a más de 6 programas de doctorado completos, no puede verse compensado más que en unos pocos centros grandes donde se puede impartir una parte sustancial de los mismos en temas de Astronomía. Asimismo, el esfuerzo de más de 6 programas de doctorado debería dar lugar, sin duda alguna, a más de 15 tesis doctorales por año. Es imperativo buscar e implementar nuevas soluciones que aumenten la eficacia del esfuerzo dedicado a la formación de astrónomos.

d) Entre las áreas de interés, las hay especialmente castigadas.

Incluso olvidándonos del bajo número de profesionales que globalmente se dedican a la Astronomía en España, en el estudio de la demografía científica se han detectado áreas peor dotadas que la mala dotación general. Entre estas destacan las siguientes:

- En el aspecto puramente temático, frente a Francia y Reino Unido destaca la baja dedicación a Sistema Solar.
- Aunque este estudio no es completo en este aspecto, la bajísima dedicación recogida en temas de desarrollo instrumental (Laboratorio) es cuando menos preocupante. Uno de los motivos por el que el presente estudio es incompleto en este campo es que dicho desarrollo se realiza habitualmente fuera de los centros de investigación en Astronomía, lo cual también es un dato preocupante.
- Se ha detectado muy poca actividad en el desarrollo de Astronomía y Astrofísica computacional. La situación de la infraestructura para supercomputación numérica es muy preocupante. No existe en España ningún centro dedicado que ofrezca la oportunidad a los astrónomos españoles de competir con sus colegas de países de nuestro entorno. Dada la importancia que los métodos de supercomputación numérica están tomando en el desarrollo de la Astronomía, este desequilibrio podría resultar muy nocivo.
- Si bien el mayor potencial observacional está en la banda óptica, ni sumando la dedicación efectiva total de observación en el óptico e infrarrojo se supera el equivalente a 160 personas. A pesar de ser esta una de las especialidades mejor servidas, este número es claramente insuficiente para acometer la explotación científica del 55% de un telescopio de clase 2m, el 35% de un telescopio de clase 4m y el 90% de un telescopio de clase 10m (sumando únicamente los observatorios del Roque de Los Muchachos y Calar Alto).
- En otras bandas del espectro, y muy notablemente en el ultravioleta y rayos X, la dedicación de los Astrónomos españoles es minúscula, al menos si se la compara con el Reino Unido.

e) La participación en proyectos de instrumentación debe mejorar. Una clave: la entrada en ESO.

Como ya se ha comentado, la situación aparece bastante distinta al comparar la participación en instrumentos para misiones espaciales y para observatorios terrestres. En este último caso, la participación está significativamente menos extendida que en el primero, a pesar de que el potencial humano involucrado en observaciones espaciales alcanza tan sólo un tercio del dedicado a observaciones desde tierra.

En la asimetría de esta situación juega sin duda un papel tanto la pertenencia de España a la Agencia Europea del Espacio (ESA) como la subsiguiente dotación de proyectos para instrumentación a través del Plan Nacional del Espacio. En el año 1999 (único en el que se ha podido examinar esta cantidad) se invirtieron más de 3 millones de Euros en este concepto.

Tampoco se quiere reflejar que con la pertenencia de España a ESA y la existencia de un Programa Nacional del Espacio se da cumplida cuenta del papel que España debería jugar en el contexto internacional en la Astronomía espacial. Entre otras carencias son de destacar, en este campo, las siguientes:

- España no tiene un plan a medio/largo plazo de investigación espacial
- España no tiene programa espacial propio, ni una agencia espacial española
- Si bien la presencia de españoles como co-investigadores en misiones e instrumentos espaciales es ya habitual, la participación con nivel de investigador principal es muy poco frecuente.

En el caso de las infraestructuras terrestres la situación es sensiblemente peor ya que ni España pertenece al Observatorio Europeo Austral (ESO) ni existe la dotación subsiguiente para desarrollo de instrumentación, con la excepción de una partida en 1999. Con una dotación global estabilizada del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica de alrededor de 2 millones de Euros anuales, poco se puede hacer más que mantener los grupos en funcionamiento. Hay que añadir que la participación española en el proyecto HEGRA, que estuvo funcionando hasta finales de 2002, ha sido financiada a través del Programa Nacional de Altas Energías.

Por consiguiente, otra de las prioridades que declaran los investigadores (la entrada de España en ESO) sería sin duda la clave para que esta generalización del desarrollo instrumental entre los centros que ya ocurre alrededor de la instrumentación espacial, ocurriera también para los instrumentos en Tierra. La entrada de España en organismos internacionales (CERN, ESA) ha sido siempre un elemento clave de dinamización de las actividades propias del país, más allá de la contribución "obligatoria" al correspondiente organismo supranacional.

Ni que decir tiene que el interés en el plano puramente científico para los investigadores españoles de acceder (en condiciones de equidad) al cielo del hemisferio sur con instrumentos de vanguardia supondría un empuje muy importante para la Astronomía española.

Finalmente, las carencias en Astronomía Computacional que se han detectado son graves y podrían incidir negativamente en el futuro de la Astronomía española. También en este campo cabe esperar que la entrada en ESO tenga consecuencias positivas en el desarrollo de software (y hardware) para supercomputación.

f) El Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica debe continuar y aumentar su peso.

Hay una serie de carencias y/o disfunciones que sufre la investigación española en Astronomía, muchas de las cuales se han discutido ya, y que deberían corregirse. Una herramienta clave es el Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica cuyo primer ciclo de 3 años está a punto de concluir y cuyos efectos han sido obviamente beneficiosos. Hay otros aspectos en los que el presente estudio ha detectado carencias y en los que el Programa debería incidir.

- Activar la formación de personal investigador, continuando y ampliando la dotación de becas de formación de personal investigador. Esta acción debería

complementarse posteriormente con la correspondiente dotación de contratos de investigador postdoctoral y en su caso de plazas en plantilla.

- Desarrollar un verdadero plan de investigación en Astronomía y Astrofísica a medio plazo. En este plan deberían contemplarse acciones de promoción de todas las áreas (nótese que España sigue siendo deficitaria numéricamente en todas), con especial interés en las especialmente castigadas, si es que se considera que España debe tener capacidad investigadora en las mismas.
- Actuar como motor y coordinador de toda la actividad de desarrollo de instrumentación que conllevaría la muy necesaria entrada de España en ESO.