ACADEMIA
NACIONAL
DE CIENCIAS

ANCEFN
Academia Nacional de
Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

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

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

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

República Argentina
Agosto 2015

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

En Tapa:

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

Diseño, Diagramación y Tapa:
Lic. Lucía Hamity

Revisión de Estilo:
Dra. Liliana Tozzi

ISBN: 978-987-46127-0-0

Estado y Perspectivas de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la Argentina está distribuido bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

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

Comité Interacadémico
Pedro Depetris, Roberto Rossi, Juan Tirao
Academia Nacional de Ciencias

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

Coordinador General
Enrique Vallés

Coordinadores

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

República Argentina
Agosto 2015

ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS

COMISIÓN DIRECTIVA
2012-2016

Dr. JUAN TIRAO
Presidente

Dr. PEDRO DEPETRIS
Vicepresidente

Dr. ROBERTO ROSSI
Académico Secretario

Dr. HUGO MACCIONI
Académico Prosecretario

Vocales Titulares
Dr. EDUARDO STARICCO
Dr. HÉCTOR BARRA
Dr. ROBERTO MIATELLO
Dra. BEATRIZ CAPUTTO

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

ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

MESA DIRECTIVA
2014-2016

Dr. ROBERTO CIGNOLI
Presidente

Dr. ARMANDO PARODI
Vicepresidente

Dr. ENRIQUE BARAN
Secretario General

Dra. MARIANA WEISSMANN
Secretario de Actas

Dr. VÍCTOR YOHAI
Tesorero

Ing. LUIS DE VEDIA
Protesorero

Suplentes
Dra. MARTA ROSEN
Dr. ROBERTO FERNÁNDEZ PRINI

TABLA DE CONTENIDOS

Prólogo 9
Capítulo1: Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 11
Capítulo 2: Astronomía 37
Capítulo 3: Biología de Sistemas 81
Anexo Capítulo 3: Biología de Sistemas 129
Capítulo 4: Ciencias de la Computación 153
Anexo Capítulo 4: Ciencias de la Computación 199
Capítulo 5: Física 203
Capítulo 6: Geología 249
Capítulo 7: Matemática 295
Capítulo 8: Oceanografía 335
Anexo Capítulo 8: Oceanografía 377
Capítulo 9: Paleontología 379
Capítulo 10: Química 403
Capítulo 11: Química Biológica y Biología Molecular 439
Anexo Capítulo 11: Química Biológica y Biología Molecular 475
Abreviaturas 497

PRÓLOGO

A mediados de 2013, la Academia Nacional de Ciencias (ANC) y la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN) comenzaron a considerar la posibilidad de encarar un estudio sobre la situación actual de las ciencias que cultivan ambas academias, emulando los estudios publicados por la Sociedad Científica Argentina en las décadas de 1920 y 1970.

Este estudio era necesario, pues si bien se disponía de un sinnúmero de estadísticas nacionales de producción y productividad de los investigadores en las distintas ciencias exactas, físicas y naturales, así como sobre la formación de recursos humanos, proyectos de investigación e inversión en ciencia y tecnología; no se disponía de un estudio cualitativo que reflejase la valoración de los científicos sobre la realidad y su visión sobre la evolución deseable de las disciplinas, sustentado en información concreta y estadística tomada de bases de datos confiables.

En conocimiento de que la ANC y la ANCEFN estaban preocupadas por estos problemas, la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva invitó a ambas academias a colaborar para la producción de un documento que contribuyese a subsanar esas faltas.

Esta invitación fue entusiastamente aceptada, pues otorgaba los recursos económicos necesarios para encarar el deseado diagnóstico de la situación de las ciencias exactas, físicas y naturales y a la vez poder cumplir con uno de los objetivos principales de las academias, que es asesorar a los poderes públicos en los asuntos referentes a las ciencias que cultiva cada Academia. Fruto de esta invitación es el documento que estamos presentando.

Para la producción de este documento se formó un Consejo Directivo Interacadémico, integrado por los doctores Pedro Depetris y Roberto Rossi por la ANC, los doctores Eduardo Charreau y Mario Mariscotti por la ANCEFN y los presidentes de ambas academias. Este Consejo designó a distinguidos investigadores, no pertenecientes a las academias, para que hiciesen un diagnóstico de la situación de cada una de las principales ramas de las ciencias exactas, físicas y naturales desarrolladas en el país, destacando tanto los aspectos positivos como las falencias y sugiriendo ideas para subsanar estas últimas. Estos informes sirvieron de base para los diez capítulos dedicados a cada una de las ciencias consideradas.

Además, se designó al Dr. Enrique Vallés para coordinar las actividades tendientes a la concreción del proyecto. En el capítulo inicial se describen en

detalle estas actividades y el procedimiento utilizado para la elaboración de esos diez capítulos y se extraen algunas conclusiones de carácter general.

A diferencia de las mencionadas publicaciones de la Sociedad Científica Argentina, en el presente estudio el énfasis no está puesto en una detallada descripción de la evolución histórica de cada una de las ciencias, sino en la situación actual.

Creemos que el trabajo que presentamos será de utilidad para las autoridades que deban diseñar las políticas de ciencia y técnica y es deseable que este tipo de diagnósticos se realicen periódicamente, para verificar los resultados de dichas políticas. También será de utilidad para la comunidad científica, los interesados en proseguir una carrera en algunas de las ciencias consideradas en este informe y, por supuesto, para el gran público que tiene derecho a conocer las potencialidades de nuestro país.

En nombre de la ANC y la ANCEFN agradecemos a las autoridades del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación la confianza depositada en nuestras instituciones para llevar a cabo este estudio. Asimismo, nuestro agradecimiento al Comité Interacadémico, al Coordinador General, a los Coordinadores y a los Evaluadores por el valioso trabajo realizado. Finalmente, nuestras expresiones de gratitud a los muchos científicos que aportaron su experiencia y valoración del estado de la ciencia en nuestro país y a todos los que contribuyeron a la concreción de este trabajo.

El optimismo sobre el futuro reflejado en algunas publicaciones de la década de 1960, motivado por el gran desarrollo de la actividad científica del país a partir de mediados de la década de 1950, se vio lamentablemente frustrado por los avatares políticos. Desde la restauración democrática se ha conseguido un desarrollo continuo, con notables progresos en todas las áreas. Es nuestro ferviente deseo que así prosiga y que los logros obtenidos en ciencias básicas generen aplicaciones que beneficien a nuestra sociedad.

Juan Tirao
Presidente ANC

Roberto Cignoli
Presidente ANCEFN

CAPÍTULO 1

CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

Coordinador General
Enrique Vallés
UNS, PLAPIQUI (CONICET-UNS), Bahía Blanca

Agradecimientos

Se agradece muy especialmente a los directores y personal de las instituciones consultadas para obtener la información que forma parte de este documento. En particular a la Dra. Mirta Flawia, al Dr. Jorge Tezón y la Lic. María Beatriz Gavilán del CONICET; al Dr. Alfredo Juan de la CIC, al Dr. Luis María Fernández, la Lic. Marcela Groppo y el Prof. Martín Dubini de la CONEAU; el Dr. Armando Fernández Guillermet del CUCEN; el Lic Carlos Casanello y Claudia Rojas del FONCyT, el Lic. Edgardo Sampaolesi de de la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación; la Ing. Agr. Águeda Suárez Porto de Menvielle de la Dirección de Relaciones Internacionales del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva; la Lic. María Teresa Borches del programa Raíces del MINCyT y los Dres. Mario Albornoz y Rodolfo Barrere del RICyT. Quiero también agradecer a los señores coordinadores de las distintas disciplinas por el entusiasmo y dedicación que pusieron en todo momento para llevar adelante este proyecto y por las amables y enriquecedoras reuniones de discusión que mantuvimos durante su ejecución.

ORIGEN Y PROPÓSITOS DEL PROYECTO

En el mes de diciembre de 2013 las autoridades de la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT) acordaron con los señores Presidentes de la Academia Nacional de Ciencias (ANC) y la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN) la implementación de un proyecto para evaluar la situación y estado de desarrollo de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en el país. En el marco de este proyecto, ambas Academias se comprometieron a realizar un análisis lo más exhaustivo posible sobre el estado y perspectivas de las disciplinas que corresponden a su ámbito: Astronomía, Biología, Ciencias de la Tierra, Física, Química y Matemática. Se decidió incluir también a las Ciencias de la Computación.

Para lograr este objetivo, asegurando un mínimo de uniformidad y coherencia en la cobertura de las distintas disciplinas, un Comité Interacadémico integrado por los presidentes de ambas Academias y por los académicos Pedro José Depetris y Roberto Rossi por la ANC, y Eduardo Charreau y Mario Mariscotti por la ANCEFN, fue el encargado de definir los lineamientos centrales que debería cumplir cada uno de los documentos correspondientes. En forma sintética éstos fueron los siguientes:

Realizar una breve descripción del alcance de cada disciplina, de los principales campos que abarca y del estado del conocimiento en el mundo.

Describir el grado de desarrollo de la disciplina en el país, a través de: la cantidad y calidad de recursos humanos disponibles en el ámbito académico-científico; la información sobre el estado y calidad de la infraestructura, equipamiento y financiación disponibles; y la calidad y cantidad de las publicaciones científicas, en comparación con la de otros países latinoamericanos y con el contexto mundial. Identificar los principales centros de formación de recursos humanos existentes en el país para cada disciplina, tanto a nivel de grado como de posgrado.

Enumerar las sociedades científicas existentes y sus principales fines, describiendo el rol que desempeñan.

Detallar las principales revistas periódicas argentinas de carácter científico como así también las de divulgación y sus editoriales, evaluando su calidad y significación.

Establecer recomendaciones generales para el fortalecimiento de la disciplina y los requerimientos mínimos que deberían implementarse para lograr un grado de desarrollo mediano o alto en aquellas que se consideran de máxima importancia.

Para llevar a cabo el proyecto, se decidió subdividirlo en las siguientes áreas de trabajo: Astronomía; Biología de Sistemas (Botánica, Zoología y Ecología); Biología Molecular; Ciencias de la Atmósfera y Océanos; Ciencias de la Computación; Física; Geología; Matemática; Paleontología; Química Biológica; Química Inorgánica, Fisicoquímica y Química Analítica; y Química Orgánica. Con el fin de analizar el estado de cada una de estas áreas se designó un coordinador para cada una. Este fue a su vez el responsable de designar un grupo de colaboradores para que lo asistieran en la obtención y preparación de la documentación necesaria para la elaboración de los respectivos informes. La elección de los colaboradores de cada disciplina se realizó procurando que fueran representativos de los diferentes temas que abarca cada una de las áreas y que además tuvieran su lugar de trabajo en distintas áreas geográficas del país.

Para asegurar el cumplimiento de los objetivos propuestos dentro de los plazos acordados con el MINCyT y gestionar y organizar la obtención de la información necesaria para la elaboración de los informes correspondientes, se designó también un coordinador general que tuvo a su cargo la organización de las reuniones de trabajo conjunto y la supervisión general del proyecto.

PUESTA EN MARCHA

La reunión inaugural del proyecto se llevó a cabo en la sede de la ANCEFN el 25 de febrero de 2014 con la presencia del Dr. Alejandro Ceccatto y otras autoridades de la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica del MINCyT, los presidentes de ambas Academias de Ciencias -Dres. Roberto Cignoli y Juan Tirao- y los coordinadores designados por el Comité Interacadémico de las Academias.

En el curso del año 2014, el plenario de coordinadores conjuntamente con el coordinador general y los presidentes de ambas Academias se reunieron en seis oportunidades durante los meses de febrero, abril, junio, agosto, octubre y noviembre. También asistió en calidad de invitado el presidente del Comité Ejecutivo del Consejo Universitario de Ciencias Exactas y Naturales (CUCEN), el Dr. Armando Fernández Guillermet. Cada reunión tuvo una duración de dos días y en el curso de las mismas se fueron ajustando los lineamientos del trabajo y definiendo los contenidos generales y el ordenamiento que debían cumplir cada uno de los documentos para cumplimentar en la medida de lo posible los objetivos originales del proyecto y asegurar un mínimo de uniformidad en la presentación de los informes.

A los fines de obtener la información necesaria para la realización del proyecto, fueron consultadas numerosas instituciones entre las que se pueden mencionar el Ministerio de Educación de la Nación (ME), la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU), universidades públicas y privadas, el Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCyT), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), el Programa RAICES de la Dirección Nacional de Relaciones Internacionales del MINCyT y el Consejo Universitario de Ciencias Exactas y Naturales (CUCEN). Para el análisis de la producción científica, se utilizaron las bases de datos de SCOPUS, SCImago y se contó además con el valioso aporte de los doctores Mario Albornoz y Rodolfo Barrere de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e Interamericana (RICyT).

La capacidad de evaluar la evolución y el estado actual de las ciencias, y de esbozar conclusiones y recomendaciones dependen de la cantidad y calidad de la información disponible para hacer un diagnóstico correcto. El mayor inconveniente que se debió enfrentar para la realización de este trabajo fue el de la obtención de información detallada y precisa que permitiera hacer un análisis con base en datos confiables y uniformes de las distintas fuentes utilizadas. Si bien existió en general buena predisposición de los responsables de las distintas

fuentes consultadas, muchos de los datos solicitados llegaron de manera fragmentada. En muchos casos pudieron detectarse vacíos de información, valores contradictorios suministrados por las distintas instituciones, bloques globales de datos sin la adecuada discriminación disciplinaria o cronológica, datos disponibles en formatos cuya utilización requirieron la transcripción manual de las cifras para poder ser utilizados en el análisis, etc. Por ejemplo, el promedio anual de licenciados en Matemática de la UNC, UBA, UNS, UNL y UNMdP, graduados entre 2003 y 2012, reportado por CONEAU es de 63, mientras que el mismo promedio proporcionado por la encuesta es de solo 30 egresados; que varias universidades no discriminen entre profesores y licenciados de Matemática podría explicar esta divergencia. Un segundo ejemplo de estos inconvenientes lo encontramos en el área de Geología donde en el Gráfico 6.2, el CICTERRA figura como el grupo de trabajo con mayor número de investigadores y becarios; esto se debe a que dicho instituto no discrimina geólogos de paleontólogos.

Ante la falta, o no coincidencia de información con respecto al número de graduados y otros datos disponibles en las facultades universitarias, fueron consultados también los decanos de distintas universidades. Esto fue motivo de numerosas quejas debido a que las autoridades universitarias pusieron de manifiesto que ellos sistemáticamente remitían esa información a las autoridades nacionales y que, por consiguiente, este tipo de demandas representaban una carga adicional de trabajo a la que no estaban obligados. Todo esto pone en evidencia la necesidad de unificar, optimizar y sistematizar los mecanismos de relevamiento de información asociada a las actividades educativas y científicas en el país, mejorando los controles de calidad y garantizando su accesibilidad.

Para salvar en parte estos inconvenientes y obtener información adicional sobre temas tales como el tamaño y número de grupos de investigación existentes en el país, su conformación, distribución geográfica, temas de trabajo, fuentes de financiación, necesidades prioritarias, actividades de cooperación internacional y de formación de recursos humanos, se decidió hacer una encuesta que fue enviada a un conjunto lo más exhaustivo posible de directores de investigación. Los colaboradores que fueron designados por cada coordinador ayudaron a identificar los diversos grupos de investigación a los que se envió la encuesta, procurando cubrir todas las disciplinas de cada área y evitando solapamientos, en la medida de lo posible.

A poco de iniciado el trabajo conjunto, se pudo comprobar que en algunas de las disciplinas previamente seleccionadas para realizar el estudio existían serias dificultades para obtener información suficientemente discriminada. Esto se puso de manifiesto al intentar, por ejemplo, discriminar los recursos asignados y la formación de recursos humanos entre las subdisciplinas de química biológica y biología molecular por un lado y a las de química orgánica,

inorgánica, analítica y fisicoquímica por el otro. Por ello se decidió integrar estas disciplinas en dos áreas, el primero que comprendía la Química Biológica y la Biología Molecular, y el segundo que integraba las restantes subdisciplinas de Química. También, el informe de Ciencias de la Atmósfera y Océanos quedó reducido a Oceanografía, porque no se pudo conseguir la información necesaria para cumplir con los objetivos propuestos. De esta manera, el trabajo quedó circunscripto a diez áreas.

Como parte del proceso de elaboración del documento final, cada uno de los informes elaborados por los coordinadores fue sometido a una doble evaluación por parte de académicos de la ANC y ANCEFN, quienes hicieron llegar sus comentarios y sugerencias. Esto permitió refinar y ajustar su contenido. El resultado de este proceso se vuelca en los diferentes capítulos que componen este documento.

Como resultado del trabajo realizado por los coordinadores de las distintas disciplinas y sus grupos de trabajo hay mucho material valioso que no ha podido incluirse en este documento. Se realizará en consecuencia una versión digital del proyecto que será publicada en las páginas de ambas Academias, donde se incluirán anexos a aquellos capítulos que contengan el material omitido en esta versión impresa.

PRINCIPALES CONCLUSIONES GENERALES

De los capítulos que corresponden a cada una de las disciplinas que abarca este proyecto, se obtienen algunas conclusiones generales que se comentan brevemente a continuación.

Evolución de las disciplinas en la Argentina

El desarrollo de las disciplinas que abarca este proyecto está bien arraigado en el país. Los orígenes de las investigaciones en Astronomía, Biología, Ciencias de la Tierra, Física, Matemática y Química se remontan a más de un siglo atrás. Sin embargo, es a partir de mediados del siglo pasado cuando el desarrollo de las ciencias en la Argentina adquiere las características propias que hoy conocemos. El establecimiento del sistema de dedicación exclusiva en la universidades nacionales y la creación del CONICET en el año 1958, contribuyeron significativamente a propulsar el desarrollo de la ciencia y la tecnología. El CONICET introdujo instrumentos novedosos, como la creación de la carrera del investigador, becas para estudios doctorales y posdoctorales y subsidios para la financiación de proyectos de investigación. Posteriormente, la creación de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica en el año 1996 y del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva en el año 2007 fueron hitos importantes que favorecieron y priorizaron el desarrollo de las investigaciones científicas y tecnológicas en el país.

El sistema científico

En general puede afirmarse que en los últimos años el sistema científico ha manifestado un crecimiento sostenido, tanto en lo que se refiere a la inversión global en ciencia y tecnología, como a las políticas e incentivos generados por parte de los organismos nacionales de ciencia y técnica. Esto ha tenido como consecuencia un aumento significativo del número de investigadores del sistema científico y el surgimiento de nuevos grupos de trabajo en diferentes regiones del país. También ha sido notable el fortalecimiento de los programas de formación de posgrado que ha resultado en un incremento notorio en la graduación de doctores en las disciplinas que comprende este estudio.

Paralelamente, se ha realizado un importante esfuerzo en el área de

infraestructura, particularmente edilicia, con la construcción de edificios para laboratorios, oficinas y servicios generales de unidades ejecutoras de CONICET en diferentes Centros Científico Tecnológicos (CCT) del país. Entre las acciones más destacables debe mencionarse el Plan de Obras para la Ciencia y la Tecnología, que está siendo ejecutado en forma conjunta por la Subsecretaría de Evaluación Institucional de la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y el CONICET. Su objetivo es ampliar y mejorar las condiciones edilicias de las unidades de investigación para contribuir al mejoramiento de la calidad de las instituciones científico tecnológicas. Contempla la construcción de más de 40 nuevos edificios en todo el territorio del país y más de 100 obras de ampliación y refacción de edificios existentes totalizando una inversión superior a los 1.000 millones de pesos.

La creación de los Sistemas Nacionales por parte de la Subsecretaría de Coordinación Institucional del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y el Consejo Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (CICyT) es otra iniciativa tendiente a lograr una utilización eficiente de los grandes equipamientos asegurando su mantenimiento y actualización.

También merece destacarse la creación de la Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología, que actualmente depende de la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica del MINCyT y que brinda a los investigadores argentinos acceso a través de internet al texto completo de publicaciones periódicas científicas y tecnológicas, libros, estándares, bases de datos referenciales, resúmenes y demás información bibliográfica nacional e internacional de interés para los integrantes del Sistema de Ciencia y Tecnología. Si bien este es un avance sustancial respecto del pasado, debe mencionarse que este esfuerzo es todavía insuficiente, dado que se carece de acceso a numerosas publicaciones consideradas de gran impacto para las distintas disciplinas que abarcan las ciencias exactas, físicas y naturales.

Todos estos esfuerzos han contribuido al crecimiento del sistema científico y merecen ser reconocidos. Restan sin embargo resolver numerosos problemas planteados por los investigadores de las distintas disciplinas que participaron de las encuestas realizadas como parte de este proyecto. Dependiendo de las características propias de cada área, el análisis de las respuestas de esas encuestas pusieron de manifiesto numerosos reclamos de los grupos de trabajo. Los más generalizados se refieren a insuficiente financiación, falta de infraestructura y equipamiento, y a las dificultades existentes para la importación de insumos y materiales para la investigación. Todos estos problemas son propios de un sistema que ha crecido substancialmente en materia de recursos humanos, pero que requiere de espacio, equipamiento e insumos para poder llevar adelante su trabajo en condiciones razonables. Estos reclamos varían de acuerdo con las diferentes disciplinas y con la localización geográfica de los distintos

grupos encuestados. En los capítulos siguientes se podrá encontrar un análisis pormenorizado de las necesidades más prioritarias para cada disciplina.

Por otra parte, merece destacarse que solo en dos de las disciplinas que comprende este trabajo se ha declarado como una carencia prioritaria la falta de recursos humanos. Esto se ha dado en el área de Ciencias de la Computación donde existe gran oferta de trabajo por fuera del sistema científico, y es por consiguiente más difícil mantener a los graduados universitarios dentro del sistema; y en Oceanografía, donde hay poca oferta de carreras universitarias de la especialidad y en consecuencia se gradúan muy pocos estudiantes.

Los progresos realizados deben atribuirse a un esfuerzo del Estado por alentar el desarrollo científico y tecnológico. Esto se ha puesto de manifiesto en el aumento progresivo de la inversión en ciencia y técnica que realiza el país. El Gráfico 1.1 muestra los datos reportados por el MINCyT sobre el crecimiento de la inversión en ciencia y técnica como porcentaje del producto bruto interno en el período 1996-2012. En el lapso de tiempo contemplado puede apreciarse que la inversión se mantuvo en niveles en torno al 0,5 % en los últimos años de la década del 90, decreció en el período 2000-2004 hasta niveles del 0,4 % y desde entonces ha crecido en forma sostenida hasta alcanzar el 0,65 % en la actualidad.

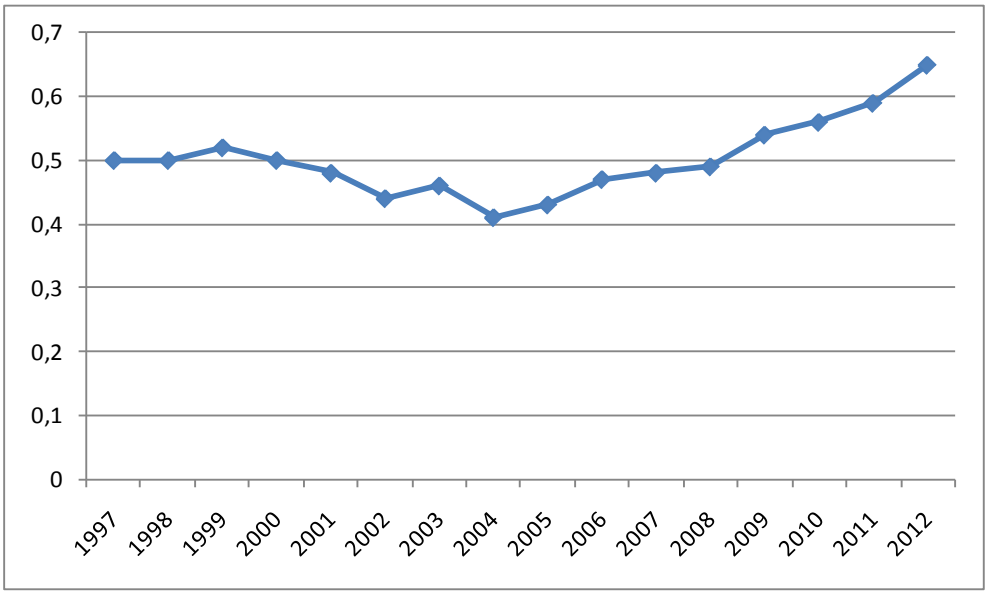


Gráfico 1.1. Inversión en ciencia y técnica en la República Argentina como porcentaje del producto bruto interno. *Fuentes*: MINCyT, Indicadores de Ciencia y Técnica.

Los datos de las Tablas 1.1. (a y b) que corresponden a información extraída de las cifras que proporciona el Banco Mundial (BM), permiten analizar la evolución de nuestro país en relación a otros países de la región y del mundo. Los países que se utilizaron en la comparación fueron Brasil, Chile, México y Venezuela en el ámbito latinoamericano y Australia, Canadá, China, EEUU, España, Italia y Reino Unido del resto del mundo. Si bien la información proporcionada por el BM difiere ligeramente de la que proporciona el MINCyT en el Gráfico 1.1, puede apreciarse claramente que en el período comprendido entre los años 1996 y 2012, nuestro país incrementó en un 55% sus recursos para CyT. Esto coloca a la Argentina, conjuntamente con Chile y China, entre los tres países del conjunto analizado donde más se ha incrementado la inversión en CyT como porcentual del PBI. También puede notarse que, en el mismo período, se duplicó el número de investigadores y aumentó significativamente la inversión por investigador.

PAÍS	INVESTIGADORES			PBI			% del PBI		
	1996	2006	2012	1996	2006	2012	1996	2006	2012
Argentina	24,47	35,04	50,58	0,272	0,263	0,608	0,42	0,49	0,65
Australia	60,95	86,50	97,28	0,401	0,747	1,534	1,66	2,19	2,40
Brasil	65,76	112,46	141,05	0,854	1,108	2,413	ND	1,01	1,21
Canadá	90,75	140,48	158,55	0,626	1,311	1,833	1,65	2,00	1,73
Chile		5,50	5,54	0,075	0,155	0,265	ND	0,31	0,42
China	534,67	1209,80	1377,13	0,861	2,73	7,492	0,57	1,39	1,98
EEUU	835,73	1120,55	1249,85	8,1	13,856	16,163	2,44	2,55	2,79
España	51,59	116,74	127,18	0,641	1,265	1,356	0,81	1,20	1,30
Francia	158,91	216,62	257,16	1,16	2,325	2,681	2,27	2,11	2,26
Italia	80,22	95,22	119,47	1,31	1,944	2,075	0,98	1,13	1,27
México	19,89	36,26	46,65	0,397	0,967	1,187	0,28	0,37	0,43
Reino Unido	144,73	254,95	256,34	1,304	2,583	2,615	1,80	1,72	1,72
Venezuela	1,11	3,98	8,69	0,068	0,183	0,381			

Tabla 1.1.a. Miles de investigadores; PBI en billones de dólares; Porcentaje de la inversión en CyT del PBI. *Fuente*: Banco Mundial.

Sin embargo, como se desprende de los datos suministrados en la última columna de la Tabla 1.1.b, la inversión por investigador en nuestro país es actualmente la más baja de todos los países considerados. Teniendo en cuenta los niveles de calidad y la magnitud de la producción científica argentina

que, como veremos más adelante, se mantiene entre las mejores del ámbito latinoamericano, puede afirmarse que la eficiencia del sistema es muy buena. Sin embargo esto está indicando que, si se pretende que los investigadores argentinos puedan contar con recursos similares a los de sus pares del resto del mundo, en el futuro va a ser necesario seguir incrementando los porcentajes de participación de las partidas de CyT hasta niveles que superen el 1% del PBI. Alcanzar esta magnitud de inversión nos pondría en una situación similar a la de Brasil y, si bien estaríamos todavía por debajo de los países más desarrollados, nos permitiría estar en condiciones de competir y generar tecnología en aquellas áreas que se consideren estratégicas para el desarrollo del país.

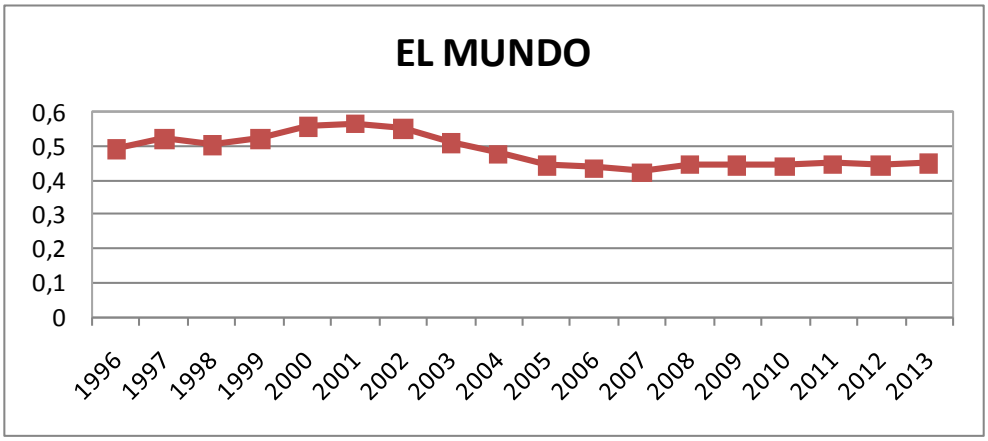
PAÍS	INVERSIÓN POR PEA			INVESTIGADORES			INVERSIÓN POR INVESTIGADOR		
	1996	2006	2012	1996	2006	2012	1996	2006	2012
Argentina	78	73	210	1,68	1,96	2,68	46.401	37.125	78.138
Australia	727	1.513	3.061	6,66	8,00	8,09	109.210	189.023	378.470
Brasil		117	279	0,87	1,17	1,35		99.312	207.006
Canadá	680	1.467	1.644	5,97	7,84	8,23	113.884	187.098	199.774
Chile		69	132	0,00	0,79	0,65		87.430	201.044
China	7	50	189	0,78	1,58	1,75	9.151	31.328	107.884
EEUU	1.447	2.284	2.842	6,11	7,24	7,87	236.663	315.272	361.056
España	309	694	749	3,06	5,34	5,40	101.071	129.907	138.759
Francia	985	1.637	2.015	5,95	7,23	8,54	165.651	226.250	235.892
Italia	561	895	1.047	3,51	3,89	4,76	160.087	230.144	219.835
México	30	77	97	0,53	0,78	0,88	56.724	98.226	109.420
Reino Unido	815	1.423	1.380	5,02	8,17	7,86	162.264	174.202	175.571
Venezuela				0,12	0,32	0,63			

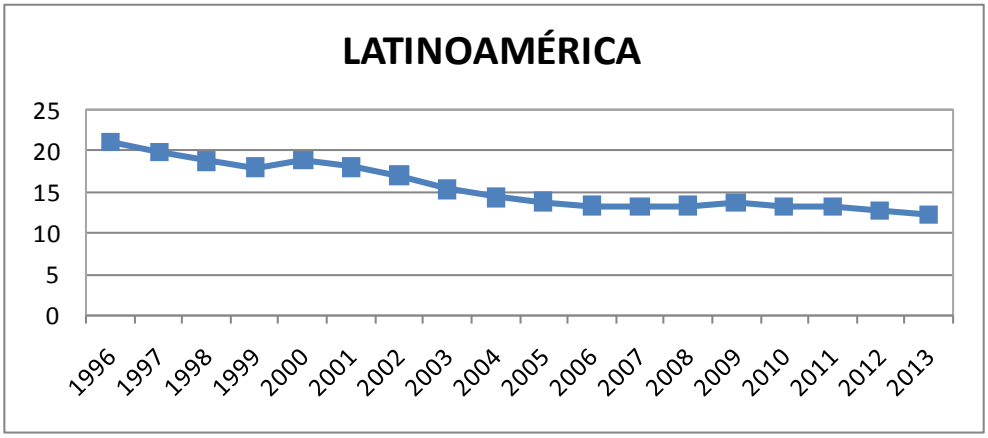
Tabla 1.1.b. Inversión en dólares en CyT por habitante económicamente activo; Miles de investigadores por millón de personas económicamente activas; Inversión anual en dólares por investigador. *Fuente*: Banco Mundial.

Queremos finalmente destacar que, como es bien sabido, la obtención de resultados en el campo científico y tecnológico requiere la aplicación en el tiempo de políticas que aseguren el mantenimiento de programas de crecimiento progresivo y sostenible. Es por ello muy importante para el progreso del sistema, que se persista en el sustento de políticas estables que garanticen su adecuada evolución, con la continuidad y estabilidad necesarias, evitando la generación de situaciones que provoquen el retroceso y la destrucción de los logros alcanzados.

Producción científica argentina

En lo que respecta a la calidad y cantidad de la producción científica argentina, puede afirmarse que, en las disciplinas que abarca este proyecto, se ha ido incrementando a un ritmo que le ha permitido conservar un nivel relativamente constante de visibilidad a nivel internacional. El número de las publicaciones científicas de las que participan investigadores argentinos oscila de acuerdo a las distintas áreas que se han relevado entre un 0,2% y un 2% del total de publicaciones a nivel mundial, con un promedio para todas las disciplinas de alrededor del 0,5 %. Estos promedios se han mantenido más o menos estables en el curso de los últimos quince años (ver Gráficos 1.2).





Gráficos 1.2. Porcentaje de artículos con autores argentinos, en el conjunto de las CEFN, con respecto al total mundial y latinoamericano en el período 1996-2013. *Fuente*: SCImago.

El panorama es diferente si se compara el volumen de las publicaciones científicas argentinas con las del ámbito latinoamericano. Aquí se observa una tendencia declinante de la producción argentina debida al crecimiento de las publicaciones científicas de los restantes países de la región. Mientras que a mediados de la década del 90, la producción científica argentina representaba aproximadamente el 20 % de la de Latinoamérica, en la actualidad ese porcentaje se ha reducido a un 12,5 %. En este sentido, debe destacarse el marcado crecimiento de la producción de Brasil que muestra un aumento substancial de sus publicaciones en el curso de los últimos quince años.

Con el objeto de poder analizar el volumen de la producción científica argentina en forma independiente del tamaño de la población de otros países de América y del mundo se realizó también una normalización por millón de la población económicamente activa de cada país. Al hacer esta comparación con otros países de Latinoamérica, nuestro país se posiciona generalmente en primera o segunda posición, según la disciplina que se considere, con Chile como su principal competidor. Al analizar la cantidad de artículos publicados en todas las áreas que comprende este estudio, la Argentina se posiciona en segundo lugar después de Chile.

Puede acotarse como dato importante que Chile, de acuerdo con lo reportado en las Tablas 1.1 (a y b), cuenta con un número mucho más pequeño de investigadores que el de nuestro país. Sin embargo, los recursos asignados por investigador en ese país son equivalentes a los de los países más desarrollados y muy superiores a los de Argentina.

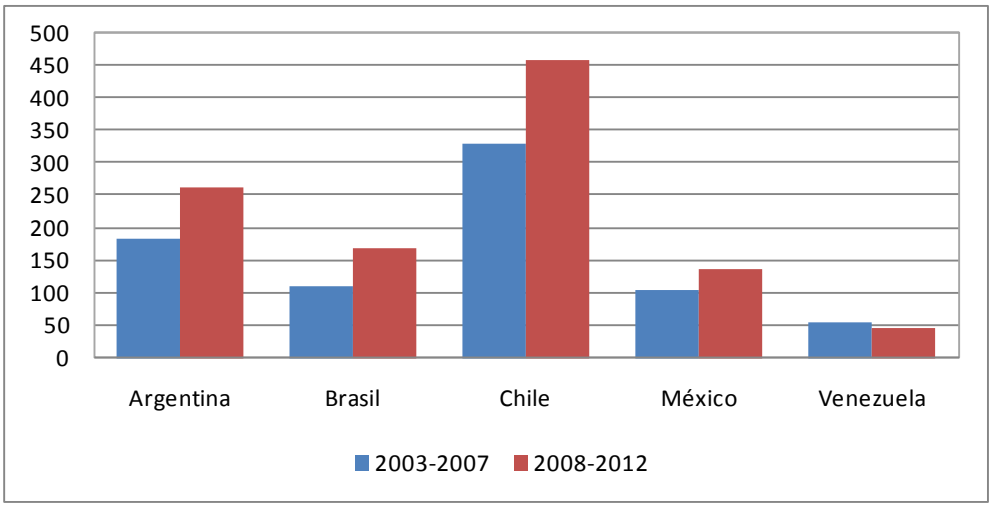


Gráfico 1.3. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuentes*: SCImago y Banco Mundial.

La comparación con el resto de los países analizados demuestra que, salvo en el caso de Paleontología donde la producción científica por millón de personas económicamente activas es casi del mismo orden que la de los países del resto del mundo, la producción argentina es significativamente menor. En esta comparación la Argentina solo supera a China que, debido a la magnitud de su población, muestra un índice más bajo.

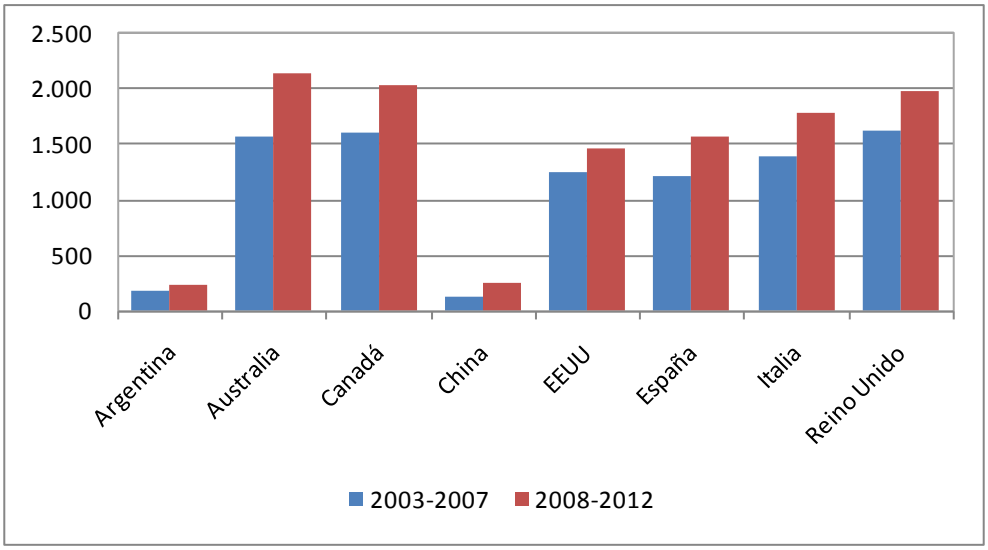


Gráfico 1.4. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuentes*: SCImago y Banco Mundial.

Una explicación plausible para entender estas diferencias es la magnitud de las inversiones en Ciencia y Tecnología en estos países. A partir de la información de las Tablas 1.1 (a y b) puede apreciarse que en el grupo de países analizados, Argentina, Chile, México y Venezuela realizan inversiones que en porcentaje de su PBI son bastante inferiores al 1%. Brasil -que ha aumentado significativamente su producción científica en los últimos años-, Canadá, China, España, Italia y el Reino Unido superan claramente ese límite; Australia y EEUU realizan inversiones que exceden el 2% de su PBI. Además, como también se desprende de la misma tabla, el mantenimiento en el tiempo de esos niveles de inversión por parte de los países que muestran los mejores índices en el Gráfico 1.4 ha sido constante. Esto ha permitido la consolidación de sistemas científicos con suficientes recursos y masa crítica para afrontar con éxito la resolución de problemas científicos y tecnológicos de gran complejidad.

A partir del análisis de la procedencia de grupos de trabajo, es posible inferir otro dato significativo: a pesar de los esfuerzos realizados para incrementar la

regionalización y lograr una distribución geográfica más uniforme, la mayor parte de la producción científica argentina se genera todavía en la ciudad autónoma de Buenos Aires y en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe.

Con el propósito de medir no solamente el volumen sino también la valoración y el interés internacional por la producción científica argentina, se realizó un análisis del número de citas promedio por artículo que recibieron las publicaciones científicas del país, en comparación con las del resto de los países analizados. Cabe destacar, sin embargo, que este parámetro debe tomarse con cautela dado que, en el ámbito latinoamericano, la producción científica de muchos países cuenta con la participación significativa de investigadores de los países desarrollados lo que hace que su producción sea más visible a nivel internacional. Los resultados de este análisis muestran que en el promedio de citas por artículo nuestro país se encuentra bien posicionado en el ámbito latinoamericano y con índices un tanto más bajos que los que corresponden al resto de los países que se utilizaron en la comparación. De esto podría inferirse que la calidad de la producción científica del país es razonablemente apreciada en el contexto internacional.

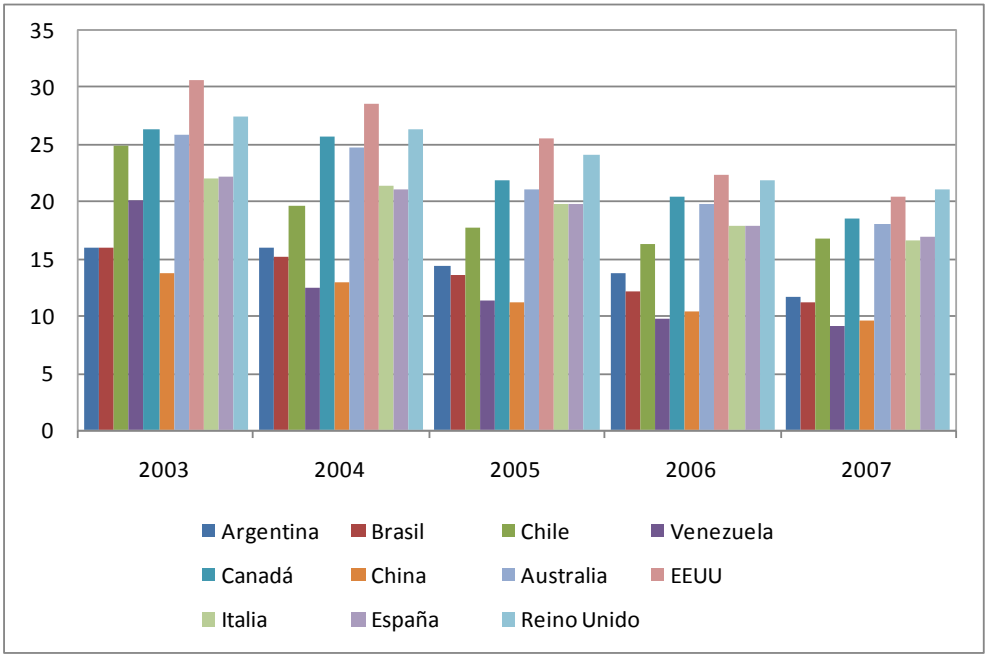


Gráfico 1.5. Número de citas promedio por artículo de cada país incluido en la comparación. Período analizado: 2003-2007. *Fuente*: SCImago.

Un dato significativo en el que se refiere a la colaboración internacional es que luego de la crisis del año 2001 la proporción de artículos científicos de autores argentinos con participación de investigadores de otros países se incrementó significativamente. Esto puede apreciarse en el Gráfico 1.6, que muestra la proporción de publicaciones de autores de argentinos que contaron con coautores de otros países en el período 1996-2014. Este aumento en la coautoría en las publicaciones con científicos extranjeros puede atribuirse, entre otras causas, a la necesidad de contar con apoyo internacional para poder seguir desarrollando la actividad científica en medio de una crisis como la que vivió nuestro país a partir del año 2001. Los países con los que más se han publicado trabajos en colaboración son EEUU, España, Brasil, Francia y Alemania.

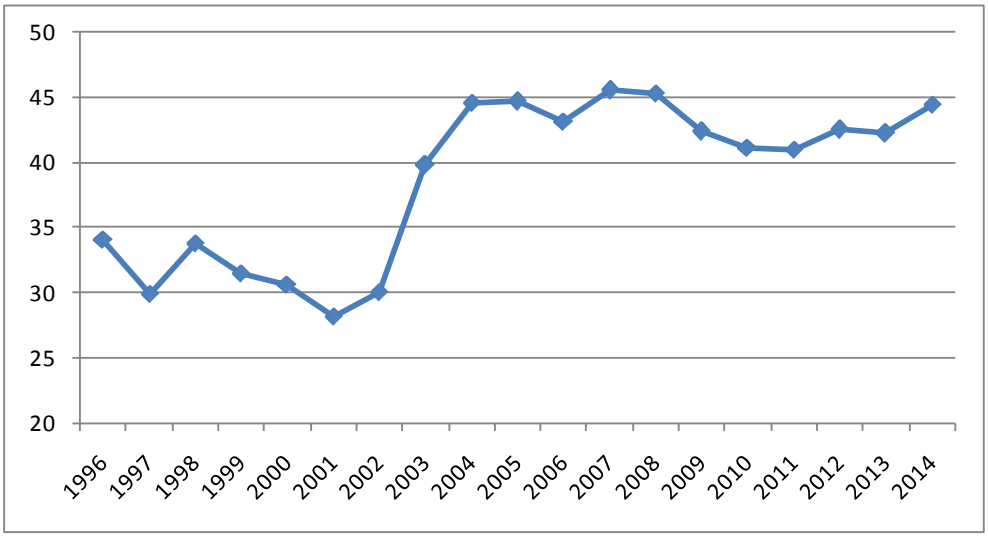


Gráfico 1.6. Porcentaje de artículos de autores argentinos en coautoría con investigadores de otros países. *Fuente*: SCImago.

En relación con la colaboración internacional, puede decirse también que este incremento en las actividades de cooperación se ha mantenido en el tiempo y que los diversos grupos argentinos de investigación interactúan hoy activamente con grupos científicos del exterior, a través de convenios e intercambio de recursos humanos (investigadores y becarios). Esto se materializa usualmente por medio de pasantías cortas y becas otorgadas por instituciones como el CONICET, el MINCyT, las distintas Universidades Nacionales, y a través de convenios bilaterales o multilaterales con una gran cantidad de países. Mediante estos mismos convenios, científicos extranjeros de

relieve visitan nuestro país para asistir a congresos y dictar cursos y seminarios de su especialidad. Debe sin embargo destacarse que, a partir de las encuestas, se recibieron muchos reclamos referentes a la necesidad de incrementar las acciones que faciliten el intercambio científico con el exterior.

Sistemas de evaluación

A partir del trabajo realizado por los distintos coordinadores, se pudieron detectar numerosas críticas respecto del peso que tiene, en la valoración del trabajo realizado por los investigadores, la utilización de índices bibliométricos como los factores de impacto proporcionados por el ISI y SCImago para evaluar la calidad de las publicaciones científicas y el índice h utilizado como medida de la calidad de la producción de los investigadores. Este tema es tratado especialmente en los Capítulos 3 y 10 de este informe por los Dres. Demetrio Boltovskoy, Alejandro Olivieri y Ernesto Mata.

Si bien nadie puede negar el valor referencial que proporcionan estos indicadores, también es indudable que la justa evaluación de la trayectoria de un investigador determinado debería estar basada en un conjunto de factores mucho más amplio. Entre los principales, podemos mencionar el análisis minucioso de la cantidad y calidad de sus trabajos, su capacidad de generar recursos para la investigación, la cantidad y calidad de recursos humanos formados, sus contribuciones al mejoramiento de las estructuras de las instituciones en las que se desenvuelve y a la transferencia de los resultados de sus trabajos al medio productivo o a la sociedad. Las críticas a la utilización generalizada de los indicadores bibliométricos para determinar la trayectoria científica de una persona exceden el ámbito local y se han puesto de manifiesto en numerosos artículos y declaraciones de científicos de gran prestigio internacional[1].

Las razones que motivan la utilización de los índices de impacto como factor predominante en la evaluación de pares son múltiples. Sin embargo en el caso de nuestro país pueden individualizarse dos causas que sin duda contribuyen significativamente al empleo de esta metodología. La primera es el tamaño acotado de nuestro sistema científico, que hace muchas veces difícil encontrar un evaluador con la capacidad y el conocimiento necesario para analizar con idoneidad los méritos de un colega. El otro factor, también relacionado con el tamaño de nuestro sistema científico, es la cantidad de pedidos de evaluación que reciben los científicos de las categorías superiores

1 Ver por ejemplo: *Impact factor distortions*, Alberts B.; Science, Vol. 340, Pag. 787, Mayo 2013. *The Leiden Manifesto for Researcfh Metrics*, Hicks D. y Wouters P.;Nature, Vol.520, pag. 530,Abril 2015.

que recurren frecuentemente al análisis de los indicadores de impacto como una forma rápida de cuantificar la calidad de los trabajos científicos de sus pares.

Una de las consecuencias no deseadas de la utilización de estos indicadores es que condicionan la orientación de los temas de trabajo de los investigadores hacia aquellos que son considerados de mayor interés en los países desarrollados y desalientan la incursión hacia temas nuevos donde los resultados son más riesgosos o hacia aquellos que puedan estar más relacionados con contenidos de interés local, sin tanto atractivo para las revistas de mayor índice de impacto. Debe por otra parte reconocerse que la importancia dada a las publicaciones en revistas internacionales con altos índices de impacto ha contribuido significativamente a impulsar a nuestros científicos a exponer los resultados de sus trabajos en foros internacionales compitiendo con sus colegas del resto del mundo y haciendo más visible la producción científica y tecnológica de nuestro país.

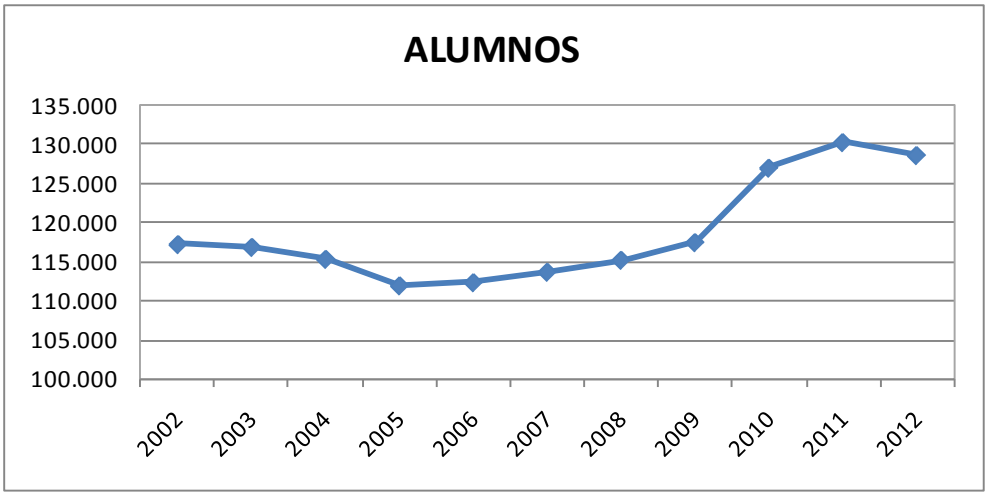
Encontrar una justa solución a este problema no parece fácil pero no debería por ello dejarse de lado. Creemos que una convocatoria a los científicos más calificados y con mayor experiencia para discutir posibles soluciones puede ser un positivo punto de partida.

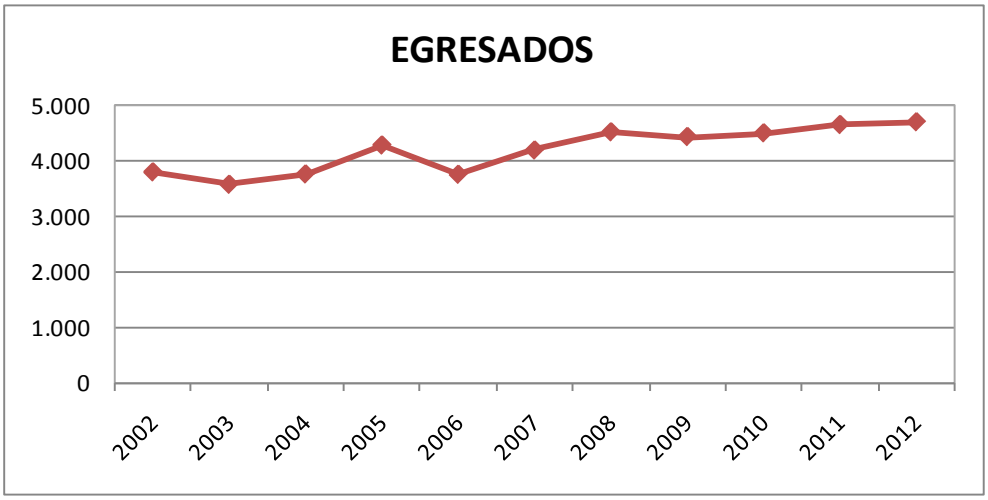
Formación de recursos humanos

En lo que respecta a la formación de recursos humanos, el sistema universitario argentino está formado por poco más de un centenar de universidades de las cuales cincuenta y dos son nacionales. Si bien la información disponible a partir de las fuentes que fueron consultadas no es uniforme, y en muchos casos las cifras que éstas reportan resultan contradictorias, pueden sacarse algunas conclusiones con respecto al número de egresados correspondientes a las carreras de ciencias exactas, físicas y naturales en el período 2003-2012. En algunas de las disciplinas analizadas como Astronomía, Paleontología y Oceanografía el número de egresados ha sido muy bajo y relativamente estable. En las restantes se produjeron en el período aumentos en la cantidad de alumnos de distintas proporciones.

Un motivo de preocupación que fue comentado en varias de las reuniones que mantuvieron los coordinadores de este proyecto y aparece volcado en el informe correspondiente a Biología de Sistemas en el Capítulo 3, es la baja eficiencia del sistema universitario argentino en lo que respecta a los porcentajes de graduación de los estudiantes universitarios. Los niveles de deserción y la duración promedio de las carreras que corresponden al ámbito de este estudio son particularmente elevadas. Un índice de ello es la relación entre

alumnos y egresados de las distintas disciplinas. Según datos suministrados por la CONEAU, en el período 2003-2012 la cantidad de alumnos de las carreras correspondientes a las ciencias exactas físicas y naturales osciló entre los 110.000 y 130.000, mientras que el número de egresados osciló entre 3.500 y 4.900 por año.





Gráficos 1.7. Número de alumnos y egresados por año correspondientes a las carreras de ciencias exactas, físicas y naturales. *Fuente*: CONEAU.

En consecuencia puede estimarse que, aunque en este período se registró un incremento en el número de egresados, el porcentaje de alumnos que se gradúan de las carreras de ciencias exactas, físicas y naturales es inferior al 20% de los que ingresan. Correspondería considerar entonces como tarea

prioritaria la adopción de medidas que tiendan a garantizar el crecimiento de estos índices. Estas deberían contemplar que los aspirantes a ingresar al sistema universitario lo hagan con un nivel suficiente de capacitación para enfrentar la transición de la escuela secundaria a la universidad, que se realice un adecuado seguimiento de los ingresantes para minimizar las deserciones en los primeros tramos de la carrera universitaria, que se instrumenten políticas de inversión para equipar bibliotecas y laboratorios de recursos especiales para la docencia, que se otorguen becas de estímulo y que se capacite a los docentes, especialmente los más jóvenes, en centros de excelencia tanto nacionales como internacionales.

Contrastando con lo que se ha mencionado con respecto a la formación de grado, se registra en el mismo período de tiempo un incremento notorio en el nivel de egresados de los posgrados universitarios. Mientras que el número de egresados de las maestrías ha sido ligeramente declinante, la cantidad de doctores graduados en el año 2012 es significativamente mayor en prácticamente todas las disciplinas, con valores que superan entre tres y cinco veces a aquellos correspondientes al año 2003. Esto es sin duda atribuible al notable incremento de becas de posgrado por parte del CONICET, la ANPCyT y las universidades nacionales que patrocinaron especialmente las becas de formación doctoral. En el Gráfico 1.8 puede observarse el significativo aumento de becarios e investigadores que se registró en el período 2003-2012 en el seno del CONICET. Por otra, parte los Gráficos 1.9 muestran el tamaño relativo de los becarios e investigadores de ciencias exactas, físicas y naturales con respecto a la totalidad de becarios e investigadores de esa institución.

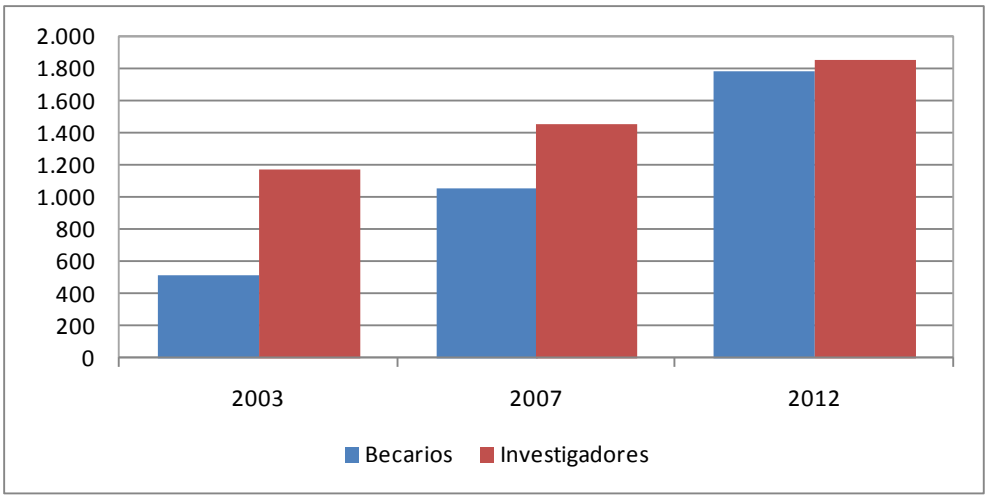
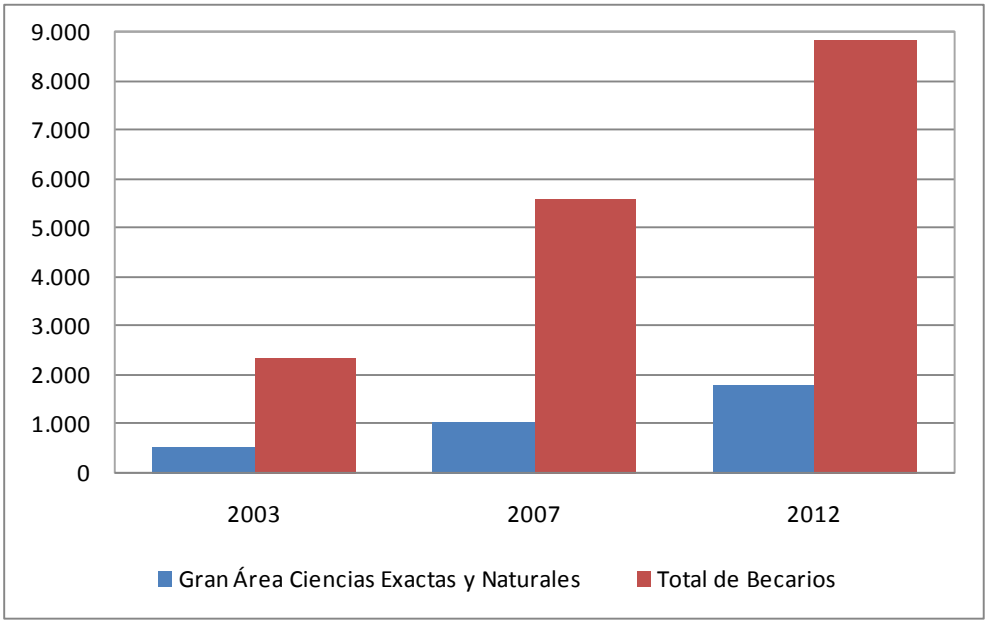
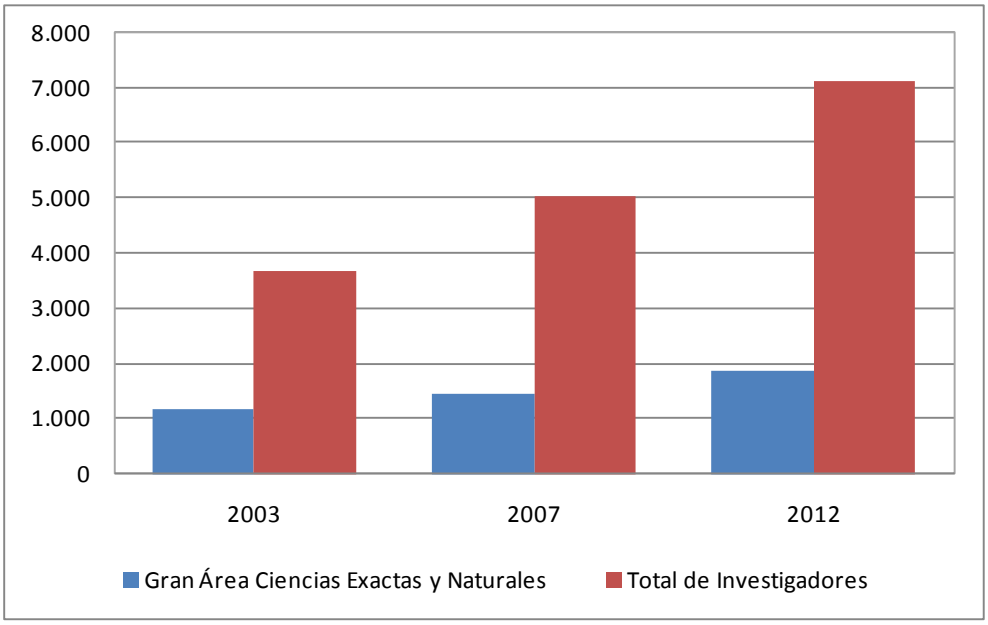


Gráfico 1.8. Cantidad de becarios e investigadores del CONICET en el área de ciencias exactas físicas y naturales. *Fuente*: CONICET.





Gráficos 1.9. Comparación de la cantidad de becarios e investigadores del CONICET en el área de ciencias exactas, físicas y naturales con el total de todas las áreas (incluyendo Ciencias Sociales). *Fuente*: CONICET.

Otro hecho destacable, que se desprende de las respuestas volcadas en las encuestas que formaron parte de este estudio, es la elevada participación de los investigadores en la formación de estos recursos humanos tanto a nivel de grado como de posgrado. Este factor representa un aporte importante a la calidad de la enseñanza de las universidades del país.

Sociedades y asociaciones científicas argentinas

Este estudio comprendió también un relevamiento de las asociaciones científicas incluyendo una descripción de sus fines y principales actividades. Se reporta la existencia de medio centenar de sociedades y asociaciones en las que participan los científicos que desarrollan acciones relacionadas con las ciencias exactas, físicas y naturales. Estas asociaciones llevan adelante, a veces con escasos recursos, una encomiable labor para la difusión de su disciplina en el contexto de la sociedad. La organización de congresos y simposios, la programación de cursos o seminarios sobre temas destacados de la especialidad, la selección y entrega de premios o distinciones y la edición de revistas científicas son actividades comunes a todas ellas. En cada uno de los capítulos subsiguientes, se detallan las principales acciones que las sociedades relacionadas con las distintas disciplinas llevan adelante para el cumplimiento de sus objetivos.

Publicaciones científicas argentinas y divulgación de la ciencia

Se identificaron también las principales revistas periódicas argentinas de carácter científico y de divulgación que se editan en el país, evaluando su calidad, significación y el grado de aceptación que tienen dentro de la comunidad científica. En los informes correspondientes a algunas de las disciplinas también se ha incluido una discusión crítica acerca del valor de mantener ediciones locales de revistas científicas periódicas.

La opinión generalizada de los coordinadores que participaron de este estudio es que, si bien una proporción moderada de la producción en medios locales es aceptable, especialmente en aquellos casos que corresponden a temas de interés muy localizado donde puede resultar difícil su publicación en revistas de carácter internacional, lo más conveniente es que los científicos difundan los resultados de sus trabajos en un ámbito lo más amplio posible.

Varias de las revistas argentinas correspondientes a las disciplinas

relacionadas con este trabajo aparecen incluidas en los listados del ISI y SCImago. A continuación se enumeran los indices de impacto SJR y sus correspondientes cuartiles, para el quinquenio 2010-2014. De todas estas, la revista Ameghiniana es la mejor posicionada en el ámbito internacional.

REVISTA	ÁREA	CUARTIL	ÍNDICE SJR				
			2010	2011	2012	2013	2014
Biocell	Bioquímica, Biología	Q4	0,222	0,166	0,232	0,211	0,215
Ameghiniana	Paleontología	Q2	0,47	0,509	0,405	0,434	0,401
Revista De la Asociación Geológica Argentina	Geología	Q4	0,37	0,428	0,332	0,258	0,203
Ecología Austral	Ecología	Q3	0,209	0,228	0,301	0,243	0,242
Anales Asociación Química Argentina	Química	Q4	0,108	0,135	0,184	0	0
Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis	Geología, Paleontología, Estratigrafia	Q3	0,247	0,269	0,348	0,278	0,239
Mastozoología Neotropical	Ciencias biológicas	Q3	0,155	0,196	0,275	0,262	0,257
BAG - J. of Basic and App. Genetics	Bioquímica, Genética, Biología Molecular	Q4	0,112	0,101	0,112	0,101	0,103
Boletín De la Sociedad Argentina de Botánica	Ecología, Botánica	Q4	0	0	0,118	0,182	0,188
Revista De la Unión Matemática Argentina	Matemática	Q3	0	0,132	0,338	0,404	0,253

Tabla 1.2. Categorización de las revistas argentinas de acuerdo al ranking de SCImago, período 2010-2014. *Fuente*: SCImago.

Existió coincidencia entre los coordinadores de las distintas disciplinas acerca de la importancia de utilizar el idioma inglés, aún en las revistas de carácter local, para garantizar una adecuada difusión de los trabajos que se publican en el país. Esta recomendación es por supuesto no aplicable a las revistas dedicadas a la divulgación, que cumplen una muy loable labor de difusión del conocimiento científico y que, por su carácter de tales, deben estar redactadas en el idioma del país para asegurar la mayor llegada posible a todos aquellos que se interesan por acercarse al fascinante mundo de las ciencias.

Recomendaciones

Cada coordinador realizó un balance de los resultados de su trabajo tratando de destacar los aspectos positivos del estado de su disciplina,

recomendando acciones para el fortalecimiento de su área y señalando los requerimientos mínimos que deberían implementarse para lograr un grado de desarrollo mediano o alto en aquellos aspectos que se consideran de máxima importancia.

Teniendo en cuenta las conclusiones y recomendaciones formuladas en cada capítulo y las conclusiones detalladas anteriormente, enumeramos a continuación algunas que se consideran de carácter general:

Para continuar en la senda del crecimiento que ha comenzado a recorrer, Argentina debe seguir incrementando su inversión en ciencia y técnica medida como porcentaje del PBI, para llegar a valores que se aproximen a los del mundo desarrollado. Una meta largamente prometida es el 1% del PBI, lo que nos permitiría acercarnos a niveles de inversión más parecidos a los de Brasil, aunque todavía lejanos a los de los países desarrollados. En contrapartida, este aumento de la inversión en CyT debería estar acompañado por un mayor esfuerzo de la comunidad científica, incluyendo la correspondiente a las ciencias exactas, físicas y naturales, para colaborar en conjunto con otros científicos, tecnólogos y el sector productivo en el desarrollo de productos y procesos que resulten beneficiosos para la sociedad. Como resultado de las encuestas realizadas, se ha detectado muy buena disposición de la comunidad científica para involucrarse en esta problemática.

Como ya se ha comentado, a partir de la búsqueda de información considerada imprescindible para concretar este trabajo, se detectaron numerosas inconsistencias, datos faltantes y erróneos. También se ha señalado que esto obligó a solicitar, en muchos casos, información directamente a los investigadores. Esto constituyó una carga adicional e innecesaria para ellos y conspiró con la posibilidad de obtener información sistematizada y representativa del conjunto. Es en consecuencia muy importante implementar acciones para ordenar y hacer públicos los registros de los datos relativos a formación de recursos humanos, financiamiento y producción científica del país, a fin de poder realizar un relevamiento periódico del avance en estos aspectos y fijar políticas gubernamentales acordes a los diagnósticos obtenidos. También es necesario ordenar los datos de docencia de grado, posgrado y proyectos de investigación y becas otorgadas por las universidades y otros organismos públicos y privados, en las bases de datos del Ministerio de Educación de la Nación. Por otro lado, el MINCyT podría sistematizar los datos referentes a número de investigadores y becarios, publicaciones científicas, colaboraciones internacionales, subsidios nacionales e internacionales, agrupando los datos disponibles en FONCyT, CONICET, INTI, INTA, CNEA etc. y discriminando en cada caso la distribución de esta información entre las distintas disciplinas científicas que componen el conjunto del sistema científico nacional. El relevamiento realizado en este Informe podría servir de guía para iniciar esta tarea.

Mantener las políticas de financiamiento para mejorar la infraestructura y la disponibilidad de fuentes de información y acceso a grandes equipos por parte de la comunidad científica. Reeditar las convocatorias para la compra de equipamiento de gran valor favoreciendo el desarrollo de sistemas nacionales de equipamiento y/o plataformas de servicios. Aumentar el financiamiento en moneda constante a los grupos de investigación, a través del incremento de los montos de los subsidios otorgados por el CONICET, el FONCyT y las universidades nacionales.

Adoptar acciones que permitan la rápida importación de drogas, repuestos y equipos para la investigación científica y considerar la exención impositiva en el IVA para la compra de este tipo de insumos. Es muy difícil competir a nivel internacional cuando normalmente se requieren meses para lograr los fondos y habilitar los mecanismos necesarios para la importación de insumos que son imprescindibles para la realización de un dado proyecto.

Continuar con los programas de becas de formación posdoctoral en el extranjero en las áreas de vacancia para jóvenes investigadores, asegurando además un programa de reinserción que les garantice el trabajo en laboratorios de investigación bien equipados y con financiamiento para el inicio de sus investigaciones.

Abrir canales adicionales de financiación para permitir estadías de investigadores extranjeros de primer nivel que permitan formar recursos humanos en áreas de vacancia o en temas de frontera que se consideren relevantes para el país.

Promover acciones de cooperación entre los grupos nacionales implementando mecanismos de financiación para la realización de viajes internos entre grupos de áreas complementarias, para potenciar así la calidad y la productividad de las investigaciones de los equipos participantes.

Favorecer la formación de grado en el ámbito de las carreras universitarias de ciencias exactas, físicas y naturales incrementando la inversión en bibliotecas, laboratorios, material didáctico, becas de estímulo para estudiantes que incentiven su interés por participar en trabajos científicos en laboratorios de reconocida trayectoria en el país.

Implementar becas de formación de grado, a partir del tercer año, especialmente para aquellas disciplinas con baja cantidad de egresados. Hay en este sentido ejemplos exitosos en el país, como lo han sido las becas de formación del Instituto Balseiro y las de la Escuela Superior Latinoamericana de Informática.

Incrementar las acciones de fomento para el mejoramiento y modernización de la enseñanza sobre temas relacionados con las ciencias exactas, físicas y naturales en el nivel de educación secundario, estableciendo además programas para mejorar la formación científica de los profesores de ese nivel.

CAPÍTULO 2
ASTRONOMÍA

Coordinador
Juan Carlos Forte
CONICET, Planetario Galileo Galilei, Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Colaboradores
Marcelo Arnal, UNLP, IAR (CONICET), La Plata
Gloria Dubner, IAFE (CONICET-UBA), Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Diego García Lambas, IATE (CONICET-UNC), OAC (UNC), Córdoba
Hugo Levato, UNSJ, ICATE (CONICET), San Juan
Juan C. Muzzio, UNLP, IALP (CONICET), La Plata

Agradecimientos

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

METODOLOGÍA EMPLEADA

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

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

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

DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

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

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

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

Disciplinas

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

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

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

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

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

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

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

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

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

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

Institutos y centros de investigación

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Observatorio Astronómico de Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba

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

Observatorio Félix Aguilar, Universidad Nacional de San Juan

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

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

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

Infraestructura y financiación

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

Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR)

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

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

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

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

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

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

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

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

Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE), Córdoba

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

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

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

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

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

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

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

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

Instituto de Astrofísica de La Plata (IALP)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

laboratorio para integración de espectrógrafos ópticos.

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

Observatorio Astronómico Félix Aguilar

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Producción científica argentina

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

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

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

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

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

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

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

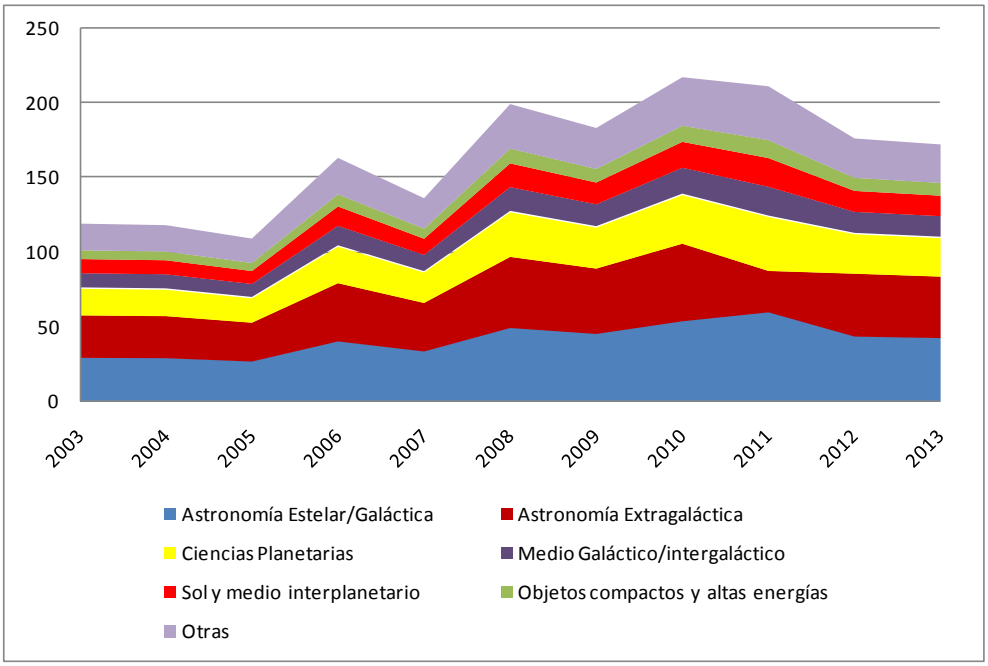
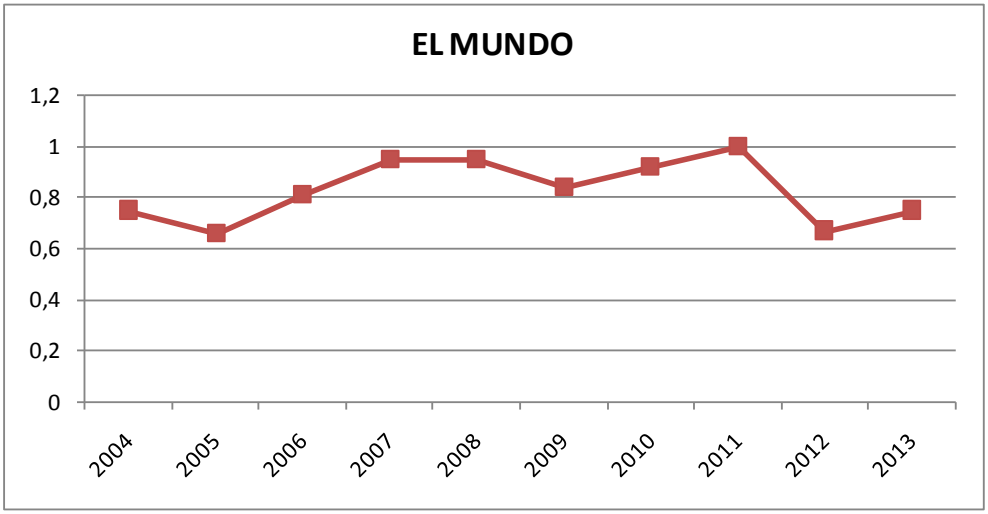
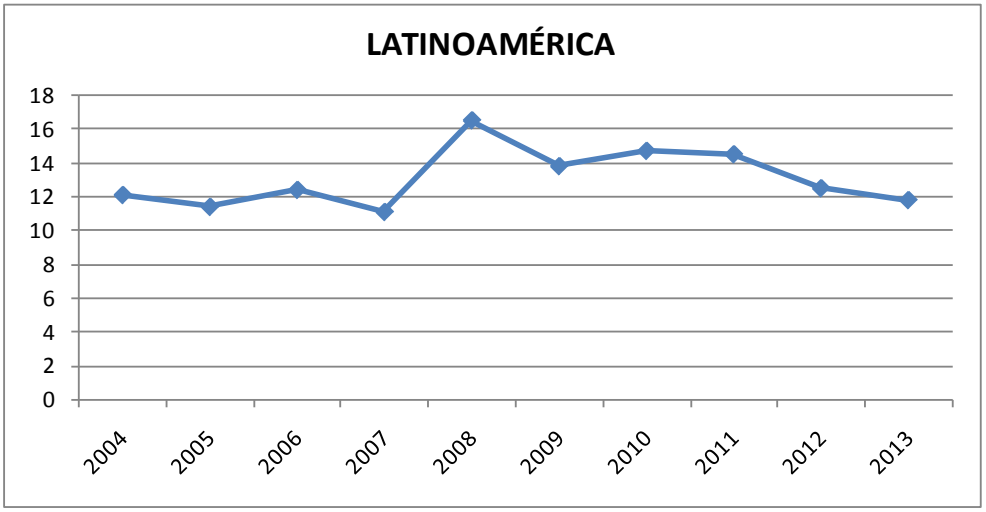


Gráfico 2.1. Cantidad total de artículos con autores argentinos en revistas indexadas, en diversas especialidades, para el lapso 2003-2013. *Fuente:* SCImago

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





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

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

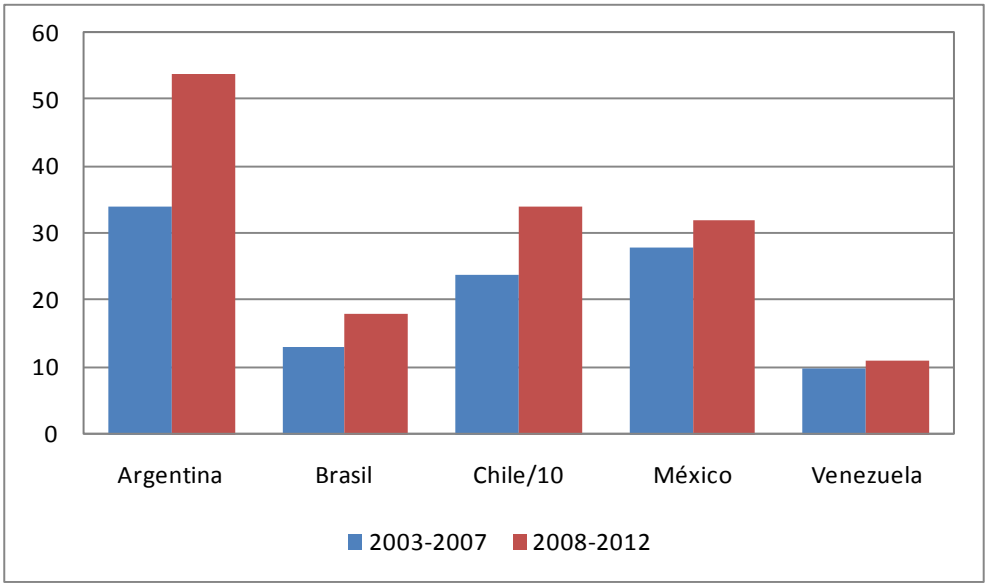


Gráfico 2.3. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuente:* SCImago.

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

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

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

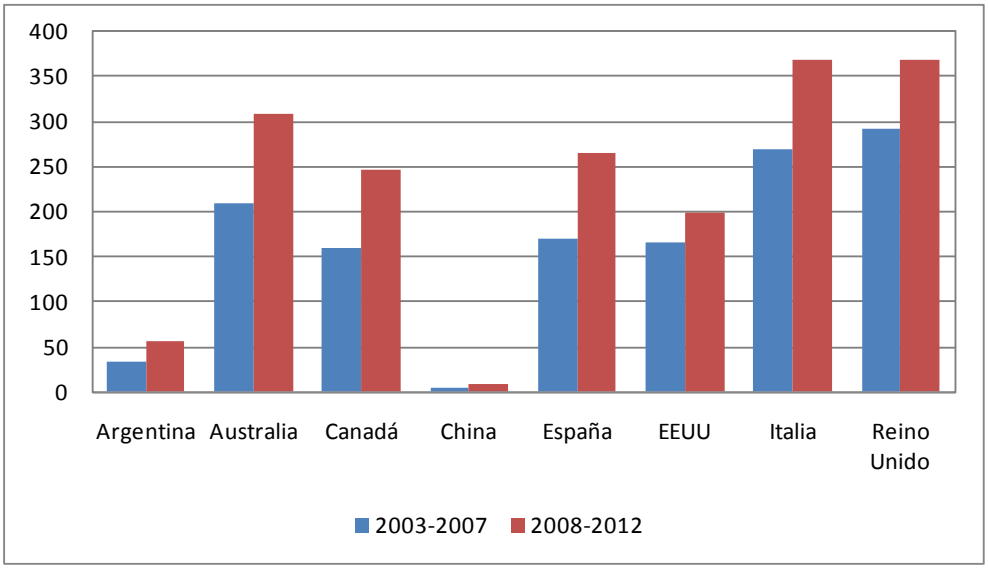


Gráfico 2.4. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuente*: SCImago.

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

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

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

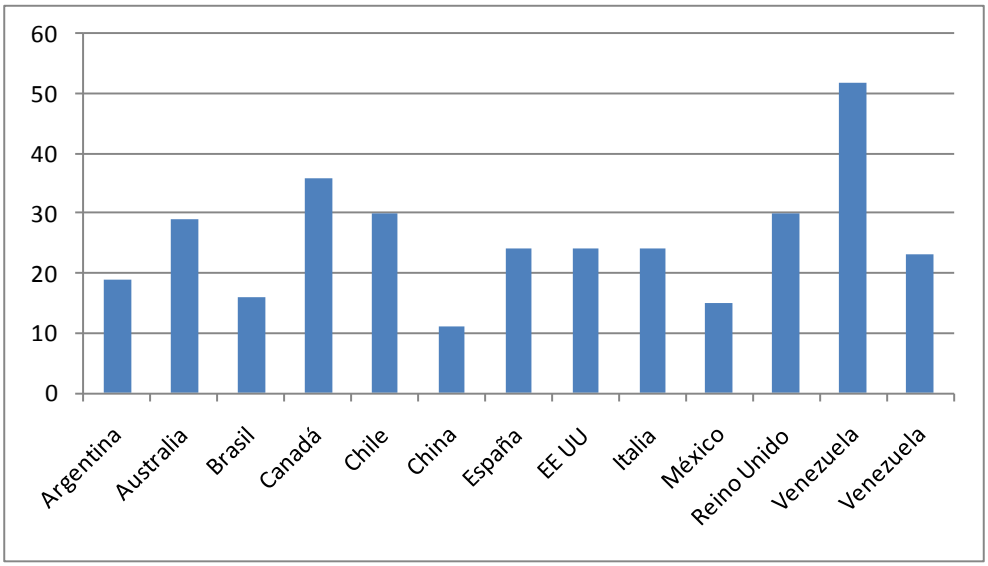


Gráfico 2.5. Número de citas promedio por artículo anual de cada país incluido en la comparación. Período analizado: 2004-2008. *Fuente*: SCImago.

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

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

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

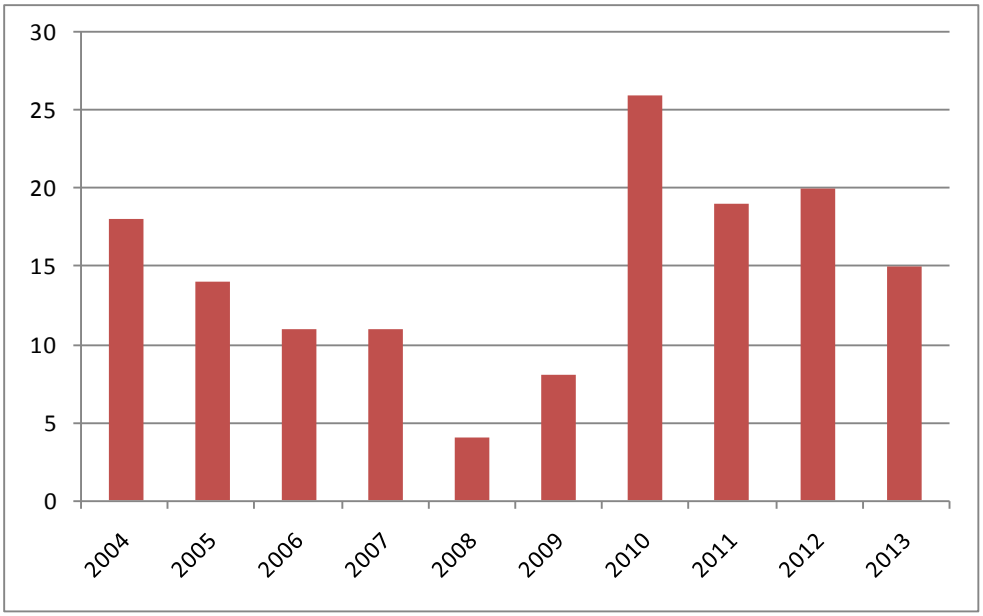


Gráfico 2.6. Número de Licenciados en Astronomía. *Fuente*: Universidades Nacionales de Córdoba, La Plata y San Juan.

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

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

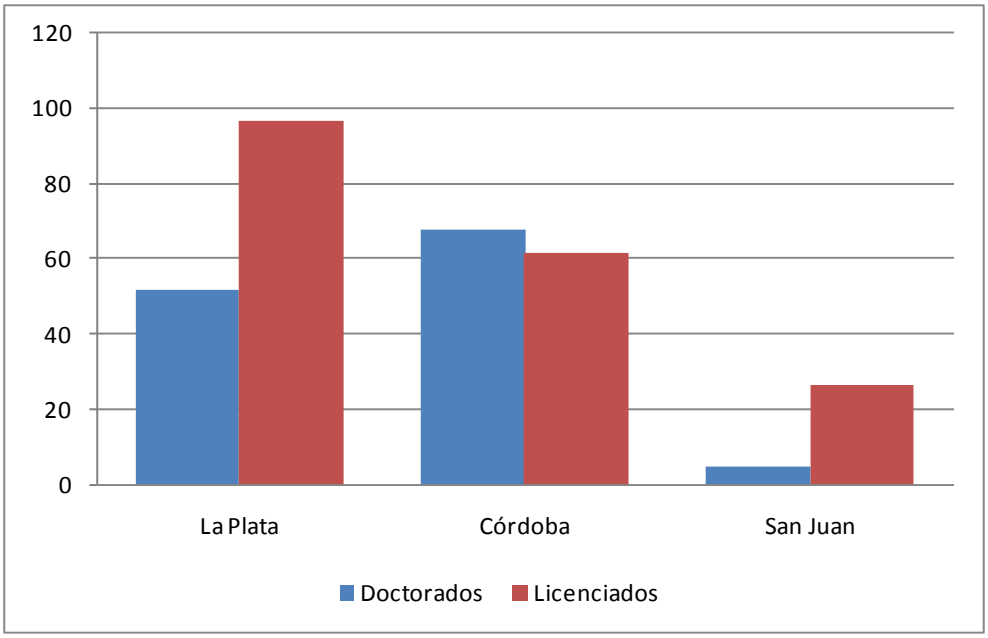


Gráfico 2.7. Número de doctorados y licenciados en Astronomía por institución en el período 2004-2013 inclusive. *Fuente*: Universidades Nacionales de Córdoba, La Plata y San Juan.

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

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

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

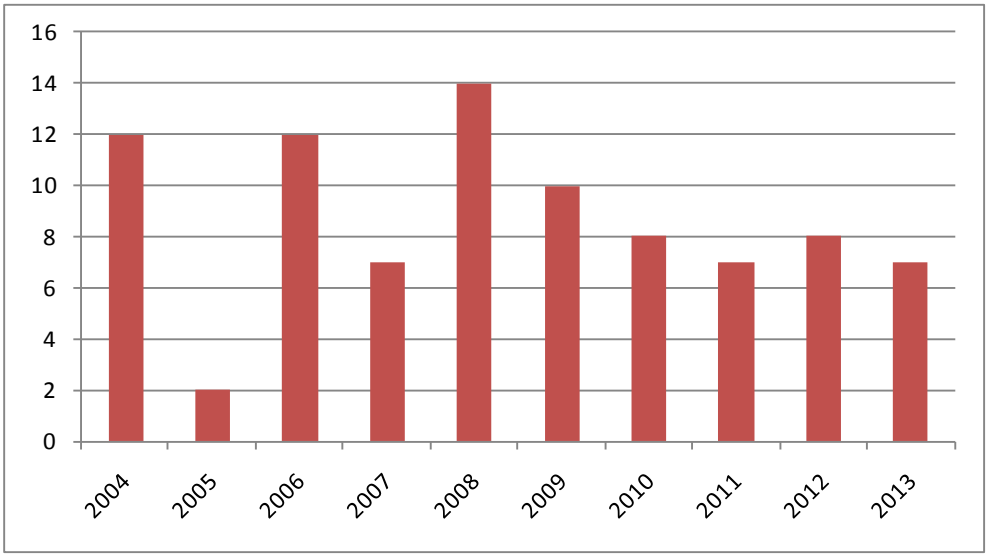


Gráfico 2.8. Número de doctorados en Astronomía. *Fuente*: Universidades Nacionales de Córdoba, La Plata y San Juan.

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

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

SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS

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

COLABORACIONES Y PROYECTOS EN MARCHA

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

Observatorio Gemini

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

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

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

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

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

Proyecto LLAMA

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

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

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

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

Proyecto ABRAS

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

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

Proyecto TOROS

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

Proyecto ISON

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

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

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

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

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS Y DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

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

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

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

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

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Productividad

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

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

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

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

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

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

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

Infraestructura y equipamiento

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

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

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

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

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

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

Estrategias de asociación

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

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

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

Transferencia de tecnología

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

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

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

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

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

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

Recursos Humanos

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

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

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

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

CAPÍTULO 3

BIOLOGÍA DE SISTEMAS

Coordinador
Demetrio Boltovskoy
UBA, IEGEBA (CONICET-UBA), Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Colaboradores
Esteban Balseiro, UNComa, INBIOMA (CONICET), Bariloche
Beatriz Modenutti, UNComa, INBIOMA (CONICET), Bariloche
Andres Boltovskoy, Museo de La Plata (UNLP), La Plata
Víctor Cussac, UNComa, INBIOMA (CONICET), Bariloche
Leonardo Galetto, IMBIV (UNC), Córdoba
Javier Lopez de Casenave, IEGEBA (CONICET-UBA),
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Silvia López, RHIDEB (CONICET-UBA), Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Guido Pastorino, MACN, Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Gustavo Somoza, IIB-INTECH (CONICET-UNSAM), Chascomús
Gustavo Spinelli, ILPLA (CONICET-UNLP), La Plata
Teodoro Stadler, IMBECU (CONICET), Mendoza
Gabriel Zunino, UNGS, Buenos Aires

Agradecimientos

Se agradece la participación de los siguientes especialistas en la identificación de los grupos de trabajo más importantes en sus respectivas áreas del conocimiento y la implementación de los contactos para la ejecución de la encuesta: Esteban Balseiro y Beatriz Modenutti (INBIOMA-UNComa, Bariloche; limnología), Andrés Boltovskoy (Museo de La Plata-UNLP, La Plata; ficología), Víctor Cussac (INBIOMA-UNComahue, Bariloche; ictiología, pesquerías de agua dulce), Leonardo Galetto (IMBIV-UNC, Córdoba; botánica, taxonomía, ecología, fisiología de plantas superiores), Javier López de Casenave (IEGEBA-UBA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires; ecología terrestre animal), Silvia López (PRHIDEB-UBA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires; micología), Guido Pastorino (MACN, Ciudad Autónoma de Buenos Aires; malacología), Gustavo Somoza (IIB-INTECH-UNSAM, Chascomús; fisiología), Gustavo Spinelli (ILPLA-UNLP, La Plata; entomología, aracnología, carcinología de aguas dulces), Teodoro Stadler (IMBECU, Mendoza; toxicología y parasitología), Gabriel Zunino (UNGS, Buenos Aires; herpetología, ornitología, mastozoología). El intercambio de ideas y opiniones con algunos de estos colaboradores resultó de gran utilidad para la interpretación de algunos aspectos de la información analizada.

METODOLOGÍA EMPLEADA

Además de utilizar las fuentes externas mencionadas en el Capítulo 1, con el fin de identificar algunos aspectos importantes de la problemática relacionada con la investigación en Biología de Sistemas en el país (por ejemplo, tamaño, conformación y distribución geográfica de los grupos de investigación, fuentes de financiación, colaboración internacional, etc.), así como de indagar en la percepción y opinión de la comunidad científica sobre algunos problemas generalizados en este ámbito (por ejemplo, carencias en apoyo económico o infraestructura), se preparó una encuesta *ad hoc* de una decena de preguntas, aproximadamente. El Coordinador de Biología de Sistemas invitó a doce colaboradores de especialidades diferentes para que identificaran a los Jefes de Grupo más relevantes en sus respectivas áreas de trabajo y solicitaran a estos completar la encuesta (ver Agradecimientos). Cada uno de estos colaboradores contactó entre 13 y 107 especialistas, de los cuales un 40% aproximadamente respondió a la requisitoria. Estas respuestas fueron analizadas por el Coordinador y los resultados están detallados en las secciones temáticas correspondientes. Además, sobre la base de la interpretación de las respuestas obtenidas con énfasis en las correspondientes a su especialidad, varios colaboradores prepararon sus informes temáticos parciales.

Es importante destacar que, si bien en este estudio se ha procurado reflejar las opiniones de los colaboradores, los conceptos vertidos y las conclusiones esbozadas no necesariamente coinciden con todos los comentarios recibidos y son responsabilidad exclusiva del Coordinador.

DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

El área Biología de Sistemas, tal como se definiera en los inicios de este proyecto, es un campo con múltiples solapamientos con otras áreas no solamente de Biología, sino también de Química, Física, Geología, Paleontología, Oceanografía, Microbiología, etc., así como de áreas no incluidas en este proyecto, en especial las Ciencias Agrarias (Agronomía, Veterinaria) y la Medicina. Desde este punto de vista, probablemente sea el área más heterogénea de las diez cubiertas por este proyecto.

Si bien hay muchos "Biólogos de Sistemas puros" cuyo perfil se encuadra muy bien y sin claroscuros en esta área (sobre todo en especialidades de la taxonomía y la ecología), es mayor aún la cantidad y diversidad de especialistas cuyo campo de acción está parcialmente apoyado en alguna de las ramas de la Biología de Sistemas, pero cuyo espectro de actividades excede ampliamente aquellas que tradicionalmente se incluyen en este rubro.

Por ejemplo, el taxónomo clásico estaría adecuadamente circunscripto a la Biología de Sistemas, pero aquel que utiliza herramientas moleculares para sus investigaciones, si bien sigue estando fuertemente ligado a la Biología de Sistemas a través de los componentes taxonómico, filogenético y evolutivo de su trabajo, se encuentra también íntimamente vinculado a la Química Biológica y la Biología Molecular desde el punto de vista metodológico y de las herramientas interpretativas utilizadas. Estos campos grises están presentes en prácticamente todas las especialidades, pero son especialmente notables en disciplinas como la Toxicología, la Embriología, la Fisiología y la Evolución, entre muchas otras.

Estos solapamientos hacen que resulte muy difícil definir los límites de la Biología de Sistemas con precisión, tanto en contenidos, como en la selección de los profesionales que deberían estar contemplados en este capítulo. Las dificultades se extienden a todos los aspectos cubiertos por este análisis, desde la identificación de los centros y programas de estudio donde se forman profesionales en estas disciplinas, hasta la selección de las revistas científicas cuyo interés central es alguna de las ramas de la Biología de Sistemas. Por ende, la selección de los campos cubiertos contiene, necesariamente, elementos arbitrarios. Abarca muchos especialistas, temas, publicaciones, etc. cuya inclusión bajo este acápite es discutible, algunos que sólo deberían ser considerados parcialmente, y seguramente excluye algunos que probablemente deberían ser incluidos, al menos parcialmente. Creemos, sin embargo, que estos sesgos no distorsionan las conclusiones más importantes derivadas de este relevamiento.

Disciplinas

Tal como se describiera más arriba, es imposible definir con precisión las áreas que abarca la Biología de Sistemas. Para este trabajo se ha procurado que la información recopilada refleje las siguientes disciplinas:

Botánica y Zoología s.l., incluyendo sus subdivisiones taxonómicas más importantes (Micología, Ficología, Plantas Vasculares, Helmintología, Malacología, Carcinología, Aracnología, Entomología, Ictiología, Herpetología, Ornitología, Mastozoología) y las temáticas no taxonómicas (Anatomía y Morfología, Fitopatología, Parasitología, Sistemática, Ecología, Epidemiología, Biogeografía, Limnología, Toxicología, Fisiología).

Deliberadamente se ha excluido de este informe una especialidad muy importante, la Biología Marina (u Oceanografía Biológica), ya que esta área está cubierta en el marco de las Ciencias Oceanográficas. Sin embargo, es importante destacar que muchos de los especialistas involucrados en estudios de organismos marinos no restringen su campo de acción en función del hábitat, sino que abordan aspectos del estudio de un grupo particular (por ejemplo, moluscos, peces, aves), incursionando tanto en ambientes marinos, como en otros de agua dulce o terrestres.

No se han incluido explícitamente algunas disciplinas más restringidas (por ejemplo, Aerobiología), o aquéllas cuyo espectro está frecuentemente ligado con aplicaciones médicas, agronómicas y veterinarias (Histología, Biofísica), o íntimamente asociadas con métodos y técnicas con un fuerte componente bioquímico (Endocrinología, Biología Evolutiva, Embriología, Genética). La mayoría de éstas están parcial o totalmente cubiertas en otras secciones de este proyecto.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

La Biología de Sistemas incluye la mayoría de las especialidades más tradicionales de la Biología, muchas de ellas con una larga historia. Sin embargo, a pesar de su relativa madurez muchas de las preguntas básicas, particularmente en temas filogenéticos, ecológicos, biogeográficos, de distribución de la diversidad y otros, siguen siendo objeto de controversia. En la mayoría de los campos de la Biología de Sistemas ha habido un aumento extraordinario en la cantidad de observaciones, pero la cantidad de respuestas a las relaciones de causalidad involucradas es significativamente menor. Simultáneamente, el desarrollo de herramientas nuevas ha generado evidencias que han obligado a reevaluar capítulos enteros del conocimiento que hasta hace muy poco parecían inamovibles. Un ejemplo ilustrativo es la taxonomía. Los cimientos del sistema de clasificación de los seres vivos, e incluso el concepto de especie mismo, han sido sacudidos por datos provenientes de la Biología y Genética Molecular a tal punto que gran parte de la sistemática, diversidad y relaciones filogenéticas, en especial de los organismos inferiores, están hoy en tela de juicio.

Según opinión de los especialistas encuestados, estas herramientas moleculares aplicadas a problemas irresueltos de la Biología tradicional están en el centro de una parte sustancial de los temas de frontera en el mundo, incluyendo la taxonomía y evolución moleculares, la epigenética y la filogeografía. Otros temas de gran actualidad incluyen los siguientes: ecología en relación con el cambio climático, ecología química de organismos silvestres y cultivados, aspectos neurobiológicos de la ecología del comportamiento, evaluación de servicios ecosistémicos y restauración, especies introducidas e invasoras, aspectos taxonómicos y ecológicos de organismos portadores de sustancias bioactivas, entre otros.

ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

A diferencia de muchas otras áreas, cuyo desarrollo tanto en el mundo como en la Argentina ha sido más tardío, en especial aquellas que dependen de herramientas sofisticadas de desarrollo más reciente, las Ciencias Biológicas clásicas (Botánica, Zoología) nacieron en nuestro país con la llegada de los españoles. Las tareas de descripción y catalogación de la flora y fauna locales fueron parte de las rutinas de la colonización europea, frecuentemente a cargo de religiosos jesuitas. Hasta mediados del siglo XX, los biólogos argentinos (o, muy frecuentemente, extranjeros radicados en el país) centraron sus esfuerzos en describir a las especies presentes y definir sus áreas de distribución. A partir de los años 1940-1950, paulatinamente se comienza a incursionar en campos menos tradicionales, como la Neurofisiología, Citogenética, Etología, Ecología, Endocrinología, Embriología, Anatomía comparada, y otros. Gran parte de esta producción científica siguió publicándose en idioma castellano en revistas locales o regionales de circulación limitada, algunas de ellas ya inexistentes. Muchas de estas revistas pertenecían a instituciones de investigación y frecuentemente eran editadas por su director, de manera que para los investigadores de la institución constituían un canal de publicación accesible y familiar. A partir de la década de 1970, algunas disciplinas de la biología no tradicional, así como algunas especialidades médicas, la Bioquímica, la Química Orgánica y la Física, comienzan a publicar sus resultados en inglés en revistas extranjeras, principalmente europeas o estadounidenses. Lentamente, los biólogos de Sistemas tienden a imitar esta modalidad, entre otros motivos porque se percibe como más eficiente para la divulgación y reconocimiento internacional de los descubrimientos publicados. Sin embargo, la discusión acerca de las diferencias en el valor y relevancia de las publicaciones locales y regionales (generalmente en castellano), y las internacionales (en inglés) persiste hasta la actualidad, principalmente en las áreas vinculadas con la taxonomía clásica.

Grupos de Trabajo

Los doce colaboradores que contribuyeron a este relevamiento en sus respectivas disciplinas de especialización identificaron un total de 478 grupos de trabajo de importancia en el país sobre temas de Biología de Sistemas. Obviamente, este inventario no es exhaustivo, aunque se estima que cubre adecuadamente los equipos más numerosos y productivos. Sobre la base

de la información suministrada por las 195 unidades que respondieron a las encuestas, surge que los 478 grupos de trabajo están integrados por alrededor de 2.000 investigadores, incluyendo formados y jóvenes. Una estimación muy grosera sugiere que, para dar cuenta de los equipos más pequeños, menos productivos y con menor impacto en las disciplinas respectivas esa cantidad debería ser duplicada. En consecuencia, la cifra global de investigadores argentinos dedicados a temas de Biología de Sistemas probablemente oscile actualmente en alrededor de 4.000, cerca de un tercio de ellos en cargos de la Carrera del Investigador del CONICET.

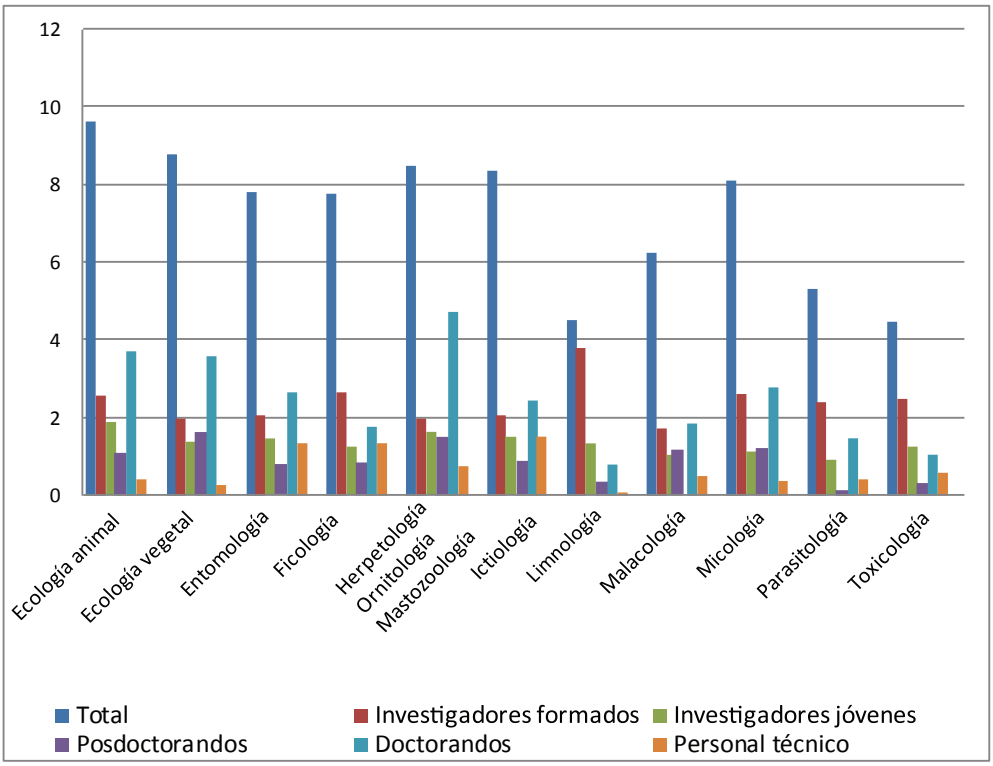


Gráfico 3.1. Cantidades promedio de investigadores formados, en formación, posdoctorandos, doctorandos y personal técnico por grupo de investigación, discriminadas según especialidad. *Fuente*: encuesta (cantidad de grupos relevados:195).

En líneas generales, se observa poca variación entre especialidades, con una media de 2-3 investigadores formados y 4-5 jóvenes y en formación por grupo. Ello sugiere que, en promedio, cada profesional con experiencia tiene a su cargo dos investigadores jóvenes y/o becarios. Los números más bajos corresponden al personal técnico y coincidentemente, la escasez de apoyo

técnico figura como uno de los reclamos más frecuentes en las encuestas respondidas. Hay que destacar, sin embargo, que la mayoría de los grupos de trabajo no consideran como propio al personal técnico asignado a sus respectivos institutos, motivo por el cual la relación 0,20 del personal de apoyo por investigador es subestimativa. Para el personal dependiente del CONICET (todas las áreas), en 2012 la relación entre personal de apoyo e investigadores era de 0,33. Por otro lado, un análisis rápido de la información provista en la página web del CONICET referente al personal de sus unidades ejecutoras vinculadas con la Biología de Sistemas indica que la cantidad de personal de apoyo varía ampliamente entre instituciones. Algunos, como el Instituto Nacional de Limnología (INALI, Santa Fe) y el Instituto de Botánica Darwinion (IBODA, San Isidro), tienen más de un técnico por investigador (INALI: 1,06; IBODA: 1,25). Muchos centros tienen valores cercanos o superiores a 0,5; como por ejemplo el Instituto de Investigaciones Biotecnológicas (IIB-INTECH, Chascomús: 0,39); el Centro Regional de Investigaciones La Rioja (CRILAR, La Rioja: 0,44); el Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores (CEPAVE, La Plata: 0,48); el Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL, Corrientes: 0,70); el Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE, Corrientes: 0,75); el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO, Bahía Blanca: 0,86); el Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS, Bahía Blanca: 0,91). Y finalmente hay unos pocos con valores cercanos a cero, como el Instituto de Salud y Ambiente del Litoral (ISAL, Santa Fe: 0,00); el Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires (IEGEBA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires: 0,07) y el Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas vinculadas a la Agricultura (IFEVA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires: 0,16). El promedio general para las instituciones mencionadas es de aproximadamente 0,6 técnicos por investigador. Tratándose de centros cuyas investigaciones generalmente tienen un componente experimental muy importante y, frecuentemente, con abundante actividad de campo, es razonable que la cantidad de personal de apoyo sea aquí superior a la media general del CONICET. Sin embargo, llama la atención la enorme disparidad entre institutos.

Los temas de trabajo son, en su mayoría, de corte clásico, frecuentemente con un componente declarado de aplicación potencial aunque, a juzgar por la cantidad de patentes informadas, probablemente de escasas perspectivas económicas. Los especialistas agrupados bajo la categoría Ecología Terrestre (animal) abordan principalmente temas de ecología poblacional y urbana, ecofisiología, conservación, agroecosistemas y manejo de plagas, interacciones predador-presa, comportamiento, y biogeografía. Se destaca un volumen muy importante de trabajos dedicados a temas epidemiológicos, sobre todo en Mal de Chagas. En este tema existe un importante solapamiento con Parasitología y con el área Molecular. En Ecología Terrestre (vegetal) se repiten algunos de

los temas anteriores, pero también es muy frecuente la taxonomía (clásica y molecular), ecología, fisiología y citogenética de plantas superiores, filogeografía. La categoría Entomología-Aracnología-Carcinología está claramente dominada por entomólogos. Los temas de trabajo más frecuentes son taxonómicos (principalmente taxonomía clásica, con menor frecuencia molecular y genética), morfología, anatomía, histología, ecología, biogeografía, fisiología, embriología, toxicología, comportamiento, control biológico, acuicultura (Carcinología). La producción científica de los especialistas agrupados en las categorías Herpetología-Ornitología-Mastozoología e Ictiología está centrada en estudios taxonómicos y distributivos, descripciones morfológicas, fisiología y, más raramente, análisis evolutivos y filogenéticos. En Ictiología de aguas interiores se destaca la atención dedicada al análisis de capturas y sustentabilidad, pero en la mayoría de los casos la información de base que respalda estos análisis, derivada de estadísticas pesqueras, es escasa y de dudosa calidad. Entre los temas de trabajo en Limnología se observa una profusión de trabajos clásicos dedicados a fitoplancton y nutrientes, taxonomía, ecología, ciclos temporales, diversidad. Entre los temas más novedosos se destaca la estequiometría ecológica, estudios sobre nano y picoplancton, taxonomía molecular, genética, impactos de especies introducidas. En Micología, la mayoría de los temas de trabajo están íntimamente ligados con aspectos bioquímicos de los hongos, así como con condiciones de reproducción y crecimiento. Cerca del 20% de los temas de trabajo en parasitología están relacionados con diferentes aspectos del estudio del Mal de Chagas (epidemiológicos, bioquímicos, ecológicos, etc.), y otra fracción muy importante está representada por estudios de taxonomía, morfología, y ciclos de vida de helmintos. En líneas generales, se observa una amplia diversidad de temas de investigación, aunque con predominio de enfoques y metodologías clásicos, y una notable escasez de estudios de largo plazo.

Muchas de estas especialidades cuentan con institutos *ad hoc* con decenas de especialistas que representan centros de referencia a nivel regional y nacional para la disciplina, pero los grupos de trabajo de mayor impacto en los temas respectivos frecuentemente se encuentran fuera de esos institutos temáticos, en universidades o centros multidisciplinarios. En general, los grupos de mayor impacto están claramente vinculados con uno, más raramente dos o tres, investigadores altamente productivos que lideran el equipo.

Distribución geográfica de los grupos de trabajo

La extrapolación de las cantidades obtenidas en la encuesta indica una clara concentración de biólogos en dos áreas geográficas: Provincia de Buenos Aires (34%) y Ciudad Autónoma de Buenos Aires (18%), seguidos por algunas provincias con larga tradición en investigación: Córdoba 8%, Santa Fe 6%,

Tucumán 4%, y otras con menos tradición histórica pero con importantes centros de investigación, Río Negro 7%, Chubut 6%. (Gráfico 3.2).

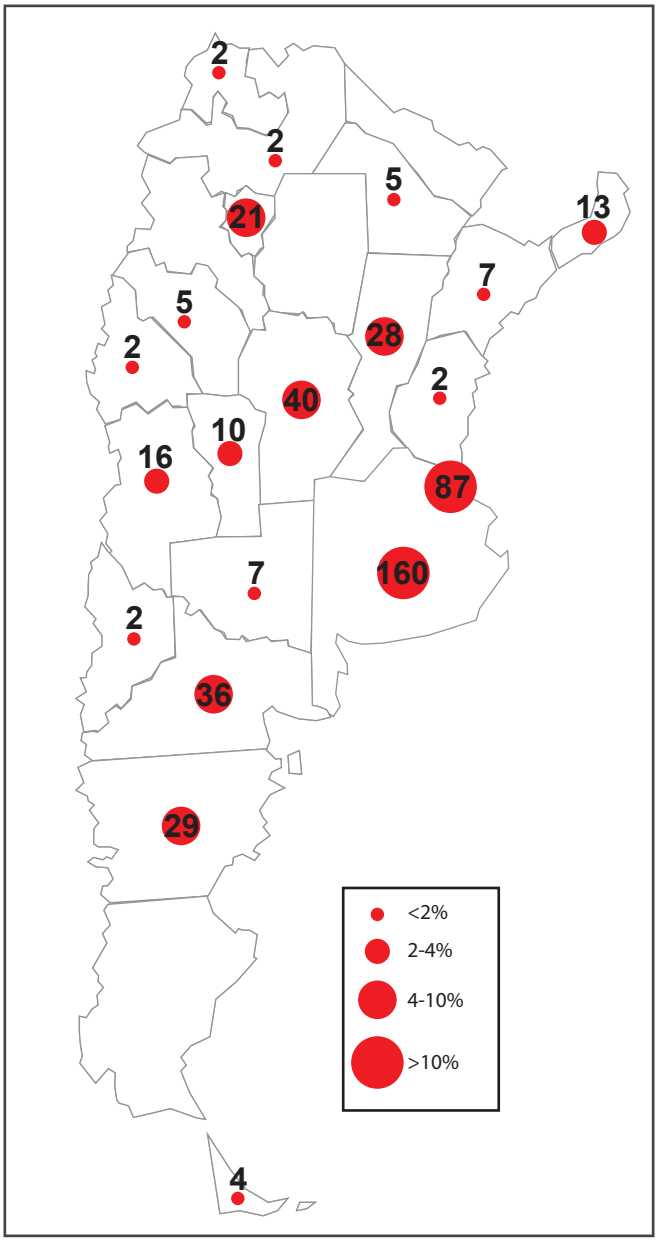


Gráfico 3.2. Distribución por provincias de grupos de investigación de Biología de Sistemas. *Fuente*: encuesta.

Considerando el total del país, la correlación por provincias entre la cantidad de grupos de investigación y la de habitantes es positiva y significativa. Sin embargo, si se excluyen Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, ese ajuste desaparece poniendo en evidencia fuertes desbalances geográficos entre la población y el desarrollo de las Ciencias Biológicas. Algunas provincias relativamente poco pobladas muestran una alta concentración de grupos de investigación (por ejemplo, Río Negro y Chubut), mientras que otras tienen un claro déficit en este sentido (Entre Ríos 0,5; Salta 0,5; Corrientes 1,5). Parte del desbalance podría atribuirse a que algunas áreas albergan recursos naturales de especial interés, como las aves y mamíferos marinos en las costas patagónicas, o los humedales asociados con los ríos de la Cuenca del Río de la Plata, justificando la presencia de una mayor densidad de grupos de trabajo en esas áreas. Sin embargo, una apreciación general de los datos disponibles no parece confirmar esta suposición, sugiriendo que el desarrollo regional de centros de investigación ha respondido más a oportunidades y vicisitudes circunstanciales, que a las diferentes necesidades de atesorar conocimientos.

Infraestructura y financiación

Si bien muchos de los problemas de las ciencias en la Argentina son de larga data, ampliamente conocidos y no requieren estudios profundos para su identificación, se consideró de interés cuantificar su importancia a partir de las opiniones de los actores involucrados. Con este fin, en la encuesta a los jefes de grupo se incluyó una pregunta que solicita asignar prioridades a cinco de los problemas más frecuentemente citados como determinantes para el quehacer científico (Gráfico 3.3).

Los resultados de este ejercicio revelaron detalles de interés, en algunos aspectos tendencias contrarias a las esperadas, pero también algunos resultados potencialmente contradictorios.

Los problemas de financiación y los relacionados con la infraestructura y el espacio fueron los que más frecuentemente se asociaron con la más alta prioridad (31 y 43% de las respuestas, respectivamente).

Sin embargo, los problemas de equipamiento (íntimamente ligados con la financiación) se consideraron de primera prioridad en solamente el 18% de los casos, aunque su pico (32%) fue en la prioridad 2. Ello sugiere que en la percepción de los científicos la escasez de financiación es menos grave en el área de la adquisición de equipos que en otros rubros (probablemente campañas, viajes a congresos, adquisición de insumos, reparación de equipamiento existente).

En el Gráfico 3.3 se identifican los problemas más importantes que perjudican el desarrollo de los trabajos de investigación, según la opinión de aproximadamente 200 jefes de grupo relevados.

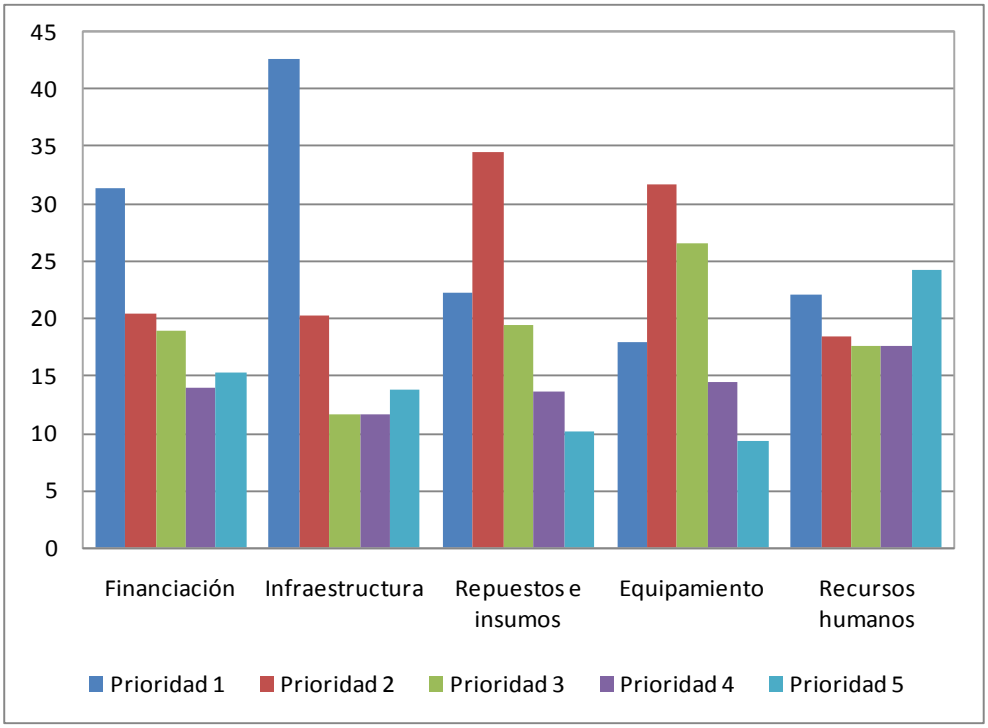


Gráfico 3.3. Para cada uno de los 5 escollos listados se indica el porcentaje de respuestas que identificaron el problema respectivo como altamente importante (Prioridad 1), hasta poco importante (Prioridad 5). *Fuente*: encuesta.

En cuanto a la infraestructura, se observa una clara dualidad entre las respuestas provenientes de centros de investigación alojados en construcciones de más de 10-20 años, y aquellos que ocupan alguno de los institutos CONICET o universidades erigidos más recientemente. Invariablemente, los primeros reclaman vehementemente que la falta de espacio físico es un escollo esencial, mientras que los segundos admiten estar cómodos en este sentido. Los problemas relacionados con la importación de equipos, repuestos e insumos también ocupan un lugar muy importante, con el 57% de las respuestas en prioridad 1 o 2. Curiosamente, la falta de recursos humanos es percibida como la falencia menos importante.

Una manera de sintetizar las respuestas resumiendo su importancia relativa en un indicador único es multiplicando la cantidad de asignaciones a

cada prioridad (otorgando cinco puntos a cada respuesta en Prioridad 1, cuatro en Prioridad 2, etc., hasta un punto en Prioridad 5), y sumando los resultados para cada problema planteado. Este ejercicio muestra que, globalmente, los problemas de infraestructura y espacio son los más acuciantes, pero su peso es muy poco superior al de los otros. En efecto, si se asigna un valor relativo de 1 a la infraestructura/espacio, los problemas de importación le siguen muy de cerca con 0,94; los de financiación con 0,92; y los de equipamiento con 0,91. Solamente la escasez de recursos humanos se considera claramente secundaria, con un índice de 0,81.

Más de la mitad (52%) de los jefes de grupo que respondieron a la encuesta aseguraron haber tenido financiación del exterior para sus trabajos durante los últimos 5 años.

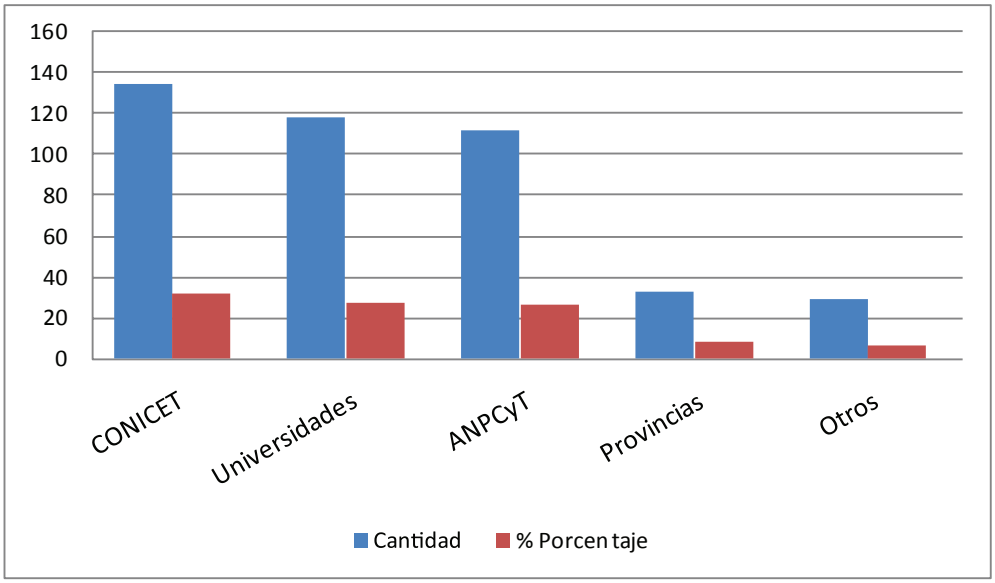


Gráfico 3.4. Fuentes de financiación de los proyectos de investigación. Se indica la cantidad de jefes de grupo que las reconocieron como tales y su frecuencia relativa. *Fuente*: encuesta.

De estos, la mayoría mencionaron haber recibido entre 5,000 y 50,000 U$S, seguidos por aquéllos que recibieron menos de U$S 5,000, y finalmente los que recibieron más de U$S 50,000. Sin embargo, globalmente estos fondos externos no parecen constituir un aporte de importancia: en las respuestas a la pregunta anterior de la misma encuesta, el CONICET, las Universidades y la ANPCyT son los organismos más importantes como fuentes de financiación de las investigaciones, con algo menos de un tercio cada uno. Las dependencias

provinciales ocupan el cuarto lugar y, finalmente, varias otras fuentes estatales y privadas (fundaciones, ONGs, sector privado, organismos extranjeros e internacionales, INTA, ministerios nacionales, empresas nacionales, municipalidades, etc.), cuyo aporte se menciona en 2 a menos del 0,5% de las respuestas. Este resultado confirma las estimaciones de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICyT), según la cual el Estado Central financia entre el 60 y el 70% de los gastos en investigación y desarrollo, mientras que los fondos del exterior solamente representan entre el 1 y el 3%.

En el período 2004-2012, el área Ciencias Biológicas de Organismos y Sistemas ha recibido de la ANPCyT subsidios para investigación por más de 138 millones de pesos (promedio anual: aproximadamente $ 15.500.000). Entre 2005 y 2012 el CONICET otorgó 853 subsidios a través de la Comisión Asesora de Biología por un total de unos 48 millones de pesos (promedio anual: $ 6.000.000; este total incluye también proyectos de otras áreas ajenas a la Biología de Sistemas). Estas cifras sugieren que la inversión anual en proyectos de investigación en Biología de Sistemas que se canaliza por los sistemas más usuales, incluyendo las fuentes de financiación de otro origen (en su gran mayoría más modestos, como los de las universidades), no excede los treinta millones de pesos. Una estimación comparativa muy grosera del nivel de financiación de los proyectos en Biología de Sistemas en la Argentina con, por ejemplo, la financiación en EEUU (el promedio anual de los subsidios a la investigación de la *National Science Foundation* oscila en unos U$S 150.000) indica que los montos anuales por proyecto son unas diez veces inferiores en nuestro país.

Aun considerando las imprecisiones involucradas en este cálculo, es obvio que la financiación por proyecto es sensiblemente inferior en la Argentina que en los EEUU (y, seguramente, que en la mayoría de los países desarrollados del mundo). El hecho que gran parte del equipamiento y los insumos utilizados en la Argentina deban ser importados del exterior agrava más aún este desbalance. Si bien este factor puede no ser definitorio, sin duda tiene efectos negativos, tanto sobre la productividad per cápita, como sobre el impacto de las investigaciones locales.

Producción científica argentina

La cantidad total de publicaciones internacionales con autores argentinos en Biología de Sistemas es muy diferente de acuerdo a qué base de datos se consulta. Para el período 2003-2012 según el *Science Citation Index* (SCI) (total para el decenio: 14.470) los números representan apenas entre el 40 y el 65% de

los que arroja SCOPUS y SCImago (total: 24.098; Gráfico 3.5). Estas diferencias se deben a la diferente cobertura de las dos bases de datos, y también a diferencias en la asignación temática de las revistas incluidas en la categoría bajo estudio. Es importante destacar que estos totales omiten las publicaciones en revistas no incluidas en estas bases de datos (no indexadas), así como aquellas anteriores al 2003. El volumen de estos trabajos es importante en algunas especialidades de la Biología de Sistemas.

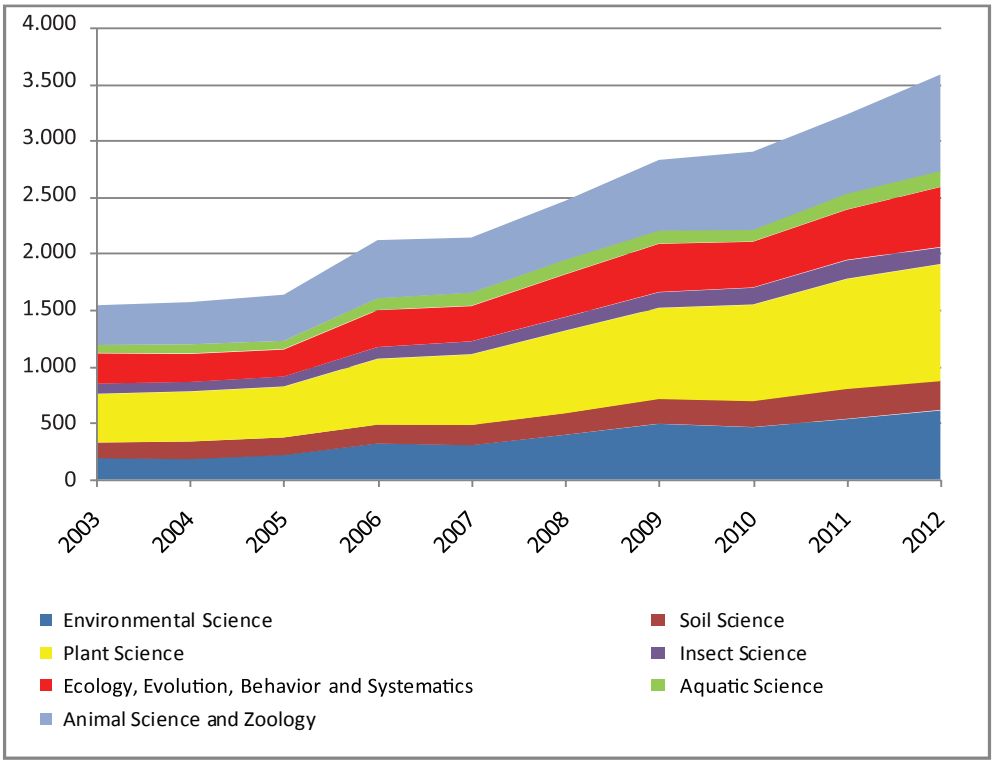


Gráfico 3.5. Cantidad total de artículos con autores argentinos en diversas especialidades de la Biología de Sistemas, para el lapso 2003 y 2012. *Fuente*: SCImago.

Entre los organismos argentinos con mayor producción científica en Biología de Sistemas, la Universidad de Buenos Aires es claramente el más importante, generando casi un tercio del total. Su peso relativo creció del 26% en 2003-2007, al 30% en 2008-2012 (Gráfico 3.6). Le siguen la Universidad Nacional de La Plata, la Universidad Nacional de Córdoba, la Universidad Nacional de Mar del Plata y el INTA, todos con cifras superiores al 5%, y luego una lista de 35 instituciones con valores menores.

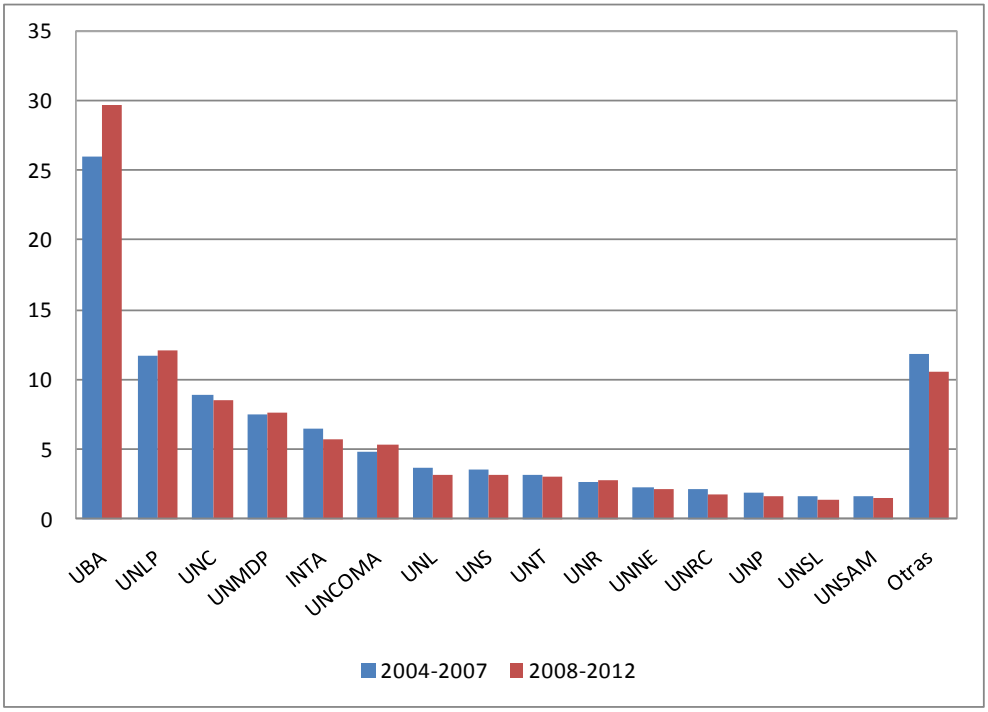


Gráfico 3.6. Porcentaje de la producción científica en revistas internacionales indexadas, discriminada por afiliación institucional de los autores para los períodos 2004-2007 y 2008-2012. La categoría "Otras" incluye 25 instituciones. *Fuente*: SCI, datos proporcionados por RICyT.

Esta dominancia de las instituciones tradicionales mayores, y sobre todo el aumento de la proporción que representan del total, es particularmente preocupante dado que en el lapso de diez años se ha erigido un número importante de instituciones nuevas en el país (por ejemplo, de las 47 Universidades Nacionales listadas en el sitio web de la Secretaría de Políticas Universitarias, 10 fueron creadas después de 2003), y por ende la importancia relativa de las preexistentes debería ir en disminución.

De acuerdo con los resultados de la encuesta, en los últimos 5 años el 53% de los grupos de trabajo relevados ha tenido actividades de cooperación con grupos de investigación extranjeros. La mitad de las cooperaciones fueron con cuatro países: EEUU (22%), Brasil (14%), España (10%) y Chile (6%). Sin embargo, el análisis de la producción científica conjunta entre especialistas argentinos y los de estos cuatro países sugiere que no todas estas colaboraciones declaradas involucran la publicación conjunta de resultados en revistas internacionales. Según SCOPUS, en las áreas *Agricultural and Biological Sciences y Environmental*

Sciences autores con afiliación argentina publicaron 9.802 trabajos en 2003-2007, y 13.710 en 2008-2012; sin embargo, solamente en el 25% de estas publicaciones figura la Argentina y alguno de los cuatro países mencionados entre las afiliaciones de los autores. Los datos que reporta SCImago muestran que la proporción de publicaciones conjuntas entre argentinos y extranjeros (todos los países) para el período 2003-2012 es de alrededor del 42% (sin distinción de áreas temáticas). Este valor es semejante al que indica la base de datos *Science Citation Index* (SCI) para colaboraciones internacionales que involucran autores argentinos en veinte categorías temáticas de la Biología de Sistemas: 38%.

Las estimaciones de cooperación internacional en términos de publicaciones en coautoría de la base de datos del SCI para el período 2003-2012 indican asociaciones con 108 países del mundo, pero más del 50% de estas colaboraciones están restringidas a 5 países: EEUU, Brasil, España, Alemania y Chile.

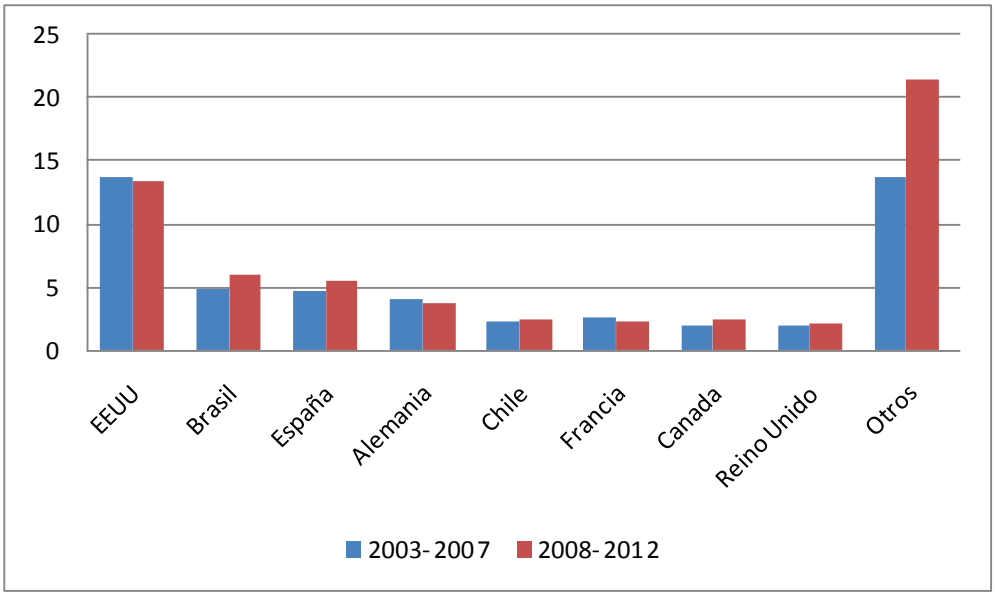


Gráfico 3.7. Porcentaje de publicaciones con autores de afiliación argentina en colaboración con colegas de otros países en los períodos 2003-2007 y 2008-2012. *Fuente*: SCI, datos proporcionados por RICyT.

En el quinquenio 2008-2012 el porcentaje de publicaciones en colaboración internacional (59%) fue superior al del período 2003-2007 (51%). La misma tendencia se observa en las colaboraciones entre instituciones del país, que asciende del 39% de la producción total en 2003-2007, al 50% en 2008-2012.

Otra de las conexiones internacionales de especialistas argentinos ha sido a través del envío de investigadores jóvenes al exterior para tareas de entrenamiento y especialización. Más de dos tercios de los grupos de trabajo consultados declararon tener investigadores jóvenes en su composición que realizaron estadías en el exterior de más de 3 meses en los últimos 5 años.

Para los países latinoamericanos analizados y otros de América del Norte, Europa y Oceanía, la producción en 2008-2012 fue superior a la del quinquenio anterior, pero las tasas de incremento no fueron iguales. Como en muchos otros aspectos, China fue el país que más creció (243%), seguido por Brasil (215%). La Argentina muestra un crecimiento menor, pero también importante (166%). En rasgos generales, los países con mayor producción histórica son los que muestran tasas de incremento más bajas (EEUU: 119%, Reino Unido: 120%, Canadá: 126%); ver Gráfico 3.8.

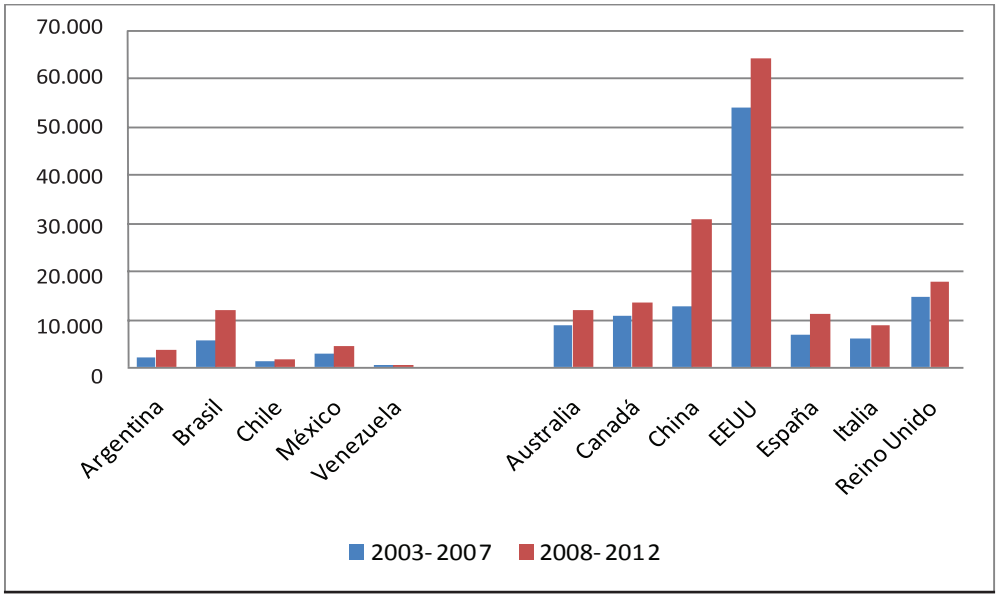
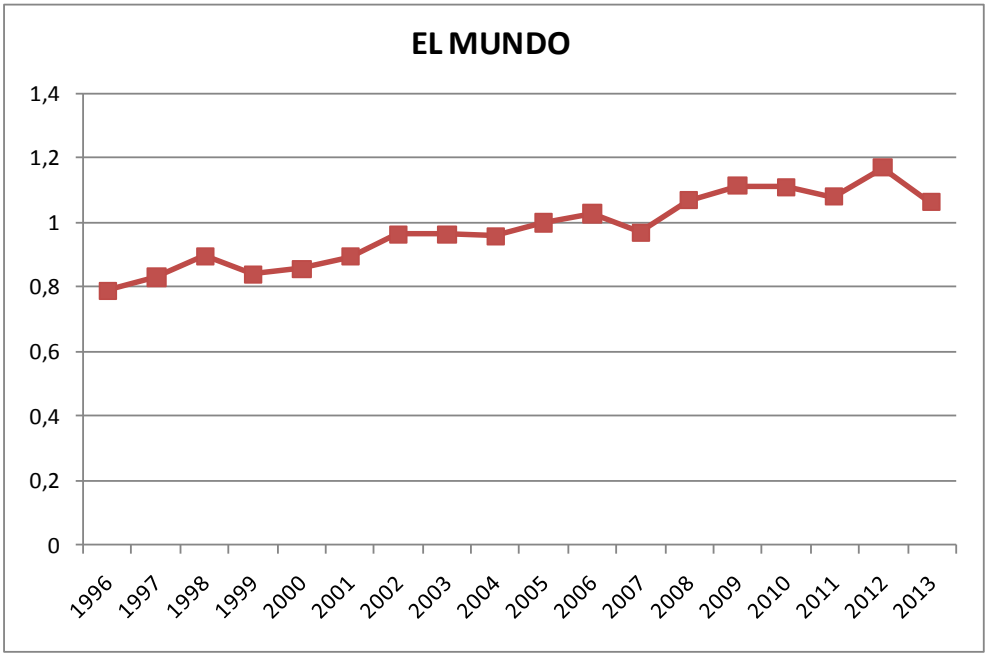
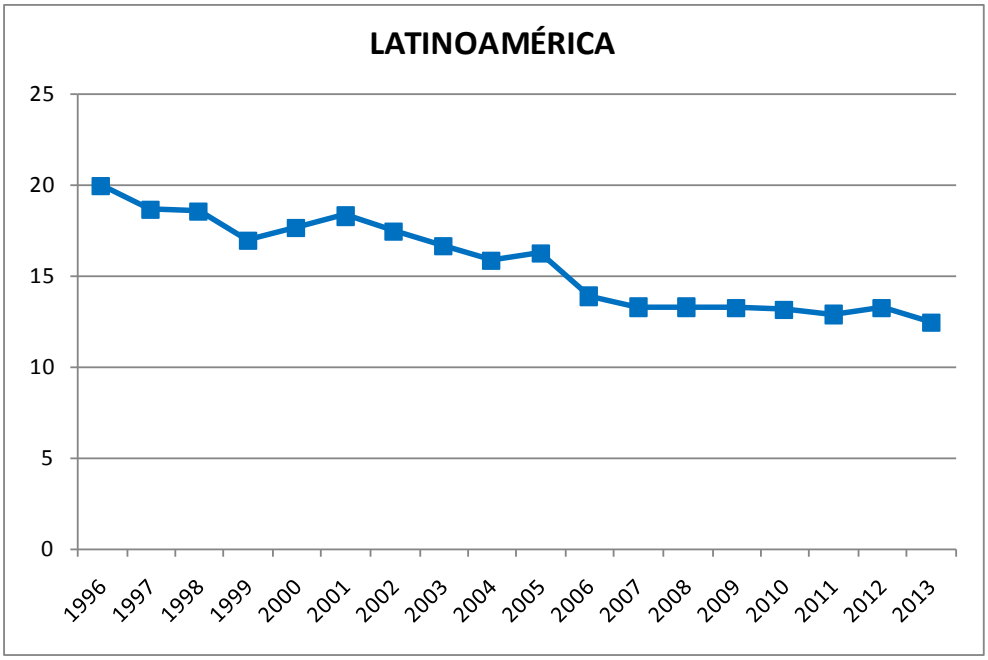


Gráfico 3.8. Promedios anuales de artículos publicados para los períodos 2003-2007 y 2008-2012 considerando las subáreas de *Agricultural and Biological Sciences: Animal Science and Zoology, Aquatic Science, Ecology Evolution, Insect Science, Plant Science y Soil Science*, y la totalidad de las subáreas de *Environmental Sciences*. *Fuente*: SCImago.

En los últimos años, la evolución de la producción argentina en relación con la producción mundial se ha incrementado levemente de 0.9 a 1.1-1.2%. Sin embargo, con respecto a Latinoamérica se observa una disminución muy significativa, en gran medida debido al notable crecimiento de la producción brasileña.





Gráficos 3.9. Porcentaje de artículos con autores argentinos con respecto al total mundial y latinoamericano en el período 1996-2013. *Fuente:* SCImago.

Los valores analizados indican que, entre 2003 y 2012, la producción científica brasileña creció casi dos veces más (3.8) que la de los demás países latinoamericanos (alrededor de 2). La información de SCOPUS desde 1960 (presumiblemente igual de incompleta para todas las áreas y países) hasta 2010 para el área *Life Sciences* muestra tendencias interesantes. Si bien EEUU es ampliamente dominante en cantidad de publicaciones durante ese medio siglo, su hegemonía aumenta del 10-15% de la producción mundial hasta 1970, a alrededor del 30% después de 1980. Argentina, que en 1970 tiene una producción dos veces superior a la de Brasil y de España, y cuatro veces la de Chile, en 2010 produce un cuarto de las publicaciones de los primeros dos, y solamente el doble que Chile. Con respecto a EEUU y el Reino Unido, entre 1960 y 2010 la producción de Argentina aumentó de 0,5 a 3% (EEUU) y de 1 a 11% (RU), pero con respecto a muchos otros países que en 1960 estaban en niveles de producción comparables a los nuestros el crecimiento de Argentina fue mucho más pobre (la mitad del de Brasil, tres veces menos que España).

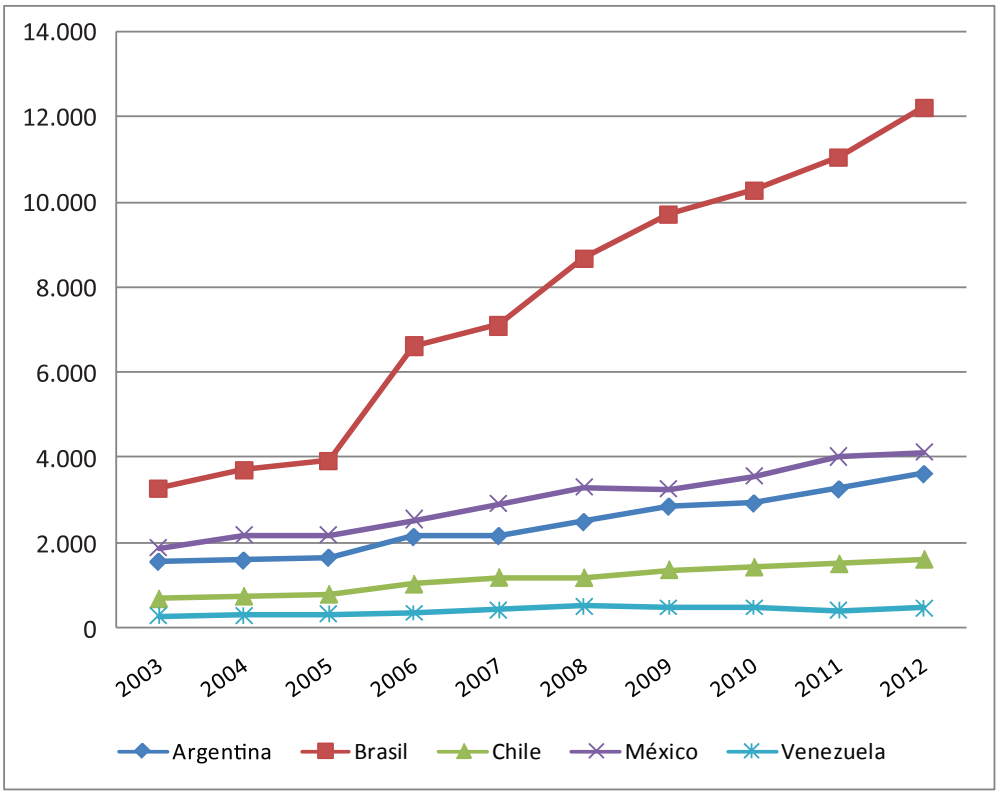


Gráfico 3.10. Artículos con autores argentinos en comparación con las de autores de otros países de Latinoamérica en el período 2003-2012. *Fuente:* SCImago.

Obviamente, los contrastes observados son parcialmente debidos a diferencias entre los tamaños poblacionales de los países comparados, pero el análisis de las cifras indica que estas diferencias de tamaño distan mucho de ser el único factor responsable. Normalizando los valores de publicaciones producidas sobre la base de la población económicamente activa de cada país, las figuras de Latinoamérica se vuelven mucho más homogéneas (Gráfico 3.11).

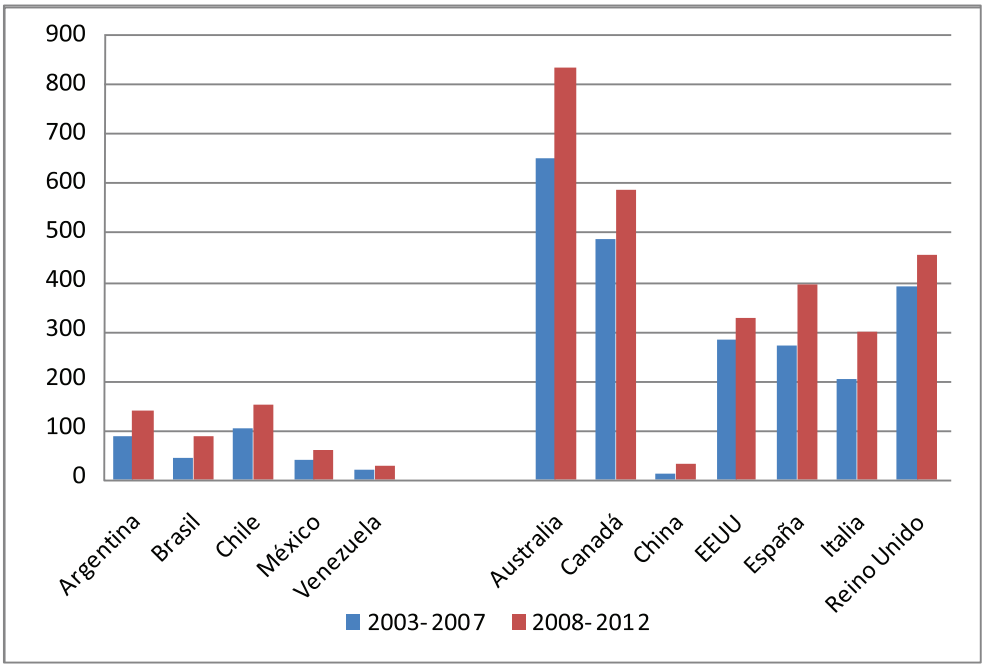


Gráfico 3.11. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuente*: SCImago y Banco Mundial.

Es interesante observar que con esta corrección Chile surge como el país más productivo de Latinoamérica, seguido por la Argentina y Brasil en tercer lugar. China, a pesar de su peso en valores absolutos, debido al tamaño de su población exhibe una productividad específica muy baja, semejante a la de Venezuela. También, todos los países desarrollados, sobre todo Australia y Canadá, muestran índices varias veces superiores a los del bloque latinoamericano y China. En otras palabras, su producción científica por habitante es hasta 8 veces superior que la de Argentina.

Con el fin de efectuar un análisis más pormenorizado de la producción científica argentina en el área de la Biología de Sistemas, se extrajeron de SCOPUS todos los trabajos de autoría o coautoría de los jefes de grupo contactados por

los colaboradores. En total, se utilizaron 398 nombres, obteniéndose 11.352 artículos en revistas periódicas con algún autor argentino, sin límite temporal. (Tabla 3.1).

El promedio general de cantidad de publicaciones por autor es de 28 (o aproximadamente 1.5 trabajos por autor por año), aunque se observan importantes diferencias entre disciplinas. El máximo es en Parasitología (60 trabajos por autor) donde, curiosamente, las publicaciones son más breves (6,6 páginas por trabajo). También es una de las áreas donde una mayor proporción de las revistas más comúnmente utilizadas tienen factores de impacto más bajos (80% con SCImago Journal Rank inferior al promedio, que es de 0,65 para las aproximadamente 2.300 revistas cubiertas por SCOPUS en el área de la Biología deSistemas). Botánica y Ecología Terrestre (animal) también tienen una productividad comparativamente alta, mientras que Ficología muestra el valor más bajo. Es importante destacar que estas cifras pueden tener un sesgo debido a diferencias en la estructura de edades de los especialistas correspondientes ya que las publicaciones anteriores a 1996 no están adecuadamente representadas en SCOPUS.

En todos los casos se observa que la producción es entre 1,3 y 2 veces superior en 2008-2012 que en 2003-2007. Sin embargo, en el mismo período hubo un incremento en la cantidad de investigadores. Las estadísticas del CONICET, por ejemplo, muestran que en el mismo período la cantidad de investigadores se multiplicó por 1,4. En consecuencia, el aumento en la producción se debe en gran medida al crecimiento en la cantidad de especialistas, y no necesariamente a un aumento de la productividad individual.

Los indicadores que siguen dan una idea de la calidad de las revistas utilizadas. El cuartil medio de las revistas en las diferentes disciplinas muestra algunas diferencias importantes, con valores menos favorables en Malacología, Ictiología y Parasitología, sobre todo en lo referente a los porcentajes de trabajos en revistas del primer cuartil. Es probable que este resultado refleje, al menos parcialmente, la circunstancia que algunas de estas disciplinas no tienen una categoría "propia" y están incluidas en grupos temáticos más amplios cuyas revistas más citadas no son las que tradicionalmente utilizan estos especialistas. Las cifras obtenidas parecen indicar que, temporalmente, la calidad de las publicaciones no parece haber variado significativamente en el decenio analizado. Sin embargo, la ausencia de estadísticas para las revistas no indexadas no permite analizar la evolución temporal de las proporciones de trabajos en estas últimas con respecto a las indexadas. Es muy probable que esta proporción haya disminuido en los últimos decenios.

Por último, en casi todas las disciplinas se observa un aumento en la cantidad de autores por trabajo, pasando de un promedio de 4,1 en 2003-2007, a 4,8 en 2008-2012.

	Botánica	Limnología	Ficología	Malacología	Ictiología	Ecología terrestre (animal)
Cant. de nombres de Jefes de Grupo utilizados	94	30	25	14	13	68
Total de publicaciones (SCOPUS)	3345	591	325	346	242	2698
Publicaciones por autor	35.6	19.7	13.0	24.7	18.6	39.7
Porcentaje del total de publicaciones (SCOPUS) en:						
2003-2007	23.1	22.3	24.3	23.4	27.7	23.0
2008-2012	34.8	36.0	33.5	32.4	36.4	35.4
Cuartil medio (valores más bajos indican mayor cantidad de citaciones)						
2003-2007	1.6	2.0	2.1	2.4	2.2	1.8
2008-2012	1.7	1.8	1.8	2.3	1.9	1.8
Proporcion en cuartil 1 (25% de las revistas de mayor impacto en la disciplina)						
2003-2007	57.0	39.6	40.3	22.2	13.1	43.9
2008-2012	49.9	48.8	48.6	11.6	24.1	47.9
Proporcion en cuartil 4 (25% de las revistas de menor impacto en la disciplina)						
2003-2007	7.7	3.7	9.1	16.0	6.6	7.3
2008-2012	9.9	4.2	5.5	9.8	5.7	7.2
% del total de las publicaciones en revistas con factor de impacto (SCImago) mayor a 5						
2003-2007	3.9	0.0	2.2	0.0	0.0	1.3
2008-2012	1.6	0.7	0.0	1.4	0.0	1.4
10 revistas con mayor cantidad de publicaciones [y su correspondiente factor de impacto SJR-SCImago, para 2012]						
	Ecol Austral [0.29] J Arid Env [0.824] J Veg Sci [1.486] Austral Ecology [0.854] Forest Ecol Manag [1.529] Oecologia [1.601] Plant Ecol [0.832] Appl Veg Sci [5.473] Ecology [3.246] Biodiv Cons [1.004]	Hydrobiologia [0.876] Limnologica [0.606] Ecol Austral [0.29] Freshw Biol [1.615] J Plankton Res [1.305] Photochem Photobiol [0.709] Limnol Oceanogr [1.997] Photochem Photobiol Sci [5.473] Bull Environ Cont Toxicol [0.557] Polar Biol [0.885]	Phycologia [0.679] J Phycol [0.864] Limnetica [0.383] Hydrobiologia [0.876] Biores Technol [2.112] Diat Res [0.449] J Plankton Res [1.305] Phycol Res [5.473] Bot Mar [0.453] Darwiniana [0.165]	Malacologia [0.478] Biocell [0.232] J Moll Stud [0.499] Hydrobiologia [0.876] Ameghiniana [0.414] Amer Malacol Bull [0.468] Braz J Biol [0.438] J Freshw Ecol [0.217] Biol Inv [1.257] Veliger [0.419]	Neotrop Ichthyol [0.612] Rev Suisse Zool [0.245] J Fish Biol [0.789] Aquac Res [0.667] Ecol Austral [0.29] Fish Res [0.775] Freshw Biol [1.615] Biol Trace Elem Res [5.473] Check List [0.306] J Appl Ichthyol [0.427]	Ornitol Neotrop [0.202] Ecol Austral [0.29] J Arid Envir [0.824] Emu [0.748] Mem Inst Oswaldo Cruz [0.619] J Mammal [1.117] Polar Biol [0.885] Mammal Biol [5.473] Condor [0.639] Ecology [3.246]
Cantidad media de autores por publicación						
2003-2007	4.2	4.1	4.3	3.6	4.4	3.8
2008-2012	5.2	4.5	5.1	3.4	5.0	4.7
Media de páginas por trabajo (2003-2012)	9.4	9.9	15.0	9.1	11.9	9.1

	Micologia	Entomologia/ Aracnología/ Carcinologia	Herpetologia/ Ornitologia/ Mastozoología	Parasitologia
	20	107	19	8
	531	2467	331	476
	26.6	23.1	17.4	59.5
	24.1	25.8	22.1	23.0
	37.0	38.5	44.1	27.1
	1.7	2.1	2.1	2.1
	1.8	2.0	2.2	2.5
	49.4	28.5	27.7	19.4
	42.9	29.4	38.1	11.6
	4.5	13.4	10.8	6.5
	14.6	27.5	7.5	26.7
	0.0	0.8	0.0	2.5
	0.8	1.0	0.8	0.0
	Mycologia [0.968] Mycotaxon [0.468] Int J Food Microbiol [1.386] Mycopathologia [0.401] Mycorrhiza [0.916] Int J Syst Evol Microbiol [0.906] FEMS Microbiol Ecol [1.372] Int Biodet Biodegr [5.473] Rev Arg Microbiol [0.245] Europ J Plant Pathol [0.73]	Zootaxa [0.51] Mem Inst Oswaldo Cruz [0.619] Florida Entomol [0.514] Ann Entomol Soc Am [0.652] Neotrop Entomol [0.459] Cladistics [2.05] J Med Entomol [0.867] Rev Biol Trop [0.278] Ecol Austral [0.29] Stud Neotrop Fauna Envir [0.371]	Zootaxa [0.51] Mastozool Neotrop [0.268] Mamm Biol [0.521] J Morphol [0.602] Mammalia [0.307] Ornitol Neotrop [0.202] Palaeogeogr Palaeoclimat Palaeoec [1.433] J Zool [0.93] Mol Phylog Evol [1.783] Quat Int [0.969]	J Paras [0.547] Paras Latinoamer [0] Paras Res [0.992] Rev Arg Microbiol [0.245] Mem Inst Oswaldo Cruz [0.619] Comp Paras [0.408] Salud (i) Ciencia [0.101] Acta Bioq Clin Latinoamer [0.183] Paras Int [0.836] Syst Paras [0.458]
	4.2	3.5	3.9	4.7
	5.9	4.1	5.6	4.5
	8.1	9.5	10.9	6.6

Tabla 3.1. Producción de autores argentinos, basada sobre la cantidad de trabajos en los cuales participaron los jefes de grupos contactados por los colaboradores, usando el término "Argentina" en el campo de la filiación y correpondiente a todos los años relevados por SCOPUS. El cuartil medio es el promedio ponderado $(q_1+2q_2+3q_3+4q_4)/(q_1+q_2+q_3+q_4)$ de las cantidades de trabajos publicados en cada uno de los cuatro cuartiles de las publicaciones consideradas por SCImago, clasificadas por el índice SJR (*SCImago Journal Rank*).

Resumiendo, los datos bibliométricos analizados sugieren que la cantidad y calidad de la producción de las diferentes disciplinas tienen diferencias importantes. En Botánica, sobre todo Ecología Vegetal y Ecología Terrestre han tenido un desempeño superior al promedio, mientras que en Malacología, Ictiología y Parasitología probablemente fue inferior al promedio.

El impacto y aceptación de las revistas argentinas en las disciplinas incluidas en la Biología de Sistemas ha ido en franca disminución. Varias revistas, incluyendo algunas históricas que comenzaron a editarse a principios del siglo XX, como *Physis*, desaparecieron totalmente. Otras, sin embargo, siguen editándose, en algunos casos luego de fusionar varias publicaciones temáticamente afines en una. En 2014 SCOPUS incluye un total de 53 revistas argentinas, 7 de ellas del área de la Biología de Sistemas: *Ecología Austral, Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Mastozoología Neotropical, Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, Phyton, Darwiniana y Hornero* (hasta 2011, solamente una de estas estaba incluida en las bases del SCI). Sin embargo, sus factores de impacto son bajos (el SJR más alto de 0,265;corresponde a *Ecología Austral*).

Según este relevamiento, menos del 5% de los trabajos computados corresponde a alguna revista argentina. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos datos provienen de SCOPUS, donde muchas revistas argentinas no están cubiertas o comenzaron a cubrirse recientemente, y por ende no representan adecuadamente toda la producción argentina en revistas argentinas.

La evaluación del impacto internacional de la producción argentina (tal como se infiere de la cantidad de citaciones por artículo publicado), en comparación con la de otros países de la región y del mundo, se ilustra en el Gráfico 3.13. En Latinoamérica los valores son más o menos homogéneos, y generalmente algo más bajos que los de la producción de países más desarrollados. El Reino Unido exhibe los valores más altos, seguido por Canadá y Australia. Es interesante destacar que la producción de EEUU, con la mayor cantidad de publicaciones en términos absolutos, tiene un impacto no muy superior al de Latinoamérica. Las investigaciones de autores chinos, segundas en cantidad en el mundo en 2008-2012, tienen la menor tasa de citas (ver Gráfico 3.8). Sin embargo, nuevamente, es muy importante destacar que esta comparación solamente incluye publicaciones en las revistas cubiertas por SCOPUS, y no toda la producción de cada país. Para los países más desarrollados estas revistas constituyen prácticamente las únicas donde publican sus especialistas, y por ende la media de citaciones por trabajo refleja adecuadamente el impacto de toda su producción. Para los países latinoamericanos, por otro lado, cuyos especialistas en Biología de Sistemas publican también en revistas locales, este índice no incluye las citas correspondientes, que son mucho más bajas que las anteriores. En consecuencia, si se incluyeran estas revistas no cubiertas por SCOPUS (para

las cuales no existen estadísticas de citaciones), los indicadores de Argentina, Brasil, Chile, México y Venezuela probablemente serían significativamente más bajos que los de Australia, Canadá, EEUU y el Reino Unido.

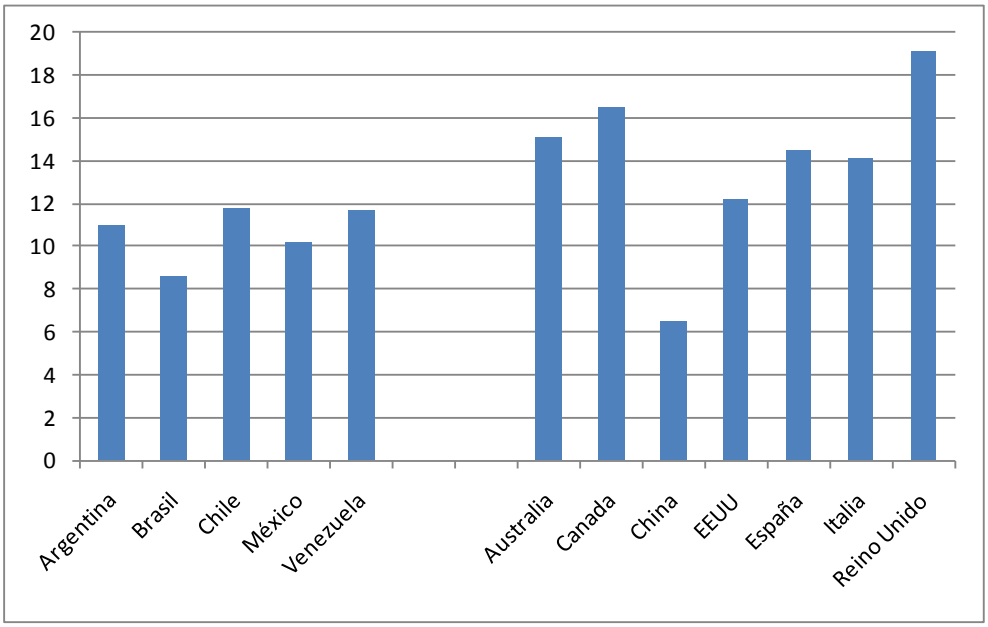


Gráfico 3.13. Promedio de citas por artículo anual (excluyendo autocitas) para el período 2003-2007. *Fuente*: SCImago.

Esta apreciación es confirmada por la comparación de la cantidad de citas a trabajos publicados en el *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, que comenzó a ser cubierto por SCOPUS en 2011. En esta revista, entre 2011 y 2014 autores de filiación argentina publicaron 123 trabajos que recibieron un total de 50 citaciones (0,40 citaciones por trabajo en promedio). La misma estimación para varias revistas internacionales de Botánica (*Plant Ecology, Journal of Vegetation Science, Applied Vegetation Science, Forest Ecology, Agriculture, Ecosystems and Environment, American Journal of Botany, Annals of Botany, Annals of the Missouri Botanical Garden, Australian Journal of Botany, Botanical Journal of the Linnean Society*), donde entre 2011 y 2014 autores argentinos publicaron 213 trabajos, indica entre 1,2 y 5,4 (media: 3,6) citaciones por trabajo. Sin duda, el idioma de las contribuciones (el 89% de las publicadas en el Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica son en castellano) tiene mucho que ver con su baja visibilidad internacional.

Es importante señalar que la cantidad media de citas por documento

por país ilustrada en el Gráfico 3.13 da una visión sesgada y potencialmente engañosa, ya que no incluye información acerca de la cantidad de documentos involucrados. Según SCImago, para el período 1996-2013, en cantidad media de citas por documento el primer lugar lo ocupa Tokelau (un territorio insular del Pacífico Sur), con 36 citaciones, pero todas ellas referidas al único trabajo publicado por un autor de ese territorio en esos 18 años. En contraste, EEUU figura en el lugar número 15, pero su promedio de citaciones (22) es para más de siete millones de publicaciones.

Transferencia de desarrollos tecnológicos y generación de patentes

Una cuarta parte de los grupos de trabajo que respondieron a la encuesta declararon haber realizado trabajos con transferencia al sector privado o a la sociedad en general en los últimos 5 años. Sin embargo, solamente el 6% de las respuestas destacaron la generación de patentes. Es interesante mencionar que la brecha entre la Argentina y muchos países más desarrollados es mucho mayor aún en este rubro que en la publicación de trabajos científicos. Por ejemplo, en el año 2012, la producción científica de Argentina fue, en volumen, 50 veces inferior a la de los EEUU. En el mismo período, residentes de los EEUU solicitaron 376 veces más patentes en ese país que residentes argentinos en la Argentina (según datos del informe 2013 de la *World Intellectual Property Organization*).

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Según información del Ministerio de Educación de la Nación, el sistema universitario argentino está integrado por cuarenta y siete Universidades Nacionales, cincuenta Universidades Privadas, siete Institutos Universitarios Estatales, catorce Institutos Universitarios Privados, tres Universidades Provinciales, una Universidad Extranjera y una Universidad Internacional. En estas 123 instituciones hay un total de 112 carreras de Biología y disciplinas afines de nivel de Licenciatura y 41 con orientación pedagógica (Profesorados). En el caso de las Licenciaturas los nombres de las carreras son variables, contabilizándose un total de 53 denominaciones diferentes incluyendo los términos "Ciencias Biológicas", "Gestión Ambiental", "Ciencias Ambientales", "Biología" y "Ecología". Si bien la Provincia de Buenos Aires y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires concentran la mayor oferta de carreras de grado en el área de la biología (aproximadamente 40%), existen carreras de corte biológico y/o ambiental en las 24 provincias del país.

Entre los años 2003 y 2012, estas Licenciaturas en Ciencias Biológicas y disciplinas afines tuvieron casi 300.000 estudiantes de grado, de los cuales 10758 obtuvieron su título en el mismo período; 83% de éstos cursaron sus estudios en instituciones públicas (Gráfico 3.15.).

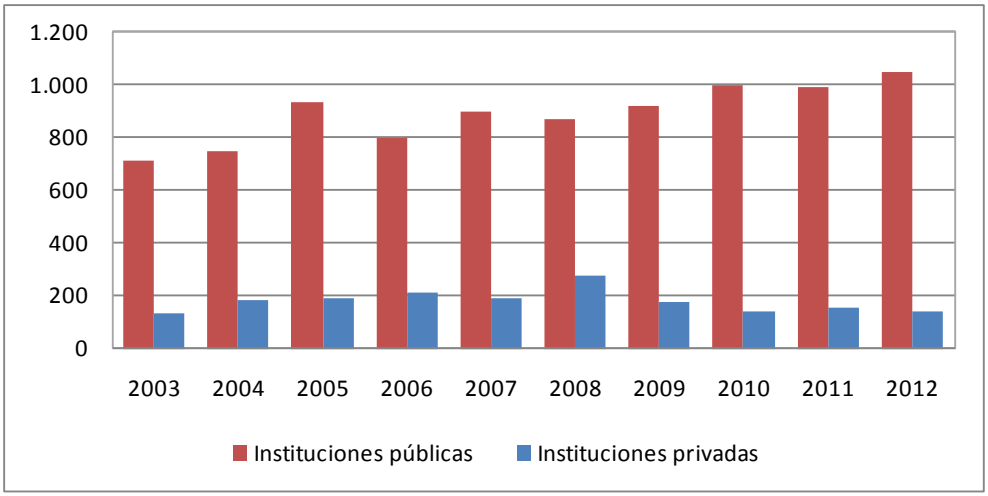


Gráfico 3.15. Evolución de la cantidad de egresados de grado en instituciones públicas y privadas. *Fuente*: Ministerio de Educación de la Nación.

Cuatro Universidades del país (Buenos Aires, La Plata, Córdoba y Río Cuarto) producen más de un tercio del total de los especialistas (Gráfico 3.16). En esos 10 años, la matrícula creció a un promedio de aproximadamente 4% anual, cifra que cuadruplica el crecimiento poblacional del país en el mismo período.

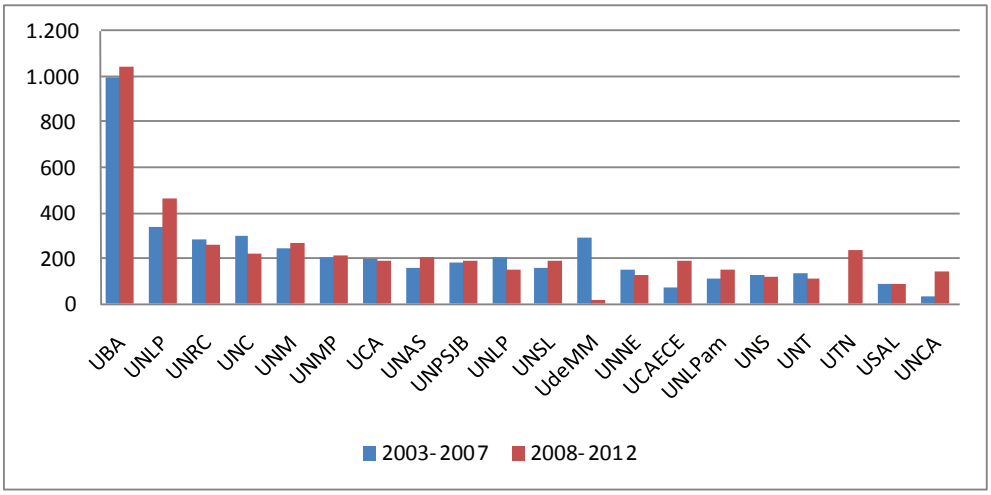


Gráfico 3.16. Total de egresados de grado de Carreras de Biología y ramas afines en 20 instituciones públicas y privadas en los períodos 2003-2007 y 2008-2012. *Fuente*: Anuario de Estadísticas Universitarias 2012 de la Secretaría de Políticas Universitarias.

La cantidad de egresados (Licenciatura) se mantiene más estable a lo largo del tiempo que la de alumnos. Comparando los quinquenios 2003-2007 y 2008-2012, se observa que la cantidad de alumnos aumentó un 22%, pero la de egresados solamente un 14%. Suponiendo que la duración promedio de estas carreras es de aproximadamente 5 años, estas cifras sugieren una deserción cercana al 80%. Es interesante destacar que los mismos cálculos realizados separadamente para carreras en instituciones públicas (172) y privadas (40) indican que la deserción de las privadas es cerca de la mitad de la que se observa en las públicas.

Los datos para las carreras de postgrado indican eficiencias sensiblemente más altas, sobre todo en los Doctorados. Para el período 2003-2012, la Secretaría de Políticas Universitarias informa un total de 2852 títulos de Magister o Doctor en Biología y ciencias afines otorgados por 31 instituciones educativas. Los doctorados son mucho más numerosos que las maestrías, y la brecha entre ambos aumentó sensiblemente entre 2003 y 2012 (Gráfico 3.17.). Más de la mitad de los egresados corresponden a solamente 5 instituciones (UBA, UNLP, UNR, UNC y UNComa; Gráfico 3.18).

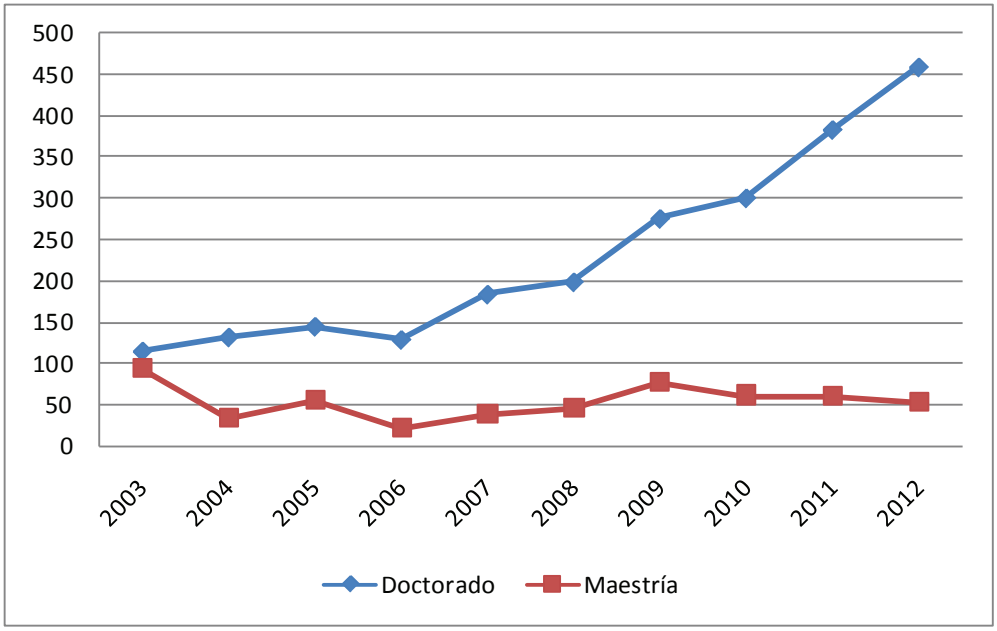


Gráfico 3.17. Evolución del número de egresados de postgrado en Biología de Sistemas entre 2003 y 2012 en instituciones públicas.

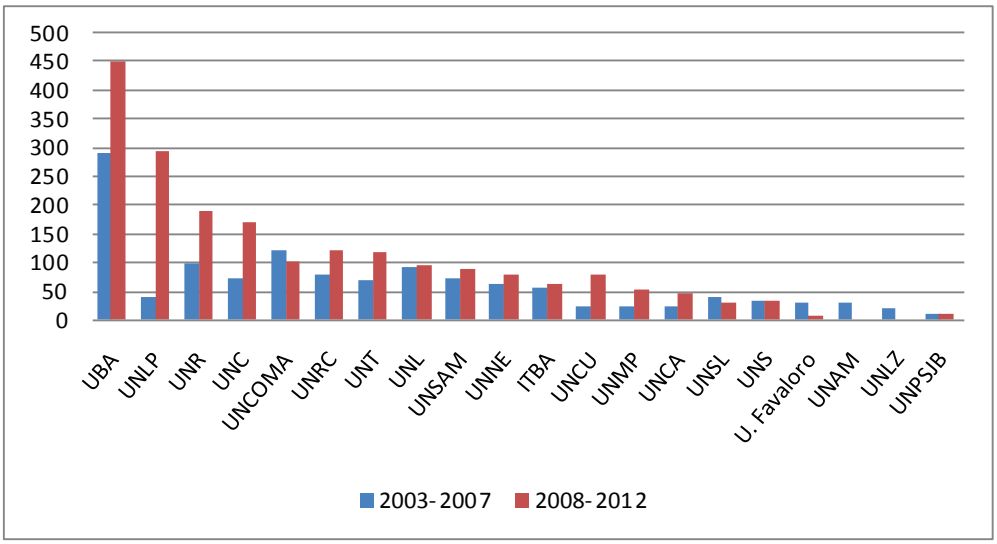


Gráfico 3.18. Cantidad total de egresados de postgrado (Maestría y Doctorado) de Carreras de Biología y ramas afines en 20 instituciones públicas y privadas en los períodos 2003-2007 y 2008-2012. *Fuente*: Anuario de Estadísticas Universitarias 2012 de la Secretaría de Políticas Universitarias.

La intervención de los investigadores en la formación de estos recursos humanos es muy importante. Según datos surgidos de las encuestas respondidas, entre 25 y 40% de los miembros de los grupos de trabajo participan en tareas de docencia universitaria y extensión. La participación en docencia no universitaria es mucho más baja (6%). (Gráfico 3.19).

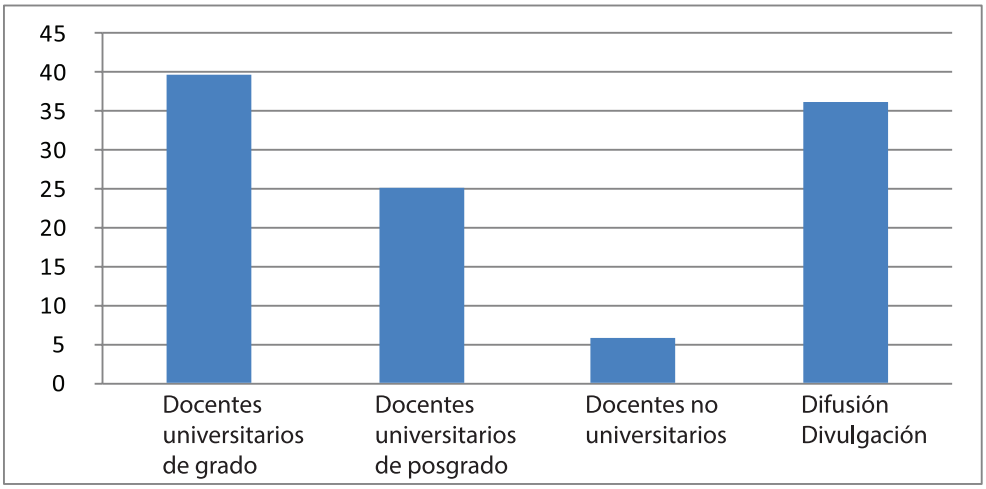


Gráfico 3.19. Porcentaje de participación de los miembros de los grupos de trabajo relevados (incluyendo todos los niveles de formación) en tareas de docencia y de divulgación de la ciencia. *Fuente*: encuesta.

Lamentablemente, no se ha podido conseguir información detallada sobre la disponibilidad y evolución temporal de becas de postgrado, aunque se estima que en las especialidades de la Biología de Sistemas la mayor parte de los doctorandos (probablemente más del 90%) completan sus estudios de postgrado en el ejercicio de una beca, normalmente de 5 años de duración. Una estimación muy aproximada indica que, para cubrir las necesidades de las cantidades de doctorandos indicadas en el Gráfico 3.18, se necesitan unas 2.000 becas por año. Según información suministrada por el CONICET a través su área KB2 (Biología), entre 2003 y 2012 este organismo financió un promedio de cerca de 600 becas doctorales por año (entre 193 en 2005 y 2.051 en 2011). En otras palabras, el CONICET financiaría alrededor de una tercera parte de los doctores en Biología de Sistemas formados en el país, y los dos tercios restantes serían cubiertos principalmente por becas de ANPCyT y de las Universidades Nacionales.

La cantidad de postulantes a las becas (de CONICET y otras) es normalmente superior a la de becas ofrecidas, pero la tasa de ingreso al sistema varía mucho de un año a otro.

SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS

Muchas de las especialidades de la Biología de Sistemas cuentan con asociaciones profesionales. La mayoría de estas son de larga data, algunas con más de 50 años de existencia, pero también hay otras, como por ejemplo la Asociación Argentina de Malacología, que se han formado (o reformado: asociaciones de malacólogos se formaron al menos dos veces en el pasado, pero en ambos casos dejaron de existir en los hechos por falta de actividad) recientemente.

Las actividades de estas asociaciones incluyen:

La organización de congresos y simposios, ya sea independientes o en el marco de disciplinas más amplias, normalmente con una periodicidad definida; la selección y entrega de premios o distinciones, frecuentemente a investigadores jóvenes de la disciplina, normalmente en el marco de reuniones periódicas; el mantenimiento y administración de listas de correo electrónico (o listas de interés) para intercambio de información entre los suscriptos; la edición de revistas científicas de la especialidad; la organización de cursos o seminarios sobre temas destacados de la especialidad, frecuentemente en el marco de los congresos y el apoyo y colaboración con las asociaciones de amateurs en la misma temática.

Entre las asociaciones más activas en la Biología de Sistemas y áreas afines están las siguientes:

Asociación Argentina de Ecología (AsAE)

Tiene cuatro propósitos fundamentales: estimular y promover la investigación, favorecer la enseñanza, auspiciar la divulgación de conocimientos en Ecología y contribuir a la protección del patrimonio natural del país. AsAE publica la revista científica *Ecología Austral*, de aparición cuatrimestral, en donde aparecen trabajos originales e inéditos de investigación científica teórica o experimental en cualquier rama de las ciencias ambientales, así como revisiones y actualizaciones que resumen el estado actual del conocimiento sobre un tema y ayudas didácticas destinadas a ser material de lectura para alumnos de grado. Esta revista tiene un alto prestigio entre los ecólogos de Argentina, aunque la mayoría de ellos priorizan la publicación de sus trabajos en revistas internacionales, debido a a la presión que se ejerce desde los sistemas de evaluación. La AsAE organiza bienalmente la Reunión Argentina de Ecología. Tiene lugar en diferentes ciudades del país, donde se dan cita y presentan sus

investigaciones los ecólogos de la Argentina. Además, co-organiza la reunión binacional de Ecología con SOCECOL (Chile).

Sociedad Argentina de Botánica

Tiene entre sus objetivos: editar trabajos de investigación botánica, organizar y auspiciar reuniones científicas, propender al mejoramiento de la enseñanza de la Botánica, estimular la protección de la vegetación natural, llevar a cabo excursiones botánicas, contribuir a una mayor precisión de la terminología botánica. Esta sociedad agrupa a una buena parte de los taxónomos de plantas vasculares que con la cuota societaria edita una revista (*Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*) y organiza cada 2 años una reunión científica. Las actividades se centran fundamentalmente en los dos objetivos citados más arriba, siendo dispar el cumplimiento de los demás objetivos estatutarios. El prestigio de la publicación científica, en el contexto de las publicaciones nacionales, no es el más alto entre los investigadores de sistemática de plantas. En general, los botánicos sistemáticos consideran que la mejor revista nacional del área es *Darwiniana*. Además, los trabajos son enviados a revistas internacionales debido a la presión que se ejerce desde los sistemas de evaluación.

Sociedad Argentina de Biología (SAB)

Agrupa en general a los especialistas de un modo u otro vinculados con la Escuela iniciada por Bernardo Houssay. Actualmente la SAB hace reuniones anuales y trata de extender sus horizontes. Todos los años se realiza la reunión anual y en 2014 se firmó un convenio con la Sociedad Uruguaya de Neurociencias con la idea de hacer cada cuatro años un congreso Rioplatense.También en 2014 se realizó el concurso para el Premio Houssay y se entregó en las XVI Jornadas Anuales de la Sociedad realizadas en Chascomús.

Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal (SAFV)

Tiene por objetivos: promover el conocimiento de la Fisiología Vegetal y de estudios dirigidos a comprender en un sentido amplio el funcionamiento de las plantas, tanto cultivadas como silvestres; difundir todo tipo de información que contribuya a estos fines; favorecer el intercambio de conocimientos, ideas

y experiencias entre investigadores en el tema, organizar eventos y reuniones científicas de la especialidad, brindar asesoramiento gratuito y veraz a los organismos públicos, poderes del Estado, organismos no-gubernamentales y entidades sin fines de lucro sobre los temas de su incumbencia; contribuir a la educación de la población general en los temas de la especialidad; difundir gratuita y desinteresadamente toda información referida a ofertas laborales, becas, oportunidades de cursos de grado y posgrado en las distintas áreas relacionadas con la Fisiología Vegetal; desarrollar y/o afianzar los vínculos científicos con otras asociaciones u organizaciones similares del país y de otros países; desarrollar un ambiente de cordialidad y solidaridad entre sus asociados. Entre las actividades de la SAFV se destaca la organización bienal de la Reunión Argentina de Fisiología Vegetal y cada 6 años del Congreso Latinoamericano de Fisiología Vegetal. Esta sociedad no tiene una publicación periódica.

Otras asociaciones

Merecen mencionarse también la Sociedad Argentina de Micología, la Asociación Micológica Carlos Spegazzini, la Asociación Argentina de Ficología, la Sociedad Argentina de Neurociencias, la Asociación Argentina de Malacología, la Asociacion Ornitológica del Plata, la Asociación Toxicológica Argentina, la Sociedad Argentina de Parasitología, la Sociedad Argentina de Bacteriología, Micología y Parasitología Clínica, la Sociedad Argentina de Protozoología, la Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos, la Sociedad Argentina de Ciencias Naturales, la Sociedad Entomológica Argentina y la Sociedad Zoológica del Plata

En algunos casos estas asociaciones están integradas por especialistas de una sola o unas pocas disciplinas afines, pero en otros cubren un espectro de intereses más amplio y profesionales provenientes de varias áreas. Por ejemplo, la Sociedad Argentina de Micología nuclea no solamente biólogos, sino también profesionales médicos, bioquímicos y veterinarios.

En general estas asociaciones tienen un espectro más modesto de actividades, frecuentemente porque la cantidad de profesionales en su disciplina es comparativamente baja (por ejemplo, Asociación Argentina de Ficología). Finalmente, hay algunas cuya actividad se redujo muy significativamente en los últimos años (por ejemplo, la Sociedad Zoológica del Plata), y otras que desaparecieron después de haber tenido largos períodos de actividad. La Asociación Argentina de Ciencias Naturales comenzó a editar la revista Physis (centrada en Botánica y Zoología) en el año 1912. Si bien con altibajos, la revista siguió publicándose durante casi un siglo, hasta que en 2005 se disolvió la Asociación y la revista dejó de editarse definitivamente.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS Y DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

De acuerdo con los resultados de la encuesta realizada, un tercio de los investigadores participan en tareas de divulgación de la ciencia a través de notas en medios de información, charlas al público general, intervención en paneles, publicación de artículos de divulgación, etc. Según estimaciones publicadas por RICyT (El estado de la Ciencia - Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos/Interamericanos. 2013), el 38% de los investigadores CONICET (todas las áreas) declara tener mucha, y el 28% escasa, actividad de divulgación.

La Argentina cuenta con varias revistas dedicadas a la difusión de la ciencia donde los temas vinculados con la Biología de Sistemas ocupan un lugar importante: *Ciencia e Investigación* (editada por la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias), *Ciencia Hoy* (Asociación Civil Ciencia Hoy), *Museo* (Revista de la Fundación Museo de La Plata Francisco Pascasio Moreno), etc.

LA BIOLOGÍA DE SISTEMAS Y SU VINCULACIÓN CON EL PLAN ARGENTINA INNOVADORA 2020

Si bien muchos de los temas tradicionales de la Biología de Sistemas tienen principalmente interés académico y teórico, más que práctico inmediato, dada la amplitud de disciplinas y enfoques involucrados, también son numerosos los que están directamente ligados con aspectos aplicados, incluyendo varios de los llamados Núcleos Socio-Productivos Estratégicos (NSPE) del plan AI 2020.

A continuación se listan los NSPE de interés y, para cada uno de ellos, las especialidades de Biología de Sistemas vinculadas:

Mejoramiento de cultivos y producción de semillas. Mejoramiento genético. Vinculación directa con Micología, Parasitología y Entomología (sanitaria) a través de estudios de consumidores, parásitos y simbiontes de plantas cultivadas

Procesamiento de alimentos. Vinculación directa e indirecta con Toxicología, Micología.

Producción animal tradicional y no tradicional. Vinculación directa e indirecta con Parasitología, Micología, Entomología (sanitaria), Ictiología.

Producción y procesamiento de productos frutihortícolas. Producción y procesamiento de recursos forestales. Vinculación directa con Micología.

Sistemas de captura, almacenamiento y puesta en disponibilidad de datos ambientales. Vinculación directa con especialidades de la Ecología.

Recursos hídricos (potabilización, tratamiento de líquidos residuales domésticos, urbanos e industriales, reducción del consumo de agua en industrias y en la agricultura). Vinculación directa con Ecología, Limnología, Ficología, Toxicología

Restauración de ambientes degradados. Vinculación directa con Ecología, Limnología.

Reciclado de residuos. Vinculación directa con Ecología, Toxicología.

Adaptación al cambio climático en ambientes urbanos. Vinculación directa con Ecología (urbana).

Valoración económica, medición y evaluación de servicios ecosistémicos. Vinculación directa con Ecología, Limnología.

Alternativas de cultivos energéticos y procesos para la producción de biocombustibles de segunda generación. Vinculación con Botánica, Ecología Vegetal, Ficología, Micología.

Enfermedades infecciosas. Vinculación directa con Micología, Entomología, Ecología (epidemiología).

Fitomedicina. Vinculación directa con Micología, Botánica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tendencias generales de los últimos años

La información recopilada indica que la producción argentina en Biología de Sistemas ha crecido sustancialmente en cantidad en los últimos diez años. Este crecimiento estuvo acompañado por un importante aumento en la cantidad de científicos, de manera que la producción *per cápit*a no ha variado mucho. Por otro lado, en comparación con las últimas décadas del siglo pasado, aumentó muy significativamente la visibilidad internacional de las publicaciones producidas en el país porque se ha generalizado la modalidad de publicar en inglés en revistas internacionales. El desempeño de la Argentina se ha mantenido o mejorado levemente en comparación con el mundo, pero el crecimiento fue muy sensiblemente menor que el de varios países de Europa (España) y de América Latina (Brasil y Chile).

La formación de grado

La información relevada indica que existe una adecuada cantidad de centros de formación de Biólogos de Sistemas en la Argentina, y que su distribución geográfica también es razonable (aunque los niveles de calidad de la enseñanza son muy dispares). Sin embargo, el dato alarmante son los altísimos niveles de deserción, donde solamente se reciben aproximadamente 2 estudiantes de cada 10 que ingresan al primer año. Esto es preocupante por varias razones. En primer lugar, obviamente, por su incidencia negativa sobre las cantidades de profesionales que incorpora el sistema. Sin embargo, tanto o más grave es que ello implica sobrepoblación en los primeros años de estudios, con el consiguiente deterioro en la relación docente-alumno, la merma en la calidad de las clases en general y de los trabajos prácticos en particular, la escasez relativa de instrumental de laboratorio y drogas, etc. Esto es particularmente sensible porque se produce en los primeros años de la carrera, que es cuando los ingresantes, frecuentemente arrastrando una preparación deficiente (sobre todo en ciencias) de sus estudios secundarios, necesitan más apoyo por parte de los docentes para mantener el interés y vencer los escollos involucrados en la adaptación a la nueva modalidad de estudio y a la adquisición de conocimientos. Esto desalienta no solamente a los menos motivados, sino seguramente también

a muchos de los que en otras condiciones hubieran terminado convirtiéndose en excelentes profesionales. Si bien puede argumentarse que estos primeros años con exceso de alumnos constituyen una población más rica en diversidad que favorece la enseñanza del conjunto, o que los meses o años de estudios de los que nunca se gradúan no constituyen un desperdicio, es claro que en lo que a eficacia e inversión de recursos se refiere las fallas son flagrantes. Es obvio que la manera razonable de optimizar los costos de graduar un profesional es maximizando la proporción de estudiantes que completan sus estudios. Las tasas de graduación en la Argentina son inferiores a las de muchos países latinoamericanos, como Panamá, Brasil, México, Chile y Cuba, y por supuesto muchísimo más bajas que las de prácticamente todos los países desarrollados. Curiosamente, a contramano de las necesidades del país en profesionales de las áreas "duras" para apuntalar las actividades productivas y la generación de riqueza, el problema de la deserción universitaria es más grave aún entre estas disciplinas (Ingeniería, Química, Matemática, Biología), que en las humanidades y las ciencias sociales.

Algunas estrategias para paliar este problema se han ensayado, como la implementación de programas de tutelaje para los ingresantes, aunque su resultado es incierto. Las becas de estudio condicionadas por el rendimiento académico, implementadas en muchas universidades, así como una mejor distribución de los recursos y mecanismos más dinámicos de reasignación de los mismos en función de las matrículas a diferentes niveles, también pueden ayudar en este sentido. Sin embargo, en opinión de muchos expertos, el problema de fondo es la modalidad de ingreso al primer año universitario, sin selección por capacidad o conocimientos, como existe en muchos países con indicadores superiores a los nuestros (por ejemplo, el *Exame Nacional do Ensino Medi*o y el *Exame Vestibular* en Brasil, la *Prueba de Selección Universitaria* en Chile, el *Abitur* en Alemania, el *Baccalaureat* en Francia, etc.). Las estadísticas disponibles muestran claramente que la selectividad en el ingreso es un factor decisivo en las tasas de deserción. En los EEUU, por ejemplo, las instituciones de educación terciaria (Bachelor) con exigencias de ingreso laxas tienen tasas de graduación (33%) casi tres veces más bajas que aquellas que aceptan a menos del 25% de los postulantes (86%) (*U.S. Department of Education, National Center for Education Statistics, 2014. The Condition of Education 2014 (NCES 2014-083), Institutional Retention and Graduation Rates for Undergraduate Students*).

Obviamente, el hecho que, a diferencia de muchos otros países, la educación universitaria estatal en la Argentina es casi totalmente gratuita, también debe favorecer la deserción facilitando los cambios de carrera o su abandono definitivo.

Publicaciones nacionales vs. internacionales

A pesar de la clara tendencia creciente en prácticamente todos los campos de las ciencias a publicar en revistas internacionales y en idioma inglés, en Biología de Sistemas la discusión del rol de las revistas científicas locales y regionales sigue siendo un tema recurrente. Las opiniones de los Colaboradores consultados son, en este sentido, muy variables. Si bien este es un tópico caliente para todas las áreas, algunas especialidades de la Biología de Sistemas parecen estar a mitad de camino entre las disciplinas científicas más duras" donde hay mayor consenso en considerar que los trabajos en revistas locales y regionales son de poco valor, y las humanísticas, donde las publicaciones locales no solamente son valoradas positivamente, sino a veces hasta priorizadas.

Es frecuente escuchar el argumento que la ciencia argentina aborda temas de interés e importancia locales y, por ende, sus posibilidades de publicación en revistas internacionales son limitadas. Si bien en algunos casos esto es cierto, el argumento suele utilizarse de manera indiscriminada justificando no solamente la producción científica de interés estrictamente local, sino también aquélla que no tiene aceptación en los medios internacionales por su escaso interés científico, originalidad y calidad. Un problema frecuente de esta producción local no es que esté basada sobre observaciones realizadas en un país periférico, sino que no va más allá de la descripción de un hallazgo puntual, sin indagar en sus implicancias para un campo más amplio del conocimiento. De hecho, con excepción de las investigaciones "ageográficas" (como muchas de las físicas, astronómicas, químicas, bioquímicas, etc.), muchas de aquéllas en especialidades de la Biología de Sistemas están basadas sobre el análisis de casos más o menos restringidos espacialmente, pero su interés trasciende el área de origen porque la novedad es extrapolable a otros lugares o situaciones, y/o porque conceptualmente representan un avance en el conocimiento global de un tema relevante. Por ejemplo, la descripción de una nueva especie de insecto tropical sin más aporte que el detalle de los rasgos que la diferencian de las hasta ahora conocidas es de interés limitado (según algunas estimaciones falta descubrir y describir hasta el 90% de las especies de insectos existentes, cerca de 7 millones). Sin embargo, si el hallazgo de la nueva especie aporta y analiza información valiosa para interpretar la evolución del grupo, o contribuye sustancialmente para echar nueva luz sobre aspectos fisiológicos, reproductivos, ecológicos de los insectos en general, entonces el valor del hallazgo puede trascender las fronteras geográficas del lugar donde se colectó el material correspondiente. Describir cómo cae una manzana del árbol es poco relevante, pero describirlo y demostrar que todos los objetos que caen lo hacen siguiendo las mismas reglas sí lo es.

El idioma de las publicaciones es otro de los temas en debate, aunque la mayoría de los investigadores reconoce que pretender que especialistas asiáticos, rusos, norteamericanos y europeos aprendan el castellano para acceder a los trabajos científicos publicados en este idioma es poco realista. Esta realidad se traduce en un conocimiento y reconocimiento sensiblemente menores de los trabajos publicados en castellano. En las revistas argentinas que publican en varios idiomas la cantidad de citaciones a la producción en inglés es sensiblemente superior a la que está en castellano. Por ejemplo, para los trabajos publicados en la revista argentina *Ecología Austral* en idioma inglés la cantidad de citas (media: 6,2 citaciones por trabajo), es sensiblemente superior a la obtenida por los trabajos en castellano (4,3). Es curioso que, a pesar de su antigüedad, esta discusión de los idiomas en ciencia vuelve a reiterarse en cuanta comisión evaluadora se reúne para analizar la producción científica. En 1897, el español Santiago Ramón y Cajal (Premio Nobel 1906), en su ensayo *Reglas y consejos sobre investigación biológica. Los tónicos de la voluntad*, escribió lo siguiente: "Cuando los españoles asisten a un congreso científico, deploran que nuestra lengua tenga que eclipsarse ante el alemán, francés o inglés. Estos patriotas inoportunos harían bien, antes de formular sus quejas y provocar la sonrisa de los sabios, en meditar estos tres irrebatibles asertos: 1.° Nuestra producción científica es, cualitativa y cuantitativamente, muy inferior a la de las cuatro naciones que gozan del privilegio de usar su lengua en los congresos. 2.º A consecuencia de esto, el castellano es desconocido de la inmensa mayoría de los sabios. Si inspirándonos en un patriotismo quijotesco nos empeñáramos en usarlo en los congresos internacionales, provocaríamos la deserción en masa de nuestros oyentes. 3.° En fin, naciones como Suecia, Holanda, Dinamarca, Hungría, Rusia y Japón, cuya producción científica supera con mucho a la española, jamás tuvieron la inmodestia de imponer en dichos certámenes su lengua respectiva; sus sabios son harto avisados para desconocer que, siendo ya excesiva la tarea de dominar las cuatro lenguas citadas, resultaría tortura insoportable aprender una o dos más." Según SCOPUS, en las áreas *Life Sciences y Physical Sciences* el volumen de la producción en idioma castellano es el 0,3% de aquella en inglés. En las revistas incluidas en bases de datos importantes, los países hispanoparlantes publican sólo una pequeña fracción de sus trabajos en su propio idioma (España: 4%, Argentina: 7%, Chile: 8%; la producción en portugués de autoría brasileña es algo más alta: 16%; según datos de SCOPUS para las áreas *Life Sciences y Physical Sciences*).

Otro argumento en defensa de las revistas científicas locales y regionales es la necesidad de disponer de medios de comunicación de las novedades científicas de interés para el sector productivo que sean fácilmente accesibles y cuyo material esté en el idioma materno del lector potencial. Sin embargo, desde el advenimiento de Internet la disponibilidad ha dejado de ser un escollo

de importancia, y la disposición del sector productivo a consultar bibliografía científica altamente especializada es al menos discutible.

Estas consideraciones no pretenden justificar la descalificación de las revistas argentinas con el único argumento de que sus índices de impacto son bajos. Estas revistas pueden cumplir un rol importante. Probablemente el camino correcto es el que ya comenzaron a transitar algunas especialidades, a saber: (1) restringir la temática de las revistas (el espectro demasiado amplio de temas cubiertos por la revista *Physis* fue uno de los motivos de su desaparición). (2) Cuando hubiere solapamiento temático entre publicaciones reducir su cantidad, fusionando varias revistas afines en una sola (que es la estrategia adoptada por varias revistas botánicas recientemente). (3) Aumentar los niveles de exigencia a través de referatos más estrictos. (4) Incentivar el uso del idioma inglés para dar mayor visibilidad a los artículos. En varias revistas argentinas de Biología de Sistemas se observa una tendencia creciente a publicar en inglés, pero en algunas la proporción de contribuciones en este idioma es aún muy baja (e.g., Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica: 14% para el período 2010-2014). (5) No limitar a los socios el acceso a publicar en la revista.

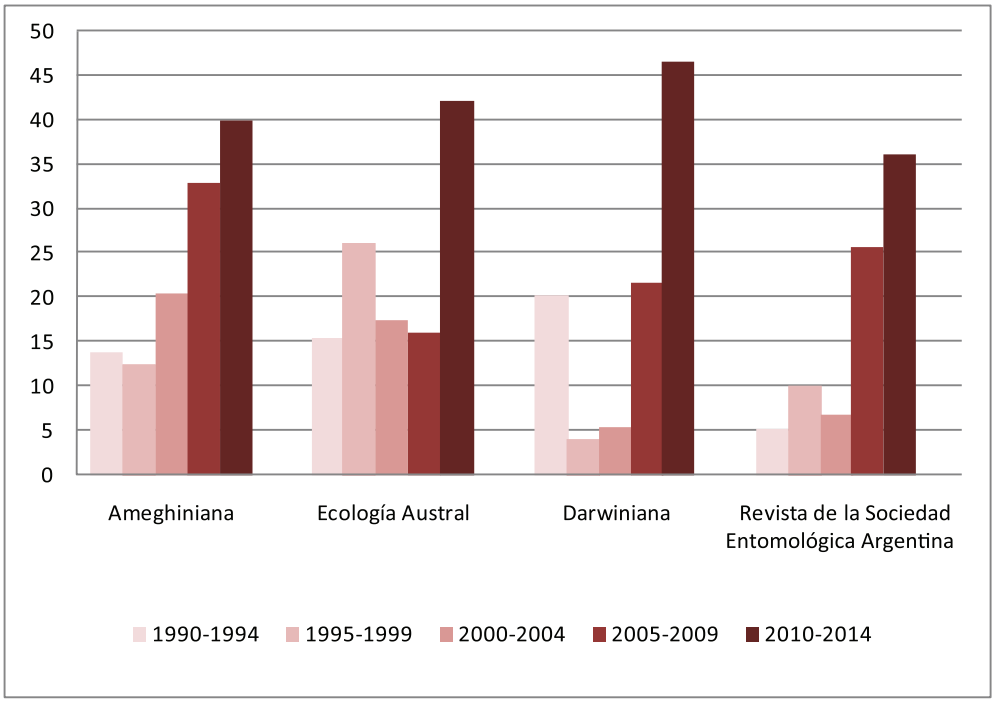


Gráfico 3.20. Cantidad promedio por quinquenio de artículos en inglés en cuatro revistas científicas argentinas de Biología de Sistemas entre 1990 y 2014.

Sistemas de evaluación

Una observación recurrente entre los especialistas en Biología de Sistemas (incluyendo muchos de los Jefes de Grupos de Trabajo consultados y varios Colaboradores) es la crítica a los sistemas de evaluación de los organismos de promoción de la ciencia, incluyendo a las universidades. El problema es que la asignación de recursos, el acceso a los cargos y las promociones están basados en estimaciones bibliométricas utilizando indicadores falibles y de discutible utilidad, y no en el análisis del contenido y valor intrínseco de los trabajos realizados por el evaluado.

Nadie en su sano juicio puede negar que una pormenorizada evaluación de los trabajos publicados e inéditos por parte de un especialista juicioso y experimentado en el tema es preferible a su conteo, a la comparación de factores h, SJR, FI, o cualquier otro método indirecto. La cantidad de evidencias y estudios que demuestran la falibilidad de estos índices bibliométricos es abrumadora y su valor indiscutible. Sin embargo, las estimaciones bibliométricas siguen ocupando un lugar central, a veces (lamentablemente) exclusivo, en las evaluaciones. Las razones de ello no son buenas pero son sencillas.

En primer lugar, para las comisiones, juntas, jurados y demás instancias evaluadoras es casi siempre físicamente imposible pesar adecuadamente los antecedentes mediante la lectura pormenorizada de la producción de cada postulante. Un caso extremo, aunque muy ilustrativo, es el de la Junta de Calificación y Promoción del CONICET. Este cuerpo de alrededor de 20 especialistas debe emitir su opinión acerca de las recomendaciones de promoción de unos 3.000 investigadores por año (de los 6.000 que tiene el sistema). Suponiendo que cada investigador pueda leer la producción de un evaluado por día, para una comisión de 20 personas ello implicaría 150 días de trabajo de 8 horas cada uno (eso siempre y cuando cada postulante sea evaluado por un único miembro de la Junta). El resto del año los miembros de esta Junta deberían dedicarlo a las evaluaciones de ingreso a la Carrera del Investigador (no incluidas en el cómputo). Situaciones parecidas se repiten con mayor o menor gravedad en la mayoría de los ámbitos de evaluación.

El segundo problema es que, debido a la fragmentación creciente del conocimiento, es común que entre los evaluadores no haya ninguno con la experiencia y conocimientos necesarios para opinar con autoridad acerca de los méritos de los antecedentes científicos del postulante. La opinión de consultores externos puede ayudar en la tarea, pero es el criterio del evaluador el que finalmente queda plasmado en el dictamen.

El uso de índices bibliométricos implica, parcialmente, transferir la responsabilidad del examen de antecedentes del evaluador local actuante a los árbitros

de las revistas científicas y a los investigadores que citaron esa producción en sus propios trabajos sobre el tema. Y en rigor de verdad, el proceso de aceptación o rechazo por parte de la revista científica, y luego la cantidad de menciones ulteriores a ese trabajo, son las instancias objetivamente medibles, con más conocimientos específicos sobre el tema, más exigentes, y con mayor autoridad para juzgar acerca de la relevancia de la investigación y de su impacto en la disciplina.

La cantidad de ejemplos que destacan las fallas involucradas en el uso de indicadores bibliométricos es extensa, pero estas críticas generalmente ignoran que se trata de un mecanismo masivo y estadístico. En consecuencia, la demostración que lleva a resultados erróneos también debe basarse sobre estimaciones estadísticas, y no sobre casos aislados. Ello no minimiza la gravedad de los errores que derivan de su uso, pero la pregunta relevante es ¿es menor o mayor la proporción de dictámenes incorrectos cuando se ignoran los indicadores bibliométricos que cuando se usan?

Como cualquier otra herramienta, cuando son mal utilizados (por ejemplo, sin contemplar diferencias entre áreas del conocimiento), y sobre todo cuando son la única variable de peso excluyente, estos índices pueden derivar en resultados lamentables. Si bien de uso prácticamente inevitable, sobre todo cuando se trata de evaluar grandes cantidades de postulantes, tampoco deben ser considerados como un mal necesario, sino como un indicador complementario valioso. La ausencia de estadísticas acerca del reconocimiento internacional del trabajo científico en Biología de Sistemas producido en la Argentina en los años 1970-1980 en comparación con la actualidad no permite estimaciones precisas de esta evolución. Sin embargo, no hay dudas de que la presión del peso de estos índices bibliométricos en las evaluaciones hizo que una buena parte de las investigaciones que en esos años aparecían en revistas locales, generalmente en castellano, con escasa difusión y poca visibilidad internacional, se publiquen hoy en idioma inglés, en revistas internacionales, y tengan un reconocimiento mucho más amplio. Una evidencia de ello lo constituye el hecho que en el período 2000-2010 la cantidad de artículos de autores argentinos en revistas internacionales fue 6,4 veces superior a aquella en 1980-1990, mientras que para autores de países que tradicionalmente publicaron en estas revistas el incremento fue casi 3 veces menor (EEUU: 2.4, Reino Unido: 2.3) (según datos de SCOPUS para el área Life Sciences). Las diferencias en cantidad de citaciones a trabajos provenientes de países más desarrollados en comparación con trabajos de argentinos son aún más contrastantes; para 1998, publicaciones de EEUU y el Reino Unido recibieron 46 y 27 veces más citas que publicaciones con autores argentinos, respectivamente, pero en 2008 esos valores descendieron a 14 (EEUU) y 9 (RU) (datos de SCImago para *Agricultural and Biological Sciences*).

Temas de vacancia

La tarea de definir los temas en los cuales la Biología de Sistemas necesita ser reforzada, ya sea en recursos humanos o en intensidad de investigación, no es sencilla en un medio en el cual prácticamente todas las disciplinas tienen amplias áreas sin cubrir en absoluto. Las respuestas a esta pregunta de los aproximadamente 200 investigadores relevados tampoco han sido de mucha utilidad para identificar estos temas de vacancia. En líneas generales, en las respuestas se observan dos componentes dominantes: se enumeran como temas de vacancia aquellos en los cuales el investigador encuestado trabaja actualmente, o aquellos que se perciben como más novedosos, modernos o populares (que, por ser de desarrollo más reciente, suelen tener menos cobertura en la Argentina que los más tradicionales). Como lo destacara el Colaborador de Botánica, Dr. L. Galetto, "...las áreas de vacancia se relacionan con nuevas metodologías sobre biología molecular que evolucionan rápidamente, o sobre la posibilidad de desarrollar proyectos a largo plazo en ecología..." Las respuestas más frecuentes pueden resumirse en los siguientes tópicos:

Conservación y restauración de ambientes, análisis de los servicios ecosistémicos, manejo sustentable, cambios en el de uso de la tierra.

Impacto de especies introducidas.

Cambio climático.

Toxicología ambiental (pesticidas de la agricultura y otros).

Epidemiología.

Ordenamiento territorial.

Taxonomía molecular, filogenética, genética molecular, genómica, filogeografía, ecología genética, epigenética.

Una falencia destacable, observada por muchos de los colegas consultados, es la notoria escasez de estudios de largo plazo, basados sobre observaciones multianuales o multidecadales, sobre todo en las áreas ecológicas donde claramente su implementación sería muy deseable para el análisis de temas candentes, como la degradación ambiental, el calentamiento global, y otros. La Argentina cuenta con algunos registros ambientales históricos más o menos confiables, pero estas series están restringidas a un puñado de variables básicas (temperatura, precipitaciones, caudal de algunos ríos en algunos puntos) y su calidad es frecuentemente marginal. Esta falencia refleja claramente la ausencia de programas de monitoreo sostenidos en el tiempo, con adecuada calidad y densidad de observaciones, probablemente como resultado de la imprevisibilidad y altibajos que han caracterizado al país en general durante los últimos decenios.

Patentes

Tal como se discutiera más arriba, en relación con su actividad en investigación, la generación de patentes en la Argentina es muy baja. Si bien el CONICET, la ANPCyT y otros organismos han implementado programas para incentivar esta actividad, los resultados por lo visto son, hasta ahora, magros.

Subsidios para la investigación

El volúmen de dinero destinado a subsidios para la investigación ha oscilado notablemente en los últimos años. En el área Biología, desde el año 2000 el CONICET destinó entre $ 0 (2001 a 2004 y 2006 a 2008) y $ 19 millones (en 2005) (promedio para 2000-2012: $ 8.5 mill./año, 80 proyectos/año subsidiados). La financiación de la ANPCyT (Ciencias Biológicas de Organismos y Sistemas) fue más constante, aumentando gradualmente de aproximadamente $ 9.8 milllones en 2004 a $ 28.7 mill. en 2013. Los fondos aportados por otras fuentes (Universidades, etc.) son normalmente mucho más bajos que éstos. Con el tiempo, el poder adquisitivo de estos fondos fue menguando más rápido que el aumento de los montos correspondientes, y desde hace algunos años aún los proyectos de la ANPCyT, que suelen ser los más voluminosos, en la práctica solo alcanzan para mantener las estructuras existentes. Las posibilidades de adquirir equipamiento nuevo de importancia son muy escasas, y aún reparar el existente es problemático. Los costos y crecientes trabas administrativas para la adquisición de insumos, repuestos, equipos y aún material biológico de referencia (por ejemplo, ejemplares preservados de animales o plantas para fines de estudio) complican más aún la situación. La repercusión de estos problemas sobre la producción científica es directa e inmediata. La solución obvia es el aumento de los fondos destinados a investigación y la agilización de su ejecución, en particular los trámites de importación. Es importante, sobre todo, que se incremente la proporción de proyectos financiados por montos importantes que permitan abordar temas más ambiciosos, con métodos menos acotados por los costos. Es poco realista pretender que los argentinos produzcan resultados de interés y calidad comparables a los de los países cuyos proyectos cuentan con sumas muchas veces superiores a las nuestras.

Una medida adicional, más creativa, sería, además, optimizar los mecanismos de selección de los proyectos subsidiados con miras a minimizar la inversión en proyectos estériles. En este sentido resulta fundamental otorgar un peso decisivo a los grupos de trabajo más productivos, que han demostrado en el pasado hacer un mejor uso del dinero recibido. Lamentablemente, las

evaluaciones frecuentemente otorgan una importancia excesiva a la “promesa” de los resultados, sin reparar lo suficiente en el perfil del postulante. Es muy poco probable que un grupo que ha dado claras muestras de óptima productividad en el pasado comience a trabajar mal porque su proyecto presenta falencias. Pero es muy probable que un grupo mediocre siga siéndolo aún al frente a un proyecto excelente.

Anexo Capítulo 3: Biología de Sistemas

Botánica: ecología de plantas, botánica sistemática de plantas vasculares y fisiología vegetal sin énfasis en lo molecular (Leonardo Galetto)

Definición y límites de la disciplina

Se trata de un campo disciplinario bastante amplio, en el que actualmente los investigadores trabajan cruzando disciplinas, lo cual hace muy dificultoso poder circunscribir la disciplina de manera clara y precisa. Por un lado, se han ampliado y profundizado las áreas de especialización y, por otro, se cruzan cada vez más frecuentemente los campos disciplinares, para abordar la complejidad de las preguntas que surgen en el ámbito académico y los problemas ambientales crecientes, que se constituyen en demandas sociales hacia el sector científico-tecnológico.

Subdisciplinas

Las subdisciplinas que se pueden incluir dentro de la ecología de plantas son aquellas que abordan aspectos composicionales, estructurales y funcionales de la biodiversidad, que además se pueden investigar desde el nivel de organización molecular hasta el paisaje (para mencionar solo algunos ejemplos: flujo génico, invasiones biológicas, conservación de la biodiversidad, cambio del uso de la tierra, servicios ecosistémicos, etc.).

En relación con la biosistemática de plantas vasculares, se puede incluir desde taxonomía clásica hasta la sistemática filogenética y filogeografía.

El caso de la fisiología vegetal es quizás el más difícil de circunscribir, ya que en la actualidad casi todos los trabajos de investigación involucran la utilización de herramientas teóricas y metodológicas de la biología molecular. Por ello, se superpone lo que se pudiera comentar aquí con otras áreas disciplinares que también incluyen esta subdisciplina como pueden ser Biología Celular y Molecular o bien Química Biológica.

Mención de temas clásicos y temas de frontera que abarca

En ecología de plantas podrían mencionarse como temas clásicos a la biogeografía, análisis de la biodiversidad, invasiones biológicas, interacciones planta-planta y planta-animal, ecología de comunidades; en la sistemática, la sinopsis de diferentes géneros y familias de plantas, estudios palinológicos y cromosómicos en relación a la clasificación, etnobotánica descriptiva; en

fisiología vegetal, estudios sobre la tolerancia a la salinidad, patógenos o estrés hídrico, envejecimiento, respuestas al fotoperíodo.

En líneas generales, se puede mencionar que para los temas de frontera de estas disciplinas, se han incorporado los experimentos y enfoques multidisciplinarios y transdisciplinarios para profundizar las preguntas. Entre los desafíos generales que deberían promoverse es el entendimiento de las relaciones entre la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema y comunidades a través del desarrollo de experimentos de largo plazo y del análisis de patrones geográficos de variación en las propiedades de los ecosistemas y ecoregiones. Esto es posible si se promueve el desarrollo de redes de colaboración que persigan preguntas en común y utilicen los mismos protocolos de trabajo (metodologías, diseños experimentales, etc.) para potenciar la comparación de los resultados y su interpretación.

En ecología de plantas se puede mencionar como temas de frontera el estudio de las respuestas ante el cambio climático global y ante cambios en el de uso de la tierra, procesos que determinan la estructura y la dinámica de los ecosistemas y de comunidades, flujos de agua y carbono en ecosistemas, ecología de las perturbaciones, control y prevención de las invasiones biológicas, análisis de los servicios ecosistémicos que prestan las plantas nativas, ordenamiento territorial, y ecología química.

En relación con la sistemática y fisiología, el aporte fundamental lo ha realizado la biología molecular profundizando la perspectiva de las distintas preguntas e hipótesis que tienen actualmente estas subdisciplinas. Los temas de frontera en el área de la biosistemática se puede mencionar a la genómica-bioinformatica, filogeografía, ecología genética, epigenética, patrones de distribución de organismos considerando herramientas moleculares en el contexto de problemáticas ambientales, estudios de endemismos, biodiversidad y conservación.

Entre los temas relacionados con la fisiología vegetal, se podría mencionar a programas de mejoramiento genético vegetal, determinación rápida y no destructiva de variables fisiológicas y agronómicas en gran número de individuos, identificación de germoplasma nativo adaptado a ambientes estresantes o extremos (tanto bióticos como abióticos) que permita evaluar características biológicas potencialmente utilizables por la agricultura, identificación de mecanismos involucrados en la resistencia a patógenos y al establecimiento de relaciones simbióticas, mecanismos involucrados en la determinación de destinos para carbohidratos y aminoácidos, identificar genes de resistencia y desarrollar resistencia genética en especies hortícolas.

Aspectos destacados de las aplicaciones vinculadas con la especialidad

Las aplicaciones son cada vez mayores y más variadas. En ecología de plantas se ha comenzado a demostrar que la simplificación de los agroecosistemas tiene consecuencias negativas, tanto para la conservación de la biodiversidad como para la producción de distintos cultivos. Esto hace que sea cada vez más urgente el ordenamiento territorial y la preservación de distintos servicios ecosistémicos para mantener niveles de producción razonables en el tiempo. Además, la aplicación de biocidas de manera indiscriminada y sostenida está mostrando la aparición de nuevas plantas invasoras que se convierten en malezas de cultivos y alteran los ecosistemas.

La sistemática de plantas sigue mostrando las aplicaciones que se derivan de conocer nuestra biodiversidad y de disponer de mejores sistemas de clasificación, siendo un conocimiento de base para muchas otras disciplinas científicas y de desarrollo tecnológico.

La fisiología vegetal muestra avances en el conocimiento, que han permitido diversos desarrollos tecnológicos en plantas, cuando se puede combinar el desarrollo de organismos genéticamente modificados con la detección de germoplasmas tolerantes a condiciones de estrés (por ejemplo, biotecnología en relación a la tolerancia al estrés hídrico, salinidad, etc.).

Grupos de trabajo

Se mencionan los grupos de trabajo más importantes que se nuclean en Institutos de CONICET o bien Departamentos de algunas Universidades grandes. Se indican, cuando estuvieron disponibles, los datos obtenidos de la web de los respectivos lugares, sobre el número de investigadores, becarios y personal de apoyo. Se presentan los números ubicando los institutos de acuerdo con el mayor número de investigadores y becarios dedicados a las distintas subáreas tratadas aquí, pero aclarando que también nuclean investigadores de otras subáreas. Por ejemplo en la UBA, en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, se encuentran investigadores de las subáreas aquí tratadas principalmente en tres departamentos: Fisiología, Biología Molecular y Celular; Ecología, Genética y Evolución; Biodiversidad y Biología Experimental. Se agrupan más de 150 docentes-investigadores y becarios, aunque no todos dedicados a las tres subdisciplinas aquí tratadas.

En el área Ecología de plantas se destacan Institutos de CONICET como IFEVA (Buenos Aires, tanto para ecología de plantas como ecofisiología vegetal: 45 investigadores, 51 becarios, 13 para personal apoyo), IMBIV (Córdoba, ecología de plantas, sistemática vegetal y fisiología vegetal: 70 investigadores y 70 becarios, 20 personal de apoyo), IANIGLA (Mendoza, Unidad Dendrocronología, 8 investigadores, 10 becarios, 8 técnicos), INIBIOMA (Río Negro, Ecotono, 42 investigadores, 29 becarios), IADIZA (Mendoza,

ecología de plantas y ecofisiología vegetal, 42 investigadores, 27 becarios, 29 personal de apoyo), LILLO (Tucumán, Area Botánica, subáreas Ecología Vegetal y Morfología Vegetal; sin datos sobre personal en la página web), IBS (Nodo Misiones, sin datos sobre personal en la web).

En el área de Sistemática de plantas vasculares, en los Institutos de CONICET como IBODA (Buenos Aires, 19 investigadores, 13 becarios, 20 personal de apoyo), IMBIV (Córdoba, datos presentados arriba), IBONE (Corrientes, 44 investigadores, 39 becarios, 26 personal de apoyo) y la Universidad Nacional de La Plata, se concentra la mayoría de los investigadores y becarios que trabajan en botánica sistemática de plantas vasculares en institutos como LABSE, LEAVES y LEBA (sin datos en las páginas web respectivas).

En el área de Fisiología vegetal, en los Institutos de CONICET como IFEVA (Buenos Aires, datos presentados arriba), INFIVE (La Plata, 17 investigadores, 23 becarios, 9 personal apoyo), CEFYBO (Buenos Aires, 30 investigadores, 23 personal apoyo, 26 becarios), IFRGV (Córdoba 24 investigadores, 6 becarios), IIB (Mar del Plata, áreas de fisiología vegetal: 27 investigadores, 17 becarios, 7 personal de apoyo), CERZOS (Bahía Blanca, 37 investigadores, 42 becarios y 23 personal de apoyo), IADIZA (Mendoza, datos presentados arriba).

A partir de un análisis general de algunos institutos que tienen fácilmente disponible la información, o bien porque se conocía a los grupos de investigación, se puede concluir que el total de investigadores con línea de investigación propia es aproximadamente el 40% del número total que revista en los distintos institutos.

Recursos humanos

Si bien se pueden contabilizar unos 50 mil investigadores activos para Argentina, considerando todas las áreas del conocimiento, muchos de ellos realizan actividades en universidades nacionales públicas y privadas sin cargos de dedicación exclusiva o bien en otros organismos como el INTA, que se abocan primordialmente a tareas de extensión, dedicando solo un tiempo parcial a la investigación. Se toma como criterio para definir un investigador activo y formado, a aquel que dedica al menos 20 horas semanales a la investigación y que produce, como mínimo, una media de un trabajo publicado por año. Aplicando este criterio, quedarían unos 10 mil investigadores formados y activos para todas las áreas del conocimiento, en su mayor parte vinculados a CONICET.

Para estimar el número de investigadores formados activos relacionados específicamente a esta subárea disciplinar, se puede tener en cuenta que los investigadores pueden estar formando parte de las grandes áreas de Ciencias Agrarias, de la Ingeniería y de Materiales y de Ciencias Biólogicas y de la Salud que involucran en la actualidad unos 4 mil investigadores. Dentro de ellas

hay distintas áreas disciplinares que no se relacionan con las áreas tratadas aquí (por ejemplo, médicas, ingenierías), con lo cual quedaría aproximadamente la mitad que podrían relacionarse directamente con las ciencias agrarias y las biológicas. De ellos, se pueden estimar unos 1.000 como investigadores activos dentro del campo de Biología de Sistemas.

Al analizar los porcentajes del plantel de investigadores de CONICET, diferenciados por categorías, de estas dos áreas (Agrarias y Biológicas) al año 2013, se observa que en ambas se encuentra una relación de más del 60% para las categorías Asistente y Adjunto (que podríamos considerar junior) y un poco más del 30% para las demás categorías (investigadores senior).

Si se tienen en cuenta los problemas ambientales actuales, el avance de la frontera agrícola, la necesidad de profundizar el conocimiento sobre la diversidad de plantas vasculares de nuestro país tanto en sus aspectos biosistemáticos, como ecológicos y fisiológicos, se considera que el número de investigadores es insuficiente para cubrir todas las preguntas y posibles desarrollos tecnológicos que seguramente se derivarán de tener oportunidad de profundizar el conocimiento sobre recursos naturales estratégicos para nuestro país.

Formación de recursos humanos

Como se menciona en el resumen general para toda el área, las cuatro mayores universidades del país (Buenos Aires, La Plata, Córdoba y Río Cuarto) producen más de un tercio del total de especialistas de grado y postgrado.

Si se analiza lo actuado en el último año con las categorizaciones de las Carreras de Biología por CONEAU en nuestro país, en el grado se visualiza que resulta extremadamente complicado retener a los alumnos en el primer año de la carrera debido a dificultades con matemática y química. Las acciones desarrolladas no alcanzan para mejorar los porcentajes de retención debido a falencias profundas que se arrastran desde el secundario. Por un lado se cuenta, en general, con excelente nivel académico en los profesores de las universidades públicas, pero las actividades prácticas en las distintas carreras de grado son limitadas por los altos costos del equipamiento y de los insumos de laboratorio. Estas falencias habitualmente se suplen cuando los egresados se incorporan a grupos de investigación que poseen mayor equipamiento y financiación. Es decir, hay mucho por mejorar en el dictado de las carreras de biología y agronomía y otras derivadas de estas, en nuestro país.

Inserción laboral

En mi opinión, en el postgrado la situación es inversa a lo que se observa en el grado de Biología. Entre los alumnos de doctorado de biología hay muy poca deserción y alcanzan una alta inserción laboral luego de completado el

mismo, lo cual muestra que los recursos humanos altamente capacitados son necesarios para nuestro país. Las políticas de descentralización que se están desarrollando, intentando radicar investigadores en áreas geográficas históricamente despobladas de recursos humanos altamente calificados, seguramente demandarán más recursos humanos en los próximos años.

En relación con estas subáreas (ecología, sistemática y fisiología vegetal), considero que la mayor parte de los egresados se inserta en el sector científico estatal, ya que los cargos en las universidades están saturados y es dificultoso lograr insertarse. Sin embargo, cuando quedan vacantes en los cargos universitarios los doctores que están en CONICET o en INTA, habitualmente se presentan a los concursos y acceden a la docencia universitaria también.

Áreas de vacancia en la formación de recursos humanos

En mi opinión, la formación de recursos humanos es de altísimo nivel en Argentina dentro de estas áreas de especialidad. Existe heterogeneidad entre áreas geográficas y en el desarrollo de distintos grupos de investigación y siempre se puede mejorar. Sin embargo se cuenta con numerosos programas tanto para incentivar la movilidad dentro de Argentina como de intercambio con distintos centros internacionales. Por otro lado, las herramientas informáticas facilitan cada vez más el contacto y el acceso a la investigación de frontera. Los distintos programas que se realizan desde el MINCyT para facilitar la estadía de investigadores jóvenes en el exterior, el intercambio de investigadores en programas bilaterales o las colaboraciones internacionales que se vienen desarrollando desde hace años por distintos grupos de investigación, facilitan las posibilidades de seguir formando investigadores para cubrir las distintas áreas del conocimiento en estas disciplinas.

En líneas generales, las áreas de vacancia se relacionan con nuevas metodologías sobre biología molecular que evolucionan rápidamente, con la posibilidad de desarrollar proyectos a largo plazo en ecología que involucre equipos multidisciplinarios, o de transferir el conocimiento eco-fisiológico sobre la conservación y ordenamiento del territorio.

Del análisis de las encuestas se desprende que en el área de ecología de plantas se puede mencionar como áreas de vacancia, o con necesidad de incorporar un mayor número de investigadores, al cambio climático global, flujos de agua y carbono en ecosistemas, ecología del suelo, cambios en el de uso de la tierra, procesos que determinan la dinámica de comunidades y ecosistemas, ecología de las perturbaciones, control y prevención de las invasiones biológicas, análisis de los servicios ecosistémicos que prestan las plantas nativas, y ordenamiento territorial.

En relación con la biosistemática, pueden mencionarse la genómica-bioinformatica, filogeografía, ecología genética, epigenética, patrones de

distribución de organismos considerando herramientas moleculares.

Entre los temas de vacancia relacionados con la fisiología vegetal, se puede mencionar programas de mejoramiento genético vegetal, identificación de germoplasma nativo adaptado a ambientes estresantes o extremos (tanto bióticos como abióticos), identificación de mecanismos de resistencia a patógenos o al establecimiento de relaciones simbióticas, y resistencia genética en especies hortícolas.

Publicaciones científicas argentinas en la disciplina

Botánica sistemática:

Darwiniana, Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, Bonplandia, Lilloa, Quebracho.

Ecología de plantas:

Ecología Austral.

Fisiología Vegetal:

Si bien no hay una revista específica, las revistas de Agronomía: como la *Revista de Investigaciones Agropecuarias* (RIA), *Agriscientia* (Córdoba), *Revista de la Facultad de Agronomía* (La Plata), *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo o Phyton* (Buenos Aires) publican algunos artículos de fisiología vegetal.

Producción científica

En función de su población y recursos, el volumen de la producción científica argentina en la disciplina es superior a lo que podría esperarse. Esta estimación surge de indicadores objetivos como son los análisis recientemente publicados para los países latinoamericanos (Nature de 2014), Ciencia Hoy (creo que fue un número de 2012) o bien los indicadores resumidos para el área en general. Pero, además, pienso que en función a las actuales condiciones de financiamiento y equipamiento es aún más meritorio el desempeño de los investigadores en estas áreas. Si bien las condiciones generales han mejorado con respecto a una década atrás, como el punto de partida fue tan bajo, considero que aun resta mucho por hacer para seguir mejorando la producción científica y la formación de recursos humanos a partir de un mayor apoyo de financiamiento.

Las principales revistas donde se publican las investigaciones de autores argentinos en la disciplina son:

Para Ecología: Revistas locales o regionales: *Ecologia Austral* [SCImago Journal Rank, SJR: 0.29], *Revista Chilena de Historia Natural* (Chile); revistas internacionales: *Journal of Arid Environments* [SJR: 0.824] *Journal of Vegetation Science* [SJR: 1.486] *Austral Ecology* [SJR: 0.854] F*orest Ecology and Management* [SJR: 1.529] Oecologia [SJR: 1.601] *Plant Ecology* [SJR: 0.832] *Applied Vegetation*

Science [SJR: 5.473] *Ecology* [SJR: 3.246] *Biodiversity and Conservation* [SJR: 1.004].

Para Botánica sistemática: Revistas locales (año 2013): *Darwiniana* (0.163), *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* (SJR: 0.198), *Phyton* (0.169) *Boletín de la SAB* (0.191). Revistas internacionales: *American Journal of Botany, Systematic Botany, Australian Journal of Botany, Taxon.*

El idioma más usual en las publicaciones de autores argentinos en la disciplina es inglés para revistas internacionales y castellano para revistas locales o regionales.

Conclusiones y recomendaciones

Las recomendaciones generales que en mi opinión fortalecerían estas subáreas en la Argentina son las siguientes:

Repensar el sistema de evaluación de los científicos. Este punto lo considero central, por varias razones que desarrollaré a continuación.

En primer lugar, debería premiarse la calidad de las publicaciones y no tanto a la cantidad (es decir, la productividad). La calidad es difícil de "medir" y no creo que los indicadores ampliamente utilizados ayuden demasiado (factor de impacto ISI, SJR u otros por el estilo). Estimo que la calidad debería comenzar a medirse por la profundidad e interdisciplinaridad de las preguntas, por las escalas espaciales y temporales que se consideren (los estudios a largo plazo y grandes escalas geográficas son imprescindibles aunque muy raros en la actualidad), por la diversidad y simultaneidad de los procesos ecológicos o fisiológicos involucrados, por la amplitud del grupo taxonómico considerado, etc., mostrando estos ejemplos como para visualizar que los criterios dependerán del área de especialidad. Es decir, me parece mejor poco y bueno que mucho y regular (o partido en varias publicaciones para poder alcanzar la regularidad que se exige).

En segundo lugar, es preciso fortalecer el desarrollo de conocimiento local a partir de resolver problemas locales. El actual sistema premia excesivamente, en mi opinión, las publicaciones internacionales, que tienen una agenda cuyos temas no son necesariamente de prioridad para Argentina. De esta manera, se desarrolla conocimiento para "otros" y no para el país que lo financia. Esta idea no es original ni nueva, ya la enunciaba Rolando García hace décadas atrás, quien entendía que la universidades y centros de investigación debían estar al servicio de las necesidades populares y que, por lo mismo, la enseñanza y el aprendizaje debían apuntar al rigor y la excelencia. En este punto, considero que el mejor camino para desarrollar lo anterior no sería la vinculación tecnológica, lo que tan vehementemente ha comenzado a priorizar tanto el MINCyT como CONICET. Es decir, los centros de excelencia en investigación no deberían estar estrechamente vinculados a grupos de

poder económico ya que son los que determinan el paradigma dominante, debilitando el propósito del desarrollo del conocimiento y el desarrollo de políticas públicas de interés común. Muy por el contrario, considero que hay que seguir fortaleciendo los valores de la universidad estatal y el desarrollo del conocimiento por instituciones públicas como el CONICET ya que son bienes públicos, garantes de posibilitar la movilidad social y de la construcción de marcos epistemológicos nacionales y regionales.

El tercer punto corresponde a la necesidad de premiar el trabajo en colaboración y no castigarlo como cuando se da tanta preeminencia a las primeras autorías. Este pequeño cambio ayudaría a disminuir el individualismo y los conflictos dentro de los grupos de investigación.

En cuarto lugar, para mejorar el sistema de evaluación de los científicos se deberían incluir opiniones de otros actores sociales para mejorar criterios y prioridades de investigación ya que el actual sistema tiene un grado de autismo importante al ser los propios científicos los que analizan y definen casi todo el proceso.

Finalmente, sería deseable que la evaluación privilegiara el vínculo de la producción de conocimiento original (por ejemplo, publicaciones científicas) con la producción de material de formación de estudiantes (incluyendo: nivel primario, secundario y universitario y sobre comunicación pública de la ciencia) y con la formación de recursos humanos. Si bien son aspectos que se consideran, solo se valoran LUEGO de la producción de trabajos científicos publicados (en su mayoría en inglés) y no JUNTO a esa producción científica.

Por otra parte, resultaría más ventajoso apoyar con financiamiento y la formación de recursos humanos a partir de la producción científica y no a través de los actuales concursos regulares que se organizan por separado. Es decir, podría evaluarse el desempeño de los investigadores cada 3 años (e ir aumentando los plazos a medida que cada grupo se vuelve "confiable") y si la producción científica es aceptable (índice de confiabilidad), se aprueban los informes anuales y en ese mismo acto se le renueva el financiamiento de manera centralizada (Universidades, Ministerio de CyT y CONICET) y se asignan los becarios que requiera el proyecto. Con esto se disminuiría la burocracia, el trabajo de pares evaluadores y se apostaría a un mediano plazo confiando en que todo desarrollo científico- tecnológico necesita ser conceptualizado de manera integrada, en el mediano-largo plazo y en la disponibilidad de tiempo para pensar (ya que buena parte del tiempo se la lleva la burocracia innecesaria a que nos somete(mos) el sistema).

Las necesidades de infraestructura e insumos son muy dispares entre las distintas subáreas de investigación. Todo lo que se relacione con biología molecular (dentro de preguntas ecológicas, sistemáticas o fisiológicas) es muy costoso y buena parte de los insumos y equipamiento son importados, con lo

cual las dificultades son mucho más grandes. Otras áreas requieren de mejores condiciones para la experimentación (invernaderos, fitotrones, cámaras de cultivo, etc.) y que demandan ser ampliados y mejorados. La ecología de campo requiere de mucho dinero para viáticos y mantenimiento de vehículos (que incluso a veces no se disponen) que no es posible cubrir con los montos de los subsidios actuales. En resumen, las distintas subáreas pueden mejorar muchísimo a partir de mejor financiamiento y más confianza en su utilización (a veces la burocracia se hace tan engorrosa que se terminan desestimando ciertas fuentes de financiamiento).

Por otro lado, en relación con el equipamiento demasiado costoso, considero que se debe priorizar el uso común. Para ello, sería necesario centralizar el análisis de las necesidades de los distintos grupos de investigación. No es posible duplicar ni triplicar grandes equipos en Argentina, ya que terminan siendo subutilizados y mal mantenidos. Es muy dificultoso capacitar personal técnico para su operación, optimizar las posibilidades que brinda el equipamiento de alta complejidad y también permite evitar su temprano deterioro.

Ecología Terrestre Animal (Javier López de Casenave)

Definición y límites de la disciplina

Del mismo modo que ha sido problemático precisar los límites del área Biología de Sistemas, la definición y límites de la disciplina Ecología terrestre (animal) resulta una tarea complicada, fundamentalmente porque sus practicantes seguramente no se sentirían identificados con una definición estrecha. La Ecología puede ser descripta de diferentes modos, aunque la mayor parte de los ecólogos consideran que es una disciplina científica que está orientada a comprender cómo es la interacción de los seres vivos con su entorno y entre ellos mismos. Esta definición deja en claro por qué la categoría Ecología Terrestre Animal es básicamente inapropiada: porque la restringe a un único tipo de hábitat (terrestre) y a un único tipo de organismo (animales). De este modo, muchos investigadores en ecología que, como yo, trabajan en la interacción entre animales y plantas (por ejemplo, herbivoría, dispersión, polinización) resultan difíciles de categorizar, al igual que aquellos que trabajan con animales que utilizan otros ambientes además del terrestre (por ejemplo, aves marinas, invertebrados intermareales). La selección de los profesionales ha sido, en consecuencia, difícil. En algunos casos fue claro que se trataba de investigadores que están mayormente estudiando la ecología de organismos animales en ambientes terrestres (y, por lo tanto, su inclusión no generaba

ninguna dificultad), pero en la mayor parte de los casos hubo que hacer lo que podría ser denominado un "recorte de incumbencias", identificando a grupos de investigación activos en ecología cuyos responsables (o cuyas principales líneas de investigación) estuviera más asociadas (o fuera más "intuitivamente" adscriptas) a animales y ambientes terrestres. La selección resultante, en consecuencia, debe ser tomada con cautela: seguramente han quedado fuera ecólogos que, dentro de sus líneas de investigación, incluyen al menos algunos aspectos de ecología de animales y de áreas terrestres. Es probable que estos grupos de investigación hayan sido incorporados en otras especialidades (por ejemplo, botánica taxonomía/ecología/fisiología de plantas superiores).

Subdisciplinas

La Ecología terrestre (animal) posee las mismas subdisciplinas que pueden reconocerse en la Ecología (en general). Algunos autores sostienen que la Ecología del Comportamiento está orientada solo a organismos animales y, por lo tanto, podría ser una excepción. Un listado que no pretende ser exhaustivo (por lo impreciso de los límites de la especialidad y por su dinámica característica) podría incluir las siguientes:

- Ecología de Poblaciones Animales
- Ecología de Comunidades Animales
- Ecofisiología Animal
- Interacciones planta-animal
- Ecología del Comportamiento
- Macroecología
- Ecología Evolutiva
- Eco-epidemiología

Mención de temas clásicos y temas de frontera que abarca

Es difícil seleccionar temas (ya clásicos, ya novedosos) en una especialidad tan amplia como la Ecología. A riesgo de ser extremadamente superficial, entre los temas clásicos podrían mencionarse los siguientes:

- Análisis de la distribución y abundancia de los organismos
- Atributos de historia de vida
- Diversidad
- Tramas tróficas
- Estructura, dinámica y regulación poblacional
- Estructura y organización de las comunidades
- Competencia
- Relación predador-presa
- Mutualismo, Parasitismo

Entre los temas de frontera, podrían incluirse los siguientes:
- Dinámica metapoblacional
- Invasiones biológicas
- Consecuencias biológicas del Cambio Global
- Ecología Económica
- Redes de interacciones
- Ecología "metabólica" (*Metabolic theory of Ecology*) y "neutral" (*Neutral theory of biodiversity*)

Aspectos destacados de las aplicaciones vinculadas con la especialidad

Son muchas las aplicaciones de los estudios ecológicos. En lo que hace a la Ecología terrestre (animal), se pueden mencionar, entre otras, las siguientes:
- Conservación de la biodiversidad
- Invasiones biológicas
- Contaminación
- Toxicología
- Control y manejo de plagas
- Utilización y manejo de recursos naturales

Grupos de trabajo

De la encuesta realizada surgen 62 jefes de grupo, cada uno de ellos al frente de un grupo de investigación.

Recursos humanos

Esta estimación es difícil de llevar a cabo. Se pueden utilizar los resultados de las encuestas realizadas a los jefes de grupo, en donde hay información de investigadores formados y de investigadores en formación. Haciendo una búsqueda rápida en el sistema de CONICET, alrededor de 550 investigadores declaran trabajar en "Ecología" (una evaluación rápida de los nombres indica que la mayor parte de ellos son realmente ecólogos). A ellos habría que sumar los becarios y doctorandos, así como un número incierto de docentes-investigadores de universidades u organismos públicos (que no están en CONICET). Dentro de ese total, sin embargo, habría que identificar a los "ecólogos terrestres animales", que son el foco de la especialidad como fue aquí definida. No es posible determinar con precisión si esos números resultan insuficientes, adecuados o excesivos para las necesidades actuales del país. Tiendo a pensar que esos números están balanceados con la oferta académica en el caso de los investigadores que están en el sistema de ciencia y tecnología, pero que las potenciales aplicaciones en las que podrían actuar los ecólogos, que son numerosas e importantes para el país (ver arriba: "aplicaciones

vinculadas con la especialidad"), se verían beneficiadas con un número mayor de especialistas.

Identificación de áreas de vacancia en la formación de recursos humanos

En líneas generales, mi opinión es que la estructura actual es apropiada. Sin embargo, dicha estructura no es homogénea a nivel nacional, existiendo algunas zonas del país en donde la especialidad está subrepresentada y, por lo tanto, los estudiantes reciben una visión muy general y algo superficial de la disciplina.

Publicaciones científicas argentinas en la disciplina

La revista científica nacional más relevante asociada a la especialidad es *Ecología Austral*, la publicación de la Asociación Argentina de Ecología (AsAE). La revista se financia exclusivamente con el aporte de las cuotas societarias. Es parte del Núcleo Básico de Revistas Científicas desarrollado por el CAICyT (CONICET), está disponible en SciELO y está incluida en Scopus y SCImago. Está a la cabeza del tercer cuartil entre las revistas de Ecología en SCImago y es la cuarta en importancia de las 10 que ese ranking registra en América Latina. De acceso totalmente abierto (ni autores ni lectores deben pagar para publicar o acceder a la revista), *Ecología Austral* tiene una amplia aceptación entre la comunidad de ecólogos de Argentina, pero, además, es valorada regionalmente, ya que un tercio de los trabajos recibidos corresponde a autores extranjeros, especialmente de América Latina.

Producción científica

En función de su población y recursos, el volumen de la producción científica argentina en la disciplina es adecuada. Las principales revistas donde se publican las investigaciones de autores argentinos en la disciplina son tanto locales/regionales como internacionales. El idioma más usual en las publicaciones de autores argentinos en la disciplina es inglés.

Fisiología Animal (Gustavo Somoza)

Mención de temas clásicos y temas de frontera que abarca

Lo importante para el área fisiología es contar con plataformas de nueva generación para trabajar por ejemplo en RNAseq y genómica funcional. Eso es una necesidad importante ya que nos permitirá realizar el salto tecnológico necesario. Eso además permitirá generar herramientas tecnológicas de última generación para estar en contacto con el sector productivo.

Micología (Silvia Edith López)

Definición y límites de la disciplina

La Micología contempla el estudio de los hongos en un sentido amplio, ya que el concepto actual del Reino Fungi (Eumycota) ha excluido otros grupos afines o muy afines como los Stramenopila y los Myxomycota, pero que aún siguen siendo considerados en la disciplina.

Subdisciplinas

Morfología, Sistemática, Taxonomía, Filogenia, Fisiología, Citología, Genética, Ecología, Evolución.

Mención de temas clásicos y temas de frontera que abarca

Como temas clásicos podemos citar: Micobiotas en ambientes/sustratos específicos tales como distintos tipos de suelos, alimentos, acuáticos, regionales, etc. Sistemática y filogenia de familias y géneros. Citología y ultraestructura. Estudio de sistemas enzimáticos y metabolitos fúngicos.

Temas de Frontera: Micología Médica y Veterinaria, Patología Vegetal, Biodeterioro de materiales. Toxicología. Contaminación. Aerobiología. Biorremediación. Ecología. Asociaciones con otros organismos: endófitos y micorrizas.

Aspectos destacados de las aplicaciones vinculadas con la especialidad: asociaciones hongo-planta hongo-animal

En este ámbito, se han detectado sistemas que aportan al manejo de enfermedades de las plantas y al mejoramiento de su producción, con una evidente influencia en la agricultura. El conocimiento y la aplicación de sus sistemas enzimáticos son promisorios en problemas de biorremediación. El uso de metabolitos de origen fúngico es de suma importancia en la industria farmacéutica, cosmética, alimenticia, por lo cual la investigación en esta línea aumenta la expectativa de aplicaciones biotecnológicas. El cultivo de hongos comestibles genera una doble aplicación, por un lado por su capacidad de reciclar subproductos de diversas actividades y por otro como productores de biomasa alimenticia.

Grupos de trabajo

CIEFAP: Esquel, Chubut. Investigadores formados: 4. Investigadores en formación: 3. Becarios: 5. Personal de apoyo: 0.

DBBE–UBA IBBEA: CABA. Investigadores formados: 2. Investigadores en formación: 2. Becarios: 3. Personal de apoyo: 0.

IIB-INTECH: Chascomús, Bs. As. Investigadores formados: 1. Investigadores en formación: 1. Becarios: 3. Personal de apoyo: 2.

IMBIV: Córdoba. Investigadores formados: 6. Investigadores en formación: 2. Becarios: 6. Personal de apoyo: 0.

Departamento de Microbiología UNRC: Río Cuarto, Córdoba. Investigadores formados: 2. Investigadores en formación: 3. Becarios: 3. Personal de apoyo: 0.

IMIZA - INTA: Hurlingham, Bs. As. Investigadores formados: 2. Investigadores en formación: 3. Becarios: 1. Personal de apoyo: 2.

UNS: Bahía Blanca, Bs As. Investigadores formados: 2. Investigadores en formación: 0. Becarios: 3. Personal de apoyo: 0.

DBBE-FCEN-UBA: CABA. Investigadores formados: 6. Investigadores en formación: 3. Becarios: 11. Personal de apoyo: 4.

PROPLAME- PRHIDEB: CABA. Investigadores formados: 3. Investigadores en formación: 2. Becarios: 4. Personal de apoyo: 1.

Recursos humanos

Se estima que hay alrededor de 50 investigadores senior y unos 60 junior trabajando en la especialidad Micología. En el conjunto de grupos se están formando unos 50 becarios de grado y posgrado, los cuales no pueden adicionarse a la evaluación total porque no hay certeza de que serán incluidos en el sistema al finalizar sus becas. Solamente si así fuera, podríamos considerar que se cuenta con un número adecuado de recursos humanos.

Inserción laboral

No se dispone de cifras confiables, pero estimo que más del 90% de los profesionales son absorbidos por la universidades y otras entidades estatales.

Identificación de áreas de vacancia en la formación de recursos humanos

¿La estructura actual en materia de formación de recursos humanos es apropiada para cubrir las áreas del conocimiento de esta disciplina? No en todos los casos. Para cubrir áreas de vacancia, es necesario disponer de más becas posdoctorales que sustenten estadías en el exterior, en centros que desarrollen esas áreas. En muchos casos se priorizan temas estratégicos y se descuida la formación en temas básicos como Morfología,Taxonomía, Genética, Ecología.

Publicaciones científicas argentinas en la disciplina

Revista Argentina de Micología, Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, Kurtziana, Darwiniana, Darwiniana, nueva serie, *Lilloa*. Las publicaciones argentinas mencionadas, poseen un nivel muy bueno,

comparable a otras importantes internacionales, siguen un riguroso régimen de referatos con evaluadores nacionales y extranjeros. Es una falacia pedir una evaluación de su significación y grado de aceptación en el país, cuando el Sistema Científico Nacional las subestima (y al mismo tiempo las financia) y desvaloriza los antecedentes de los investigadores que las utilizan como medio de comunicación de sus trabajos. Tampoco es posible emitir un juicio justo sobre la aceptación internacional, ya que, como revistas nacionales, utilizan el idioma español, que no es considerado por la mayoría de los investigadores extranjeros.

Recursos humanos argentinos en el exterior

Se estima que unos 20 investigadores micólogos trabajan en el exterior y que un 10% tiene relación con investigadores del país.

Producción científica

En función de su población y recursos, el volumen de la producción científica argentina en la disciplina es superior a lo que podría esperarse. Las principales revistas donde se publican las investigaciones de autores argentinos en la disciplina son internacionales. Esta situación se ve estimulada por la carencia de publicaciones nacionales en Micología y a las exigencias del sistema científico. Como consecuencia el idioma más usual en las publicaciones de autores argentinos en la disciplina es inglés.

Conclusiones y recomendaciones

La disciplina en la Argentina se vería fortalecida con mayores posibilidades de financiación a través del ofrecimiento de subsidios para investigaciones básicas. También es necesario aumentar el número de Becas de doctorado para la generación de recursos humanos y posdoctorales para el perfeccionamiento de los investigadores jóvenes. El presupuesto también influiría en la adquisición de equipamiento, pero en este aspecto también son obstáculos, las dificultades tanto para la compra de materiales importados como para la entrada de esos productos y las complicaciones de los trámites aduaneros. La Micología está desarrollada con un excelente nivel en la Argentina a partir de los trabajos fundacionales de Carlos Spegazzini. Sin embargo, debido a la comprensible presión del sistema hacia temas con nivel molecular y biotecnológico se está descuidando el apoyo a los estudios de biodiversidad. En el país hay muchas regiones no exploradas desde el punto de vista micológico con el consecuente desconocimiento de sus organismos y relaciones biológicas y sus posibles aplicaciones. También sería importante la existencia de financiamientos especiales para el desarrollo de una publicación nacional de Micología.

Parasitología (Teodoro Stadler)

Definición y límites de la disciplina

Organismos microorganismos, protozoos, helmintos y artrópodos parásitos de invertebrados y vertebrados exclusivamente insectos ectoparásitos.

Subdisciplinas

-Bacteriología Protozoología Epidemiología
-Helmintología
-Acarología

Mención de temas clásicos y temas de frontera que abarca

-Taxonomía clásica
-Taxonomía bioquímica-molecular

Aspectos destacados de las aplicaciones de la especialidad

Biodiversidad, Zoonosis, Salud pública, Sanidad animal

Grupos de trabajo

Instituto de Investigaciones Biotecnológicas-INTECH-UNSAM-CONICET. Investigadores formados:3.

Laboratorio de Zoonosis Parasitarias. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-UN de Mar del Plata. Investigadores formados:7.

Universidad Católica de Córdoba.

Cátedra de Parasitología Clínica, Universidad Nacional del Sur. Investigadores formados: 5.

Departamento de Parasitología. Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas, ANLIS "Dr. Carlos G. Malbrán". Investigadores formados: 4.

Recursos humanos

En el país trabajan alrededor de 50 (cincuenta) investigadores en temas relacionados con la parasitología, desde la protozoología hasta la helmintología (insectos parásitos exlusive). En un país con la extensión, diversidad climática y biológica con que cuenta la Argentina, es necesario incrementar el número de investigadores en esta disciplina, con la finalidad de desarrollar estudios sobrebiodiversidad de parásitos en general, zoonosis y epidemiología.

Inserción laboral

Probablemente más del 90% de los egresados son absorbidos por las universidades e institutos de investigación estatales, y el restante 10% por el sector privado.

Identificación de áreas de vacancia en la formación de recursos humanos

Biodiversidad, Zoonosis, Epidemiología, Diagnóstico, Protozoología.

Publicaciones científicas argentinas en la disciplina

Revista Argentina de Parasitología, Revista Medicina.

Producción científica

En función de su población y recursos, el volumen de la producción científica argentina en la disciplina es inferior a lo que podría esperarse. Las principales revistas donde se publican las investigaciones de autores argentinos en la disciplina son locales o regionales. El idioma más usual en las publicaciones de autores argentinos en la disciplina es español.

Conclusiones y recomendaciones

La Parasitología es una disciplina con muy poco desarrollo en la Argentina. El grado de desarrollo necesario solo será posible a través de la formación de recursos humanos y el indispensable acompañamiento económico a través de subsidios y becas. Los principales factores que frenan el desarrollo de esta especialidad es el escaso número de grupos de trabajo en relación con el enorme número de especialidades dentro de esta disciplina. Por otra parte, es notable el escaso número de publicaciones en revistas internacionales; esto también, en relación con el enorme número de especialidades dentro de esta disciplina.

Toxicología (Teodoro Stadler)

Definición y límites de la disciplina

La Toxicología es una ciencia que identifica, estudia y describe, la dosis, la naturaleza, la incidencia, la severidad, la reversibilidad y, generalmente, los mecanismos de los efectos tóxicos que producen los xenobióticos que dañan el organismo. La toxicología también estudia los efectos nocivos de los agentes químicos, biológicos y de los agentes físicos en los sistemas biológicos y que establece, además, la magnitud del daño en función de la exposición de los organismos vivos a previos agentes, buscando a su vez identificar, prevenir y tratar las enfermedades derivadas de dichos efectos.1 Actualmente la toxicología también estudia, el mecanismo de los componentes endógenos, como los radicales libres de oxígeno y otros intermediarios reactivos, generados por xenobióticos y endobióticos. En el último siglo la toxicología se ha expandido, asimilando conocimientos de varias ramas como la biología, la química, la física y las matemáticas.

Subdisciplinas

Ocupacional, Ambiental, Ecotoxicología, Alimentaria

Aspectos destacados de las aplicaciones vinculadas con la especialidad

Medicina forense y legal

Farmacología. Medicina del Trabajo. Toxicocinética y Toxicodinamia. Intoxicaciones por drogas de abuso: heroína, cocaína, cannabis, anfetaminas, alucinógenos y nuevas drogas. Intoxicaciones por alcohol etílico.

Grupos de trabajo

Instituto De Investigación E Ingeniería Ambiental, UNSAM. Investigadores formados: 4.

Cátedra De Toxicología Y Química Legal, Facultad de Farmacia Y Bioquímica, UBA. Investigadores formados: 3.

CIMA - Departamento de Quimica, Facultad De Ciencias Exactas, Universidad de La Plata. Investigadores formados: +4.

Laboratorio de Toxicología Aplicada (LaToAR), Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad de Rosario. Investigadores formados: +4.

Cátedra de Toxicología y Química Legal. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata.

Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, UNSAM. Cátedra de Toxicología y Química Legal, Facultad De Farmacia Y Bioquímica, UBA.

Cátedra De Toxicología Y Química Legal. Facultad De Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata.

Laboratorio De Toxicología Aplicada (LaToAr), Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad de Rosario.

CIGETOX, Centro de Investigaciones en Genética Toxicológica.

INFIBIC, Instituto de Fisiopatología y Bioquímica Clínica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA.

Recursos humanos

En el país trabajan alrededor de 70 (setenta) investigadores en temas relacionados con la toxicología, desde la toxicología ambiental hasta los temas de adicción. Es necesario incrementar el número de investigadores en esta disciplina, especialmente en temas relaciondos con la contaminación ambiental de origen industrial, la agrícola y la relacionada con la producción dealimentos.

Inserción laboral

Probablemente más del 90% de los egresados son absorbidos por

universidades e institutos estatales, y el restante 10% por el sector privado.

Publicaciones científicas argentinas en la disciplina

Acta Toxicológica Argentina de la Asociación Toxicologica Argentina. (Integra el Núcleo Básico de Revistas Científicas Argentinas. Los trabajos y artículos publicados en ella pueden obtenerse a través de SciELO). *Revista Argentina de Microbiología* (Editada por la Asociación Argentina de Microbiología).

Producción científica

En función de su población y recursos, el volumen de la producción científica argentina en la disciplina es buena. Las principales revistas donde se publican las investigaciones de autores argentinos en la disciplina son internacionales. El idioma más usual en las publicaciones de autores argentinos en la disciplina es inglés.

Conclusiones y recomendaciones

La toxicología es una disciplina con buen desarrollo en la Argentina, aunque algunas especialidades deberían ser fortalecidas. Las instituciones que lideran esta especialidad son también formadoras de recursos humanos, de modo que la evolución de esta especialidad será buena, siempre que el acompañamiento económico a través de subsidios y becas continúe vigente.

Ficología (Andrés Boltovskoy)

Definición y límites de la disciplina

La ficología es una disciplina Botánica que se ocupa de la investigación de las algas, principales productores primarios de los ecosistemas acuáticos. La mayoría de las algas son organismos eucarióticos, aunque la ficología incluye también formas procarióticas conocidas como algas verde- azules o cianobacterias. Las algas pluricelulares pueden alcanzar grandes dimensiones, aunque la aplastante mayoría de las especies son unicelulares. Actualmente, gracias a los estudios a nivel cromosómico y químico, se sabe que se trata de un grupo cuyos integrantes han recorrido caminos evolutivos muy diversos (grupo polifilético).

Subdisciplinas

Taxonomía, Ecología, Biogeografía, biotecnología, genética. Invasiones biológicas. Toxicología (floraciones algales, algas tóxicas). Planctología, oceanografía, limnnología, edafología. Biocombustibles.

Mención de temas clásicos y temas de frontera que abarca

Temas clásicos: Taxonomía, ecología, biogeografía, cultivos.

Temas de frontera: Ecología evolutiva, biología molecular, obtención de biocombustibles, obtención de productos de interés medicinal y alimentario, aplicación de técnicas moleculares en la identificación de especies de fitoplancton.

Aspectos destacados de las aplicaciones vinculadas con la especialidad

Tradicionalmente se han usado algas como fertilizantes o correctores de tierras de cultivo. Industrialmente son fuente de agar, alginatos y carragenanos. En algunas regiones forman parte de la dieta alimentaria y además está difundido su empleo como suplementos dietario para seres humanos. Las macroalgas se han empleado como forraje para animales domésticos. En el mundo de la estética se utilizan por sus propiedades hidratantes, antioxidantes y regeneradoras. Actualmente se estudia su utilización para la producción de biocombustibles (bioetanol, biobutanol y biodiésel). Tanto en agua dulce como en el mar son importantes las prospecciones para la prevención de intoxicaciones humanas y de animales debidas a las floraciones de algas tóxicas. En aguas dulces suelen causar perjuicios económicos debido a floraciones algales que dificultan el proceso de potabilización del agua. Algunas especies de algas (micro y macroalgas) desencadenan invasiones biológicas y para su control se requieren estudios que permitan la comprensión de los motivos de su expansión.

Grupos de trabajo

Los cuatro principales grupos de trabajo en nuestro país son heterogéneos en su composición, ya que están formados por varios equipos con diferentes proyectos y directores. Los dos grupos que incluyen mayor cantidad de ficólogos (alrededor de 30) son: Universidad Nacional de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, con tres grupos distribuidos en dos departamentos: 8 investigadores formados, 11 investigadores jóvenes, 5 becarios, 4 pasantes y alumnos, 3 técnicos. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias naturales y museo, con varios grupos de trabajo en el Departamento de Ficología "Dr. Sebastián Guarrera": 8 investigadores formados, 6 investigadores jóvenes, 7 becarios, 5 pasantes y alumnos, 1 técnicos.

Recursos humanos

La cantidad de investigadores en ficología en el país se estima en unos 100-130. De la encuesta surge que la proporción de investigadores formados - investigadores jóvenes es de 6 a 4. Llama la atención la baja proporción de becarios en relación a los investigadores, 3 a 7, lo cual indicaría una futura

merma en el surgimiento de nuevos científicos. Es difícil juzgar si la cantidad de ficólogos es la apropiada para el país, pero dada la extensión de la costa marítima Argentina, así como la existencia de más de 1000 lagos lagunas (considerando sólo los más importantes), además de los ríos, unido a la creciente problemática del las algas tóxicas e invasoras, el número de investigadores parece modesto.

Formación de recursos humanos

Los principales centros de formación de recursos humanos para la ficología a nivel de grado y postgrado son la Universidad de Buenos Aires, La Universidad de la Plata y la Universidad Nacional del Sur. No hay carreras intermedias ni tecnicaturas. Esporádicamente se dictan en el país cursos nacionales e internacionales sobre temas específicos de ficología.

Inserción laboral

La inserción laboral de los investigadores formados en el sistema científico nacional corresponde en un 95 % a las universidades nacionales y CONICET y un 5% en empresas estatales o privadas de tratamiento del agua potable.

Identificación de áreas de vacancia en la formación de recursos humanos

En las cátedras relacionadas con la ficología se enseña principalmente morfología, taxonomía biogeografía. Para la formación en biotecnología algal, ficología sanitaria, genética molecular generalmente hay que recurrir a otros ámbitos.

Publicaciones científicas argentinas en la disciplina

No existen revistas especializadas en ficología nuestro país. Dos revistas de botánica indexadas suelen publicar trabajos ficológicos: *Darwiniana* (del Instituto Darwinion) y el *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, publicada por la sociedad del mismo nombre.

Recursos humanos argentinos en el exterior

La estimación es de unos ocho investigadores que se encuentran trabajando permanentemente en el exterior. La intensidad y frecuencia de las cooperaciones entre estos argentinos en el exterior e investigadores locales podría estimarse en un 50%.

Producción científica

En función de su población y recursos, el volumen de la producción

científica argentina en la disciplina es adecuada; las principales revistas donde se publican las investigaciones de autores argentinos en la disciplina son internacionales; los idiomas más usuales en las publicaciones de autores argentinos en la disciplina son el inglés y el español.

En cuanto a la calidad, el grado de complejidad, elaboración e interés de las publicaciones argentinas en la especialidad es, en promedio, inferior al de trabajos provenientes de países más desarrollados.

En la disciplina, la cantidad de publicaciones por investigador en la Argentina es mayor que en países menos desarrollados de Latinoamérica (Paraguay, Bolivia, Perú); menor que en países más desarrollados de Latinoamérica (Chile, Brasil); menor que en países más desarrollados de América del Norte (EEUU, Canadá) y de Europa (Alemania, Inglaterra, Francia, etc.)

La diferencia en producción científica (calidad y cantidad) en los últimos 20 años se mantuvo constante con respecto a países menos desarrollados de Latinoamérica (Paraguay, Bolivia, Perú); disminuyó con respecto países más desarrollados de Latinoamérica (Chile, Brasil); se mantuvo constante con respecto países más desarrollados de América del Norte (EEUU, Canadá) y de Europa (Alemania, Inglaterra, Francia, etc.)

Conclusiones y recomendaciones

Sin que haya habido en los últimos años mayores cambios en el nivel de la investigación ficológica en nuestro país, la cantidad y el nivel de trabajo creció más en los países más desarrollados de Latinoamérica. Al mismo tiempo se mantuvo el número de trabajos publicados en revistas de primer nivel, pero mermaron aquellos de interés local no publicables en aquellas. Esto podría deberse a varias causas:

a) La falta de incentivos económicos y prácticos para la investigación de temas de interés local así como de revistas especializadas locales de alto nivel.

b) La reducción de recursos humanos, ya que si bien se incentiva la formación de becarios mediante promociones, en muchos casos la falta de estructura edilicia (espacio físico) impide la incorporación de los mismos. De hecho, tenemos sólo 3 becarios por cada 7 investigadores.

c) La escasez de personal de apoyo (menos de un técnico por cada 10 investigadores) hace que becarios e investigadores deban ocupar parte importante de su tiempo en tareas técnicas.

d) Es probable que haya habido en los últimos años un mayor apoyo a la investigación en países como Brasil Chile y México.

CAPÍTULO 4

CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Coordinador
Carlos Areces
UNC, Córdoba

Colaboradores
Nazareno Aguirre, UNRC, Córdoba
Verónica Becher, UBA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Luciana Benotti, UNC, Córdoba
Carlos Chesñevar, UNS, Bahía Blanca
Sebastián Uchitel, UBA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de los siguientes investigadores, quienes aportaron datos acerca de la evolución de las áreas en la que se desempeñan y una visión del estado actual de las mismas en nuestro país: Laura Alonso Alemany, Javier Oscar Blanco, Eduardo Augusto Bonelli, Laura Andrea Cecchi, Pedro R. D'Argenio, Marcelo Luis Errecalde, Diego Fernández Slezak, Esteban Feuerstein, Santiago Figueira, Daniel Edgardo Fridlender, Daniela Godoy, Agustín Gravano, Mauro Javier Jaskelioff, Min Chih Lin, Irene Loiseau, Esteban Mocskos, Gustavo Hector Rossi y Nicolás Wolovick. Merecen una mención especial las contribuciones de dos revisores externos anónimos que aportaron comentarios luego de leer una primera versión de este informe. Estos comentarios fueron fundamentales para permitirnos mejorar algunos aspectos de este informe. Algunos de los aportes de estos revisores fueron directamente incorporados el informe ya que brindaban contribuciones novedosas que no habían sido cubiertas en el informe original.

METODOLOGÍA

El informe fue elaborado con datos provenientes de distintas fuentes. Además de una encuesta específica a investigadores en Ciencias de la Computación elaborada para este informe, el relevamiento de grupos de investigación en Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) a nivel nacional se basa en la Encuesta Nacional de Grupos de Investigación en TIC realizada por la Secretaría de Planeamiento y Políticas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Se utilizaron las bases de datos SCImago, información provista por la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICyT); información provista por CONEAU, información provista por CONICET y datos del Banco Mundial. En algunos casos se consultó también directamente a distintas facultades de universidades públicas y privadas.

Al comenzar la preparación de este informe y cuando se decidió la realización de una encuesta propia (EP) para recabar datos en forma uniforme entre las distintas disciplinas involucradas, la Secretaría de Planeamiento y Políticas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva había ya lanzado una Encuesta Nacional de Grupos de Investigación en TIC (ETIC).

Al no existir información sistematizada, la encuesta ETIC procedió a conformar un padrón de los grupos de investigación vinculados a estas tecnologías a través de una consulta realizada a las instituciones en donde estos se desempeñan. Con la información compilada de las respuestas recibidas, se conformó un padrón inicial de 460 grupos de investigación que fue utilizado para la implementación de la encuesta (pero recordemos que dentro de TIC se integran las disciplinas de Ingeniería en Informática e Ingeniería en Sistemas además de las Ciencias de la Computación). De las 340 respuestas obtenidas, 314 resultaron completas. Para la EP se seleccionaron 30 investigadores, directores de grupos de investigación específica en Ciencias de la Computación, y se obtuvieron 22 respuestas completas.

En el resto del documento nos referiremos como ETIC a la encuesta realizada por el Ministerio, y como EP a la encuesta propia realizada en el marco de este informe.

DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

En este reporte interpretamos las Ciencias de la Computación como la rama más teórica de la informática que tiene que ver con los aspectos abstractos y matemáticos de la computación. Entre los temas de estudio de las Ciencias de la Computación se incluyen, por ejemplo, el análisis y verificación de algoritmos, el estudio de su complejidad, la definición formal de la semántica de los lenguajes de programación, el delineamiento del límite entre lo computable y lo no computable, la inteligencia artificial, etc.

En particular intentaremos, dentro de lo posible, diferenciar la investigación en Ciencias de la Computación de otras dos grandes áreas de la informática que pueden definirse como la Ingeniería en Informática, generalmente interesada en aspectos más aplicados, y en temas específicos de hardware como el diseño y fabricación de controladores y circuitos integrados; y la Ingeniería de Sistemas, asociada principalmente al diseño, la programación, la implantación y el mantenimiento de sistemas informáticos de envergadura. Las tres áreas de Ciencias de la Computación, Ingeniería en Informática e Ingeniería de Sistemas son de importancia fundamental, y entre ellas cubren, en forma casi exhaustiva, los distintos aspectos de la investigación en el área de informática en Argentina. Es usual referirse a las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) como el nombre general que engloba a las tres áreas. Este informe hace especial énfasis en el área de las Ciencias de la Computación por su mayor afinidad con los temas cubiertos por las Academias responsables del proyecto. Hay otras áreas de la informática que caen fuera de la Ciencia de la Computación, que se llaman genéricamente áreas de aplicación y se dedican a buscar soluciones computacionales a problemas de disciplinas específicas. Por ejemplo, está la biología computacional, la física computacional, las aplicaciones de la computación a la astronomía, a la medicina, a la meteorología, a la oceanografía, a la química. Incluso hay enfoques computacionales para resolver problemas puramente matemáticos. Cada una de estas áreas de aplicación tiene numerosas ramificaciones y ha desarrollado técnicas específicas.

Subdisciplinas incluidas

En este informe se definieron las subdisciplinas que se detallan a continuación considerando que todas ellas se encuentran, en mayor o menor medida, representadas en las Ciencias de la Computación realizadas en el país.

Debe destacarse que esta lista no es exhaustiva y que existen seguramente subdisciplinas representadas en el país que podrían haberse incluido en un listado más extenso.

Se intentó mantener el número de subdisciplinas mencionadas en una cantidad razonable. Se incluyen además subdisciplinas que podrían considerarse de distinta granularidad (por ejemplo, Métodos formales vs. Teoría de tipos); el principal criterio para su selección fue la existencia de grupos de investigación en el país que se identifiquen con las subdisciplinas indicadas.

Para cada una de ellas incluimos definiciones intuitivas que permitan identificar sus temas de pertinencia.

Computabilidad: estudia los problemas de decisión que pueden ser resueltos con un algoritmo o equivalentemente con una máquina de Turing.

Teoría de la información y la codificación: investiga las leyes matemáticas que rigen la transmisión y el procesamiento de la información; se ocupa de la medición y de la representación de la información, y de la capacidad de los sistemas de comunicación para transmitir y procesar información.

Algoritmos y estructuras de datos: investiga el diseño e implementación de los algoritmos y de las estructuras de datos utilizadas en los mismos.

Teoría de lenguajes de programación: se encarga del diseño, implementación, análisis y clasificación de lenguajes de programación y sus características.

Métodos formales: investigan técnicas matemáticas para la especificación, el desarrollo y la verificación de sistemas de software y hardware.

Inteligencia artificial: investiga la síntesis de procesos meta-orientados tales como la resolución de problemas, toma de decisiones, la adaptación a un medio ambiente cambiante, el aprendizaje y la comunicación de información.

Arquitectura e ingeniería del computador: estudia el diseño conceptual y la estructura operacional fundamental de una computadora; se centra en la manera en que la unidad central de procesamiento realiza cálculos y accede a memoria.

Procesamiento de imágenes: es el uso de algoritmos que se aplican a imágenes con el objetivo de buscar información (por ejemplo, la identificación de rostros que aparecen en una imagen), o de mejorar su calidad mediante filtrado.

Seguridad informática y criptografía: tiene como objetivo preservar la seguridad de dispositivos electrónicos y de redes de computadoras; se encarga de preservar la privacidad de la información mediante el uso de algoritmos de codificación de datos.

Redes de ordenadores: tiene como objetivo gestionar la forma de interconectar computadoras, principalmente sobre grandes distancias.

Sistemas concurrentes, paralelos y distribuidos: un sistema es concurrente si permite la ejecución de varios cálculos en forma simultánea (en paralelo), y si, potencialmente, permite interacciones entre ellos; en un sistema distribuido esta idea se extiende a varios ordenadores conectados a través de una red.

Bases de datos: tiene como objetivo diseñar métodos para organizar, almacenar y recuperar grandes cantidades de datos de forma sencilla.

Ingeniería de software: estudia el diseño, la implementación y la modificación de software con el fin de asegurar que sea de alta calidad, asequible, fácil de mantener, y rápido de construir.

Teoría de autómatas: es el estudio de máquinas abstractas y autómatas y de los problemas computacionales que pueden solucionar; los autómatas son modelos teóricos que sirven para diversas aplicaciones.

Teoría de compiladores: estudia el desarrollo de los lenguajes de programación y sus compiladores. Se encarga de estudiar la sintaxis, las gramáticas y la semántica de los lenguajes de programación.

Teoría de tipos: es el estudio de sistemas formales utilizados, entre otras finalidades, para la especificación de jerarquías entre los términos de un lenguaje formal.

Complejidad algorítmica: estudia formas de determinar la cantidad de recursos (como tiempo y almacenamiento) que será necesaria para ejecutar un algoritmo en función del tamaño de sus entradas.

Verificación de software: se encarga de determinar que un programa cumpla con sus requerimientos y no contenga errores, utilizando distintas técnicas como *testing*, *model checking*, etc.

Demostración automática: se encarga del desarrollo de algoritmos que permiten probar teoremas automáticamente o verificar la correctitud de pruebas existentes.

Procesamiento de lenguaje natural: estudia técnicas para el procesamiento automatizado de texto escrito o hablado en algún lenguaje natural.

Sistemas operativos: investiga técnicas para el mejor aprovechamiento de los recursos de un dispositivo electrónico, buscando optimizar el acceso a almacenamiento entre distintos programas, y el uso de procesadores de cómputo.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

Como mencionamos en la sección anterior, en este informe entendemos como Ciencias de la Computación la subárea de la informática que se ocupa de sus aspectos más fundamentales. El ejemplo más característico es la disciplina de computabilidad que estudia la pregunta de qué problemas pueden o no resolverse algorítmicamente. Nótese que esta pregunta está intrínsecamente asociada a la definición de qué es un algoritmo, qué es una computadora, y qué significa resolver algorítmicamente un problema. Las principales herramientas utilizadas en las Ciencias de la Computación tienen sus orígenes en la matemática (por ejemplo, álgebra, lógica, estadística, análisis, métodos formales de razonamiento y demostración, etc.). Sin embargo, las diferencias entre ellas en general son marcadas, y las Ciencias de la Computación han desarrollado técnicas propias y una perspectiva distinguida. Por ejemplo, herramientas y resultados provenientes del álgebra universal pueden utilizarse para definir la semántica formal de un lenguaje de programación (otra temática clásica del área), pero es necesario transformarlos en piezas de un procedimiento computacional, y garantizar un análisis de complejidad computacional.

Como sucede cada vez más frecuentemente en las áreas científicas de mayor desarrollo en la actualidad, no es fácil circunscribir los temas de incumbencia específica de las Ciencias de la Computación. El *Special Interest Group on Algorithms and Computation Theory de la Association for Computing Machinery* (ACM), al describir su misión como la promoción de las Ciencias de la Computación, afirma:

> *El campo de la ciencias de la computación teórica es interpretado ampliamente para incluir algoritmos, estructuras de datos, teoría de la complejidad computacional, computación distribuida, computación paralela, integración de circuitos a gran escala, aprendizaje de máquina, biología computacional, geometría computacional, teoría de la información, criptografía, computación cuántica, teoría computacional de números y álgebra, semántica de programa y verificación, teoría de autómatas y el estudio de la aleatoriedad.*

A esta lista, la revista científica *Transactions on Computation Theory* de la ACM, una de las más prestigiosas del área, agrega las siguientes disciplinas: teoría de la codificación, teoría del aprendizaje computacional y aspectos de ciencias de la computación de áreas tales como bases de datos, recuperación de información, modelos económicos y redes de computadoras.

Es interesante notar que la historia de las Ciencias de la Computación se remonta varios siglos en la antigüedad antes de la invención de la computadora moderna, por ejemplo el término computador se refería a una persona que realizaba cálculos, y máquinas para tareas numéricas concretas, como el ábaco, han existido desde la antigüedad. Sin embargo, recién en la década de 1940, conforme las máquinas para computar se tornaban más flexibles y podían usarse para más cosas que para realizar cálculos matemáticos, el campo de las Ciencias de la Computación se extendió para estudiar la noción de cómputo en general.

Las Ciencias de la Computación nacen a principios de 1940 con la confluencia de la teoría de algoritmos, resultados en lógica matemática y descubrimiento de la noción de programa almacenado en memoria. Ejemplos clásicos de estos desarrollos son los trabajos de Alan Turing, Alonzo Church y Kurt Gödel en 1930. Estamos hablando entonces de una disciplina muy joven y que, sin embargo, ha experimentado un desarrollo impresionante en los pocos años transcurridos desde su creación. Intrínsecamente ligada a la tecnología, es difícil encontrar en la actualidad una rama de cualquier otra disciplina científica que no se haya beneficiado de los avances de las Ciencias de la Computación. Por su propia naturaleza, se trata de una ciencia de impacto multidisciplinario. La presencia de sus avances en el día a día es también asombrosa. Basta notar que en la actualidad aproximadamente una de cada cinco personas en el mundo posee un teléfono inteligente y cada uno de estos posee mayor capacidad de cómputo que la computadora más avanzada existente en 1985. Hace pocos años, la idea de tener una computadora en cada casa era considerada un tema de un relato de ciencia ficción, en la actualidad muchos de nosotros llevamos una en el bolsillo, todos los días.

Temas de Frontera

Resulta imposible realizar una presentación exhaustiva de todos los actuales temas de frontera en Ciencias de la Computación, en el marco del presente informe. Hemos decidido discutir un número pequeño de avances recientes para que sirvan como ejemplo de sus límites actuales. Se trata, seguramente, de una selección ecléctica y parcial que refleja principalmente los intereses y áreas de conocimiento de los autores del informe. Como ya mencionamos, en los temas que discutimos a continuación, es muchas veces difícil diferenciar entre avances puramente teóricos que pueden asociarse con las Ciencias de la Computación, y avances tecnológicos que se benefician también de mejoras en áreas como la Ingeniería o la Física. Creemos que se trata de un espectro amplio en el que ambos aspectos se fusionan en mayor o menor medida.

Complejidad Algorítmica

Mientras que el campo de la computabilidad estudia cuándo un problema puede ser resuelto algorítmicamente, el campo de la complejidad algorítmica estudia cuánto cuesta resolver un problema que sabemos puede resolverse algorítmicamente. Existen distintas formas de medir la complejidad de un problema. Por ejemplo, en la llamada teoría de la información y la codificación, la complejidad de Kolmogorov de un problema es la cantidad de información necesaria para resolver el problema.

La teoría de complejidad más usada es la que mide el tiempo, en cantidad de operaciones elementales, y el espacio necesarios para resolver un problema. La medida llamada complejidad de peor caso (en inglés, *worst-case complexity*) utiliza la cantidad de pasos, o la cantidad de memoria, que necesita un programa óptimo para solucionar la instancia más difícil de un problema. Uno de los problemas abiertos más famosos en el enfoque de complejidad de peor caso es la pregunta P = NP, que compara la clase de problemas que pueden resolverse en tiempo polinomial por una máquina de Turing determinista (la clase P) con la clase de problemas que usa también tiempo polinomial pero utilizando una máquina de Turing no determinista (la clase NP). Este problema fue mencionado por primera vez en 1956 en una carta de Kurt Gödel a John von Neumann. Formalmente, el problema fue introducido en 1971 por Stephen Cook y es considerado por muchos como el problema abierto más importante del área. Se trata de uno de los siete *Millennium Prize Problems* seleccionados por el Instituto Clay de Matemáticas con un premio de U$S 1.000.000 para la primera solución correcta. Un resultado relacionado es el Teorema de Caracterización PCP, establecido en 1992, que afirma que todo problema NP tiene pruebas probabilísticamente verificables. Este teorema es la piedra angular de la teoría de complejidad aproximada, que investiga la dificultad inherente en el diseño de algoritmos de aproximación eficientes para diversos problemas de optimización; es la culminación de una larga línea de trabajos sobre pruebas interactivas y pruebas probabilísticamente verificables, y es considerado uno de los resultados recientes más importantes del área de complejidad algorítmica. El premio Gödel del 2001 fue adjudicado al grupo de investigadores que contribuyeron a la demostración del teorema.

Criptografía y Teoría de la información

Alan Turing, el padre de las Ciencias de la Computación, realizó los descubrimientos que dieron origen durante la segunda Guerra Mundial al área de la Criptografía, mientras trabajaba en el equipo que consiguió romper el código de la máquina criptográfica Enigma utilizada por los nazis. La criptografía moderna comienza con el trabajo de Shannon en 1949. Su trabajo definió la teoría de la información y la comunicación, y estableció una sólida base teórica

para la criptografía y el criptoanálisis.

A mediados de los 70 se realizaron dos importantes avances. El primero fue el *Data Encryption Standard* (DES), propuesto por IBM, en un esfuerzo por desarrollar sistemas de comunicación electrónica segura para los bancos y otras organizaciones financieras grandes. El DES fue el primer cifrado accesible públicamente con el auspicio de una agencia nacional como la *National Security Agency* (NSA). El segundo avance fue aún más importante, ya que cambió de manera fundamental los algoritmos criptográficos utilizados. Diffie y Hellman introdujeron un método radicalmente nuevo para distribuir las claves criptográficas e impulsaron el desarrollo de lo que hoy se denominan algoritmos de cifrado asimétrico. Con un algoritmo de este tipo, cada usuario sólo necesita un par de claves. Designando una de las claves del par como privada y la otra como pública, no se necesita un canal seguro para el intercambio de claves. Mientras la clave privada permanezca en secreto, la clave pública puede ser conocida sin comprometer la seguridad, permitiendo reutilizar el mismo par de claves de forma indefinida.

Aunque los algoritmos criptográficos modernos se consideran en teoría impenetrables, sus implementaciones concretas pueden contener debilidades y hay ejemplos de diseños criptográficos que han podido ser descifrados. En nuestra sociedad actual, donde muchos individuos e instituciones mantienen información de carácter privada (por ejemplo, datos médicos, bancarios, personales, etc.) en forma digital el desarrollo de métodos de protección, verificación de identidad y encriptado resulta de máxima importancia.

Redes de computadoras

El desarrollo extensivo de las redes de computadoras y en particular de lo que hoy llamamos internet debe considerarse como uno de los avances más importantes a escala mundial, de los últimos años y, en nuestra opinión, no es exagerado equipararlo a la invención de la imprenta. Internet es un conjunto descentralizado de redes de comunicación interconectadas que utilizan la familia de protocolos TCP/IP, lo cual garantiza que las redes físicas heterogéneas que la componen funcionen como una red lógica única, de alcance mundial. Sus orígenes se remontan a 1969, cuando se estableció la primera conexión de computadoras, conocida como Arpanet, entre tres universidades en California y una en Utah, Estados Unidos. Uno de los servicios de más éxito en Internet es la *World Wide Web* (www o la Web), a tal punto que es habitual la confusión entre ambos términos. La www es un conjunto de protocolos que permite, de forma sencilla, la consulta remota de archivos de hipertexto. Las ideas originales que llevaron a la actual Web fueron desarrolladas entre marzo de 1989 y diciembre de 1990 por Tim Berners-Lee y Robert Cailliau mientras trabajaban en el CERN en Ginebra, Suiza, y fueron publicadas en 1992. La Web tenía algunas diferencias

con los otros sistemas de hipertexto que estaban disponibles en aquel momento. Primero, solo requería enlaces unidireccionales en vez de bidireccionales, haciendo posible el enlace a otro recurso sin necesidad de ninguna acción del propietario de ese recurso. Segundo, la Web era no propietaria, haciendo posible desarrollar servidores y clientes independientemente y añadir extensiones sin restricciones de licencia. Estas dos propiedades impulsaron el desarrollo de contenido: información de carácter público, disponible en forma abierta y al alcance de cualquiera con acceso a una conección de internet. En forma acelerada, la Web se transformó en la biblioteca más extensa existente hasta el momento. Sin embargo, la misma naturaleza abierta y descentralizada de internet constituía su mayor debilidad: la información disponible era difícil de encontrar; surgieron así los motores de búsqueda o buscadores.

Con la llegada de Google, el modo en que los motores de búsqueda funcionaban cambió de forma radical, democratizando los resultados que se ofrecen en su buscador. Google basó el funcionamiento de su motor de búsqueda en la relevancia de los contenidos de cada sitio web para los propios usuarios, priorizando aquellos resultados que los usuarios consideran más relevantes para una temática concreta. El conjunto de algoritmos utilizados para realizar esta tarea se conoce actualmente como el algoritmo *PageRank*.

En la actualidad hay una tendencia hacia entornos móviles (por ejemplo, celulares) haciendo que los buscadores tengan en cuenta otras dimensiones en las búsquedas como, por ejemplo, la posición geográfica actual, para definir la relevancia de un documento.

Interfaces hombre-máquina

Uno de los temas recientes de investigación en Ciencias de la Computación son las distintas formas de interacción entre la computadora y el hombre. Sobre todo en los últimos años, se han realizado avances de importancia en esta disciplina. Con la incorporación de *touchpads* y pantallas táctiles el área de interfaces gestuales se desarrolla rápidamente. Se están haciendo cada vez más comunes, además, los dispositivos que van más allá de la interacción táctil y permiten el seguimiento de gestos en tres dimensiones. De esta forma, la interacción con la computadora se aleja cada vez más del aparato en sí, y se confunde con el entorno real en que vivimos. Los límites entre el mundo real y el mundo regido por las Ciencias de la Computación también se desdibujan en la dirección inversa con el desarrollo de los mundos virtuales que simulan realidades alternativas dentro de una computadora. Hablar de realidades virtuales nos parece, aún ahora, un tema del futuro y sin embargo existen ya mundos virtuales de gran éxito y uso masivo. Podemos mencionar, por ejemplo, los juegos de rol on-line de modalidad multi-jugador masiva, como *World of Warcraft*, que han resultado en éxitos comerciales de gran escala. En otros

entornos virtuales, como *Minecraft*, el usuario tiene acceso a herramientas de programación que permiten la definición de una máquina de Turing universal; en otras palabras, toda tarea computable podría, teóricamente, realizarse dentro del mundo virtual.

Otro avance de gran impacto se ha dado en el reconocimiento, procesamiento y generación de lenguaje natural hablado y escrito. Cada vez son más comunes las interfaces de asistencia personal, como Siri o Cortana, que nos permiten interactuar con la computadora mediante el habla. A modo de ejemplo del tipo de técnicas de las Ciencias de la Computación utilizadas en estos sistemas, podemos mencionar los procesos de decisión de Markov parcialmente observables. Estas técnicas de gran desarrollo reciente permiten que los sistemas de procesamiento de lenguaje natural interactivos se adapten continuamente al comportamiento y al lenguaje de un usuario particular. El marco provisto es lo suficientemente general como para modelar una variedad de procesos de toma secuencial de decisiones en el mundo real. Además de las interfaces de voz, otras aplicaciones típicas incluyen problemas de navegación en robots y otros problemas de planificación bajo incertidumbre en general.

Quedan sin discutir numerosos temas que no podemos incluir por cuestiones de espacio. Las siguientes subáreas han visto avances importantes en los últimos años y seguramente están en la frontera del conocimiento actual en Ciencias de la Computación: Inteligencia artificial (el desarrollo de algoritmos inteligentes está finalmente alcanzando desempeños maduros, por ejemplo, Watson es un sistema informático de inteligencia artificial desarrollado por IBM, capaz de responder a preguntas formuladas en lenguaje natural); Bioinformática (en el área de genómica y secuenciación de ADN); Robótica (basta mencionar desarrollos recientes como los automóviles autónomos que están siendo desarrollados por Google); Verificación de software (cada vez de mayor relevancia dado el incremento del uso de software en medicina, aplicaciones domésticas, etc.); *Big Data* (como resultado del incremento de nuestra presencia online generamos en la actualidad cantidades inmensas de datos por segundo; el desafío resultante implica su gestión, captura, almacenamiento, búsqueda, compartición, análisis, visualización, etc.); la *Internet of Things* (se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con internet, de la misma forma en que los celulares inteligentes se encuentran conectados avanzamos hacia un futuro de total conexión incluyendo automóviles, lámparas, termostatos, heladeras).

ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

Comenzamos con una descripción del desarrollo de la investigación en Ciencias de la Computación en la Argentina que constituye, en su mayor parte, un resumen del artículo *El Desarrollo Académico de la Computación en la Argentina y la Cooperación Latinoamericana*, de Jorge Aguirre.

La investigación en computación se inició en la Argentina en la década de 1950. En 1957 ya se habían constituido los primeros grupos de investigación que alcanzaron rápidamente un buen nivel. También hubo emprendimientos industriales importantes a lo largo de los cuarenta años que siguieron. Sin embargo, hasta recientemente, no se han producido cambios globales significativos en el estado de la disciplina. Esto se explica por la secuencia de gobiernos militares instalados y la falta de políticas de estado, los que tuvieron un efecto negativo en una disciplina tan incipiente.

La universidad argentina se vio beneficiada por las guerras que conmovieron Europa en los años 1914-1918 y 1939-1945, ya que se enriqueció con la incorporación de importantes científicos europeos. La radicación del matemático español Julio Rey Pastor en nuestro país dio origen a la Escuela Matemática Argentina a la que se integraron otros inmigrantes ilustres. Por otra parte, la Física también había tenido un desarrollo significativo, particularmente en investigaciones nucleares. Este desarrollo académico, especialmente en las Ciencias Exactas, permitió a las autoridades de las universidades nacionales impulsar proyectos de crecimiento. El caso de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN) de la Universidad de Buenos Aires, es emblemático. Bajo la iniciativa del Dr. Manuel Sadosky, en 1957 se iniciaron los trabajos de implantación de la Computación en la Facultad, y se impulsó la adquisición de una computadora. En 1960, Sadosky fundó la Sociedad Argentina de Computación (SAC) concebida como un instrumento para promover el desarrollo de una auténtica profesión informática. La SAC y la SADIO (Sociedad Argentina de Investigación Operativa) colaboraron intensamente desde los primeros años de la computación y la investigación operativa en nuestro país, particularmente en las relaciones internacionales. Posteriormente, en el año 1979, la cooperación entre ambas entidades se materializó en la unión, a través de la Sociedad Argentina de Informática e Investigación Operativa (SADIO). En 1961, con fondos del recientemente creado Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, se aprobó la compra de una computadora por un monto de USD 300.000. Esta máquina, que fue llamada Clementina, fue el núcleo central del flamante Instituto de Cálculo de la FCEyN, y posteriormente

fue la computadora de la primera carrera universitaria de computación, la de Computador Científico, creada también por iniciativa del Dr. Sadosky. Esta computadora valvular de 18 metros de largo fue también la primera en los ámbitos universitarios de Latinoamérica. Con esta máquina se formaron a muchos profesionales, en la que en ese entonces era una nueva especialidad.

En el Instituto de Cálculo se comenzaron investigaciones de desarrollo de software de base, de desarrollo de periféricos e interfaces y de matemática aplicada. En la Facultad de Ingeniería de la UBA también se constituyeron grupos de investigación y desarrollo en Computación y el Ingeniero Humberto Ciancaglini fundó un grupo de electrónica digital que llegó a diseñar y construir un prototipo de computadora, llamada CEFIBA (1962). En la Universidad Nacional del Sur también se iniciaron trabajos en computación digital y el grupo del Ingeniero Jorge Santos llegó a construir una computadora denominada CENUS (1962) que no alcanzó nunca a funcionar por falta de fondos. Este progreso inicial se truncó en 1966, cuando el presidente Illia fue derrocado. Poco tiempo después Clementina dejó de funcionar, y el Instituto de Cálculo recién volvió a tener una computadora entrados los años 80.

Durante el gobierno militar se creó la Comisión Nacional de Estudios GeoHeliofísicos (CNEGH) y uno de sus principales institutos, el Observatorio Nacional de Física Cósmica de San Miguel (ONFCSM). Dentro del observatorio surgió un grupo de Ciencias de la Computación que incluyó investigadores como Armando Haeberer, Eduardo Sontag, Gregorio Chaitin, entre otros. En el grupo se iniciaron actividades de investigación y desarrollo de lenguajes y compiladores produciéndose un primer compilador en 1972.

En 1973, terminado el período de gobierno militar, surgieron varios proyectos industriales nacionales para la construcción de equipamiento informático. A nivel académico, se inició un proyecto para ampliar los estudios de grado en Computación en la UBA hacia una Licenciatura, que se concretó recién en 1983. En 1976 las Fuerzas Armadas tomaron nuevamente el poder, se cerró el Observatorio de San Miguel y se frustraron los proyectos industriales informáticos. Sin embargo, como resultado de la promoción de las importaciones, se incrementó el número de equipos de computación existentes en el país y se expandió el campo profesional. Esta demanda de profesionales informáticos favoreció la apertura de nuevas carreras de grado en Ciencias de la Computación como las de la Universidad Nacional de San Luis y de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil.

En 1983 asumió la presidencia el Dr. Raúl Alfonsín con un plan de desarrollo científico, tecnológico e industrial. El gobierno fijó entre sus prioridades el desarrollo de la Informática. Para dirigir el proceso de impulso de las nuevas ciencias y tecnologías, se nombró al Dr. Sadosky director de la Secretaría de Ciencia y Técnica (SECyT) de la Presidencia de la Nación. En 1984, la SECyT

formó la Comisión Nacional de Informática. Entre las recomendaciones de esta Comisión surgió el Plan Nacional de Informática. Las dos actividades principales del plan fueron el Programa Argentino Brasileño de Investigación y Estudios Avanzados en Informática (PABI) y la Escuela Superior Latinoamericana de Informática (ESLAI).

El PABI comprendía la realización de proyectos de investigación con participantes de ambos países, el intercambio de investigadores, la realización de encuentros científicos, y la organización de Escuelas para universitarios. La carencia de grupos consolidados en la Argentina hizo que el programa se enfocara fundamentalmente en la formación de recursos humanos. Como resultado, la realización de las Escuelas Argentino Brasileñas de Informática (EBAI) fueron su actividad más importante. En total se realizaron seis EBAIs hasta la desaparición del PABI en 1995, a las que asistieron en total unos 2000 estudiantes que recibieron formación en temas de punta de las Ciencias de la Computación. De igual importancia sería la colección EBAI de aproximadamente sesenta libros originales en portugués y castellano desarrollados a partir de las notas de estudio de los cursos dictados.

La ESLAI fue fundada en el año 1986 como un centro de excelencia en docencia universitaria e investigación en informática para la región de Latinoamérica y el Caribe. Mediante la ESLAI se pretendía elevar el nivel de los sistemas regionales de formación profesional, superando el atraso del sector. A mediano plazo, la ESLAI debía constituir una Escuela de Posgrado. En 1988 se produjo la graduación de todos los alumnos de la primera cohorte. Al año siguiente se produjo la segunda promoción. De los 59 alumnos que constituyeron estas dos primeras cohortes, egresaron 54. Lamentablemente sólo estas dos cohortes, de las cuatro que ingresaron a la Escuela, pudieron completar su ciclo regularmente, ya que la ESLAI cerró sus aulas en 1990 pese al apoyo de toda la comunidad académica nacional y de numerosos empresarios.

En 1994 comenzó un nuevo esfuerzo de promoción y mejora de la enseñanza universitaria en general, que tuvo un impacto importante en las Ciencias de la Computación: el Fondo para la Mejora de la Calidad en la Enseñanza de Grado de las Ciencias (FOMEC). El diseño del proyecto se inició en 1994 y se concretó al año siguiente, financiado con un crédito del Banco Mundial. Para establecer un diagnóstico previo se realizó un relevamiento de la situación en que se encontraban las universidades nacionales en cada disciplina. Los resultados indicaron claramente el estado de atraso en que se encontraba la Informática. Tres universidades habían iniciado carreras de doctorado con dirección externa (la UBA, la UNSL y la UNS), pero estas carreras no tenían más de dos años de existencia y, por consiguiente, ningún graduado. En muy pocas universidades había grupos de investigación con producción científica. El FOMEC financió 15 proyectos de fortalecimiento en universidades con carreras de informática que

permitieron mejorar el equipamiento y las bibliotecas, pero fundamentalmente promovieron una importante actividad de formación de recursos humanos. En el marco de estos proyectos, se financiaron los estudios doctorales en el exterior de muchos alumnos, mientras que otros completaron sus estudios doctorales en el país gracias a la visita de profesores extranjeros. Se realizaron también doctorados *sandwichs* con dirección compartida entre una universidad nacional y otra extranjera, mediante estadías de uno o dos años en el exterior.

Durante este período se graduaron los primeros doctores en Ciencias de la Computación del país (el primero en 1996 en la Universidad de San Luis, el segundo en 1997 en la Universidad de Buenos Aires). A partir de allí, la producción de doctores se ha acelerado y ha alcanzado un ritmo sostenido, a la vez que comenzó a haber directores de tesis locales.

El país cuenta en la actualidad con más de 200 doctores en Ciencias de la Computación gracias, entre otros motivos, a que inicialmente egresados de la ESLAI se insertaron en el sistema después de haber terminado sus estudios doctorales en el exterior, al efecto de los proyectos financiados por el FOMEC y, en los últimos años, a la formación de doctores en el país. Asimismo, el crecimiento de las Ciencias de la Computación en el país ha permitido a sus investigadores ingresar al CONICET, cuyos estándares de evaluación los excluían hasta poco tiempo atrás. En la última década el avance a un ritmo cada vez más veloz de la informática a nivel mundial se ve reflejado a nivel nacional. El área de TICS en general es reconocida por el gobierno nacional como un área estratégica y recibe impulsos a través de distintas acciones (por ejemplo, llamados especiales para proyectos de investigación, número adicional de becas CONICET).

El plan de reinserción Bicentenario implementado en el 2010 permitió el regreso de numerosos investigadores al país, incluyendo algunos en el área de Ciencias de la Computación. Más recientemente, se ha implementado el Proyecto de Mejoramiento de la Enseñanza en Carreras de Informática (PROMINF) que abarcan las TICS en general, y se ha impulsado el desarrollo de la informática en los distintos niveles de la educación nacional con proyectos como Conectar Igualdad, Program.ar y Vocaciones en TIC.

Grupos de Trabajo

De los grupos de investigación encuestados en la ETIC (encuesta realizada por el Ministerio), más del 80% desempeñan sus actividades en 36 universidades públicas nacionales. Los grupos de los centros de investigación o las unidades asociadas del CONICET conforman el 11% de los encuestados, mientras que los grupos en los organismos de CyT, como el INTA, INTI y la CNEA, alcanza sólo el 8%. El gráfico 4.1, extraído de la encuesta ETIC muestra su distribución

geográfica. Los datos se correlacionan con los datos de la EP (encuesta propia realizada en el marco de este informe).

La gran mayoría de los grupos son de muy reciente formación (el 76% de los grupos han sido conformados a partir del año 2000). El periodo comprendido entre los años 2007-2012 con un promedio de 26 grupos creados por año.

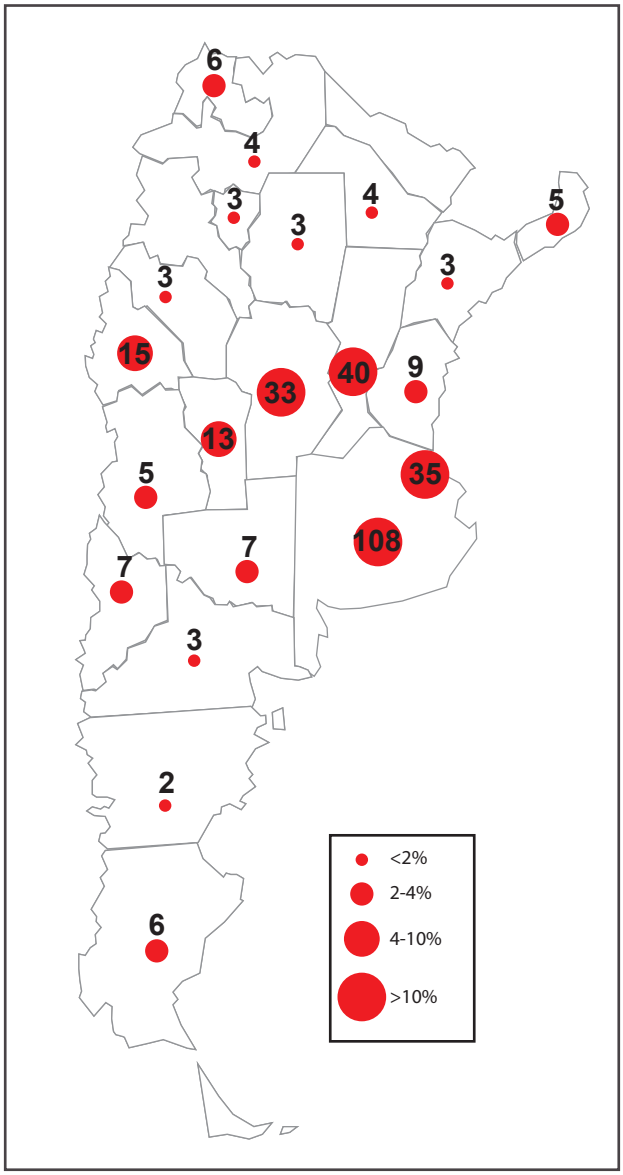


Gráfico 4.1. Distribución geográfica de grupos de investigación en TIC.

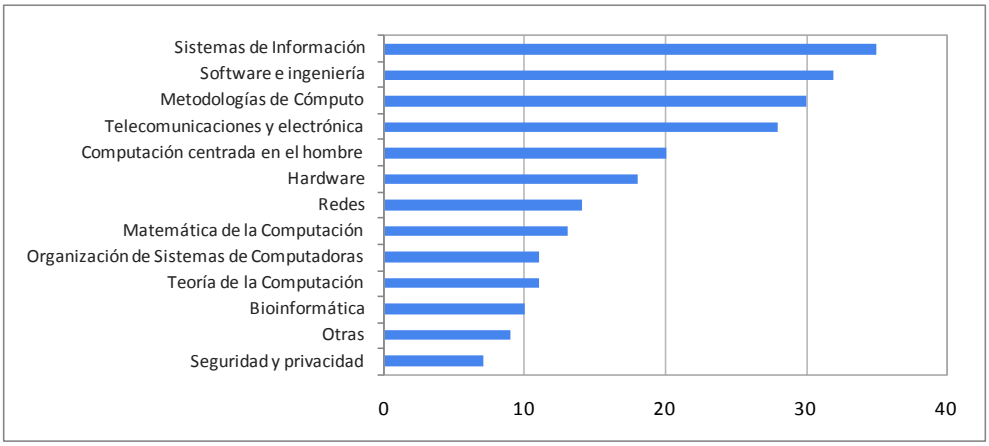


Gráfico 4.2. Cantidad de grupos por sus temas de investigación. *Fuente*: ETIC.

El gráfico muestra que la ETIC incluye, efectivamente, grupos de investigación con temáticas que exceden de la definición del área que intentamos cubrir en esta encuesta (por ejemplo, Telecomunicaciones y electrónica; Hardware, Bioinformática, etc). La EP nos ayuda a clasificar grupos con mayor granularidad y se enfoca en temas más centrales de Ciencias de la Computación.

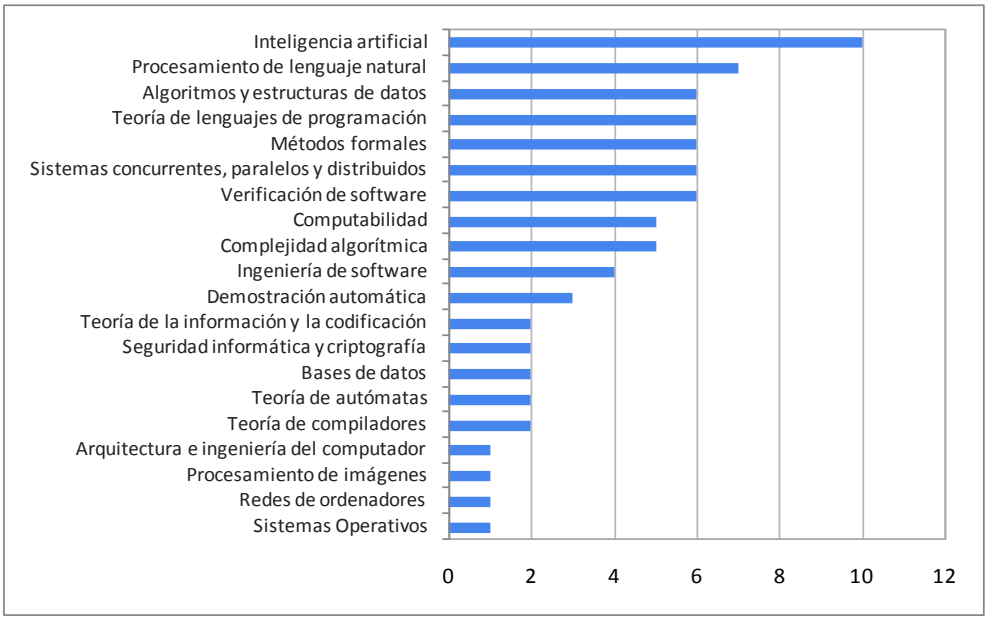


Gráfico 4.3. Cantidad de grupos por sus temas de investigación. *Fuente*: EP.

El siguiente gráfico obtenido de la EP muestra la composición promedio de los grupos de investigación.

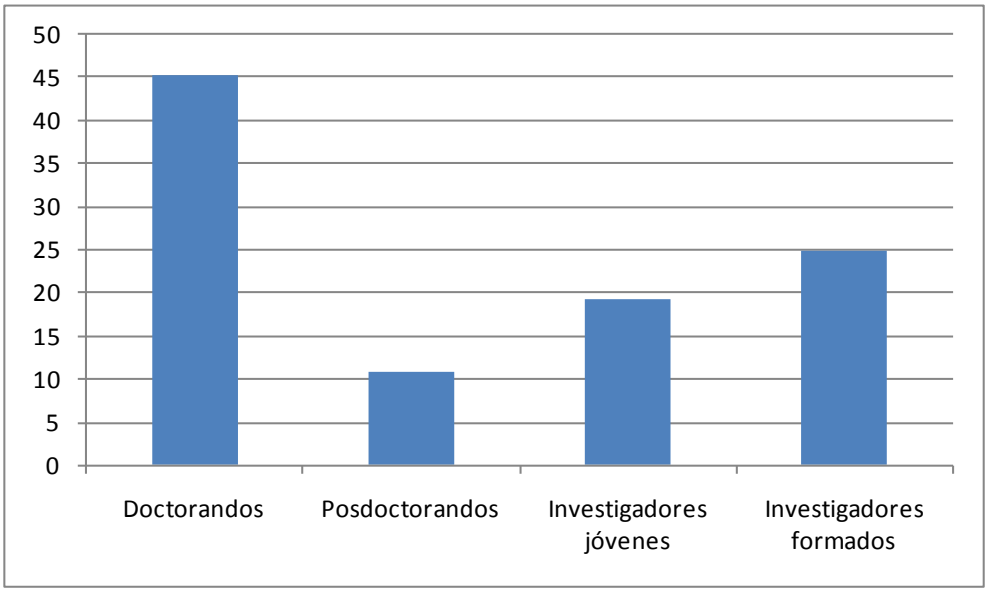


Gráfico 4.4. Porcentajes de la composición promedio de los grupos de investigación. *Fuente*: EP.

Dentro de la política de expansión de CONICET en relación a la creación de Unidades Ejecutoras (UEs), cabe señalar que en 2015 existen cinco UEs vinculadas directamente a distintas temáticas de Ciencias de la Computación que se describen a continuación:

Centro Internacional Franco-Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas (CIFASIS).

Ubicado en Rosario, la institución creada en 2007 es la primera unidad ejecutora del CONICET dedicada a la investigación y el desarrollo en el área de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). En el CIFASIS se generan conocimientos en las áreas de: análisis de datos de sistemas dinámicos complejos y en series temporales no lineales; data mining y sus aplicaciones en bioinformática; procesamiento de imágenes y señales; aplicaciones informáticas en agricultura de precisión, modelado y simulación de sistemas dinámicos; ingeniería de software y procesamiento de datos multimedia, entre otros. Recientemente fue reconocido como laboratorio internacional asociado al Centro Internacional de Investigación Científica de Francia.

Instituto Superior de Ingeniería del Software (ISISTAN).

Ubicado en Tandil, la institución creada en 2011 es un centro de investigación de excelencia en el área de Ingeniería de Software, y puede considerarse la primera UE cuyo foco disciplinar es la Informática. Cuenta con dos grupos de investigación distinguidos (Grupo de Agentes Inteligentes y Gestión de Conocimiento y Grupo de Ingeniería de Software), y nuclea un nutrido grupo de investigadores y becarios de CONICET. El ISISTAN desarrolla actividades de investigación y desarrollo en el área de Ciencias de la Computación, destacándose en las áreas de Ingeniería de software, *grid computing*, inteligencia artificial, *data mining* y gestión del conocimiento.

Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional (SINC(i)).

Ubicado en Santa Fe, este instituto es una UE de doble dependencia con la Universidad Nacional del Litoral, creado como tal en octubre de 2014. El SINC(i) se desenvuelve en tres grandes áreas: inteligencia computacional (disciplina que en las últimas décadas emergió de la tradicional inteligencia artificial), procesamiento de señales e imágenes, y sistemas complejos (donde se estudia la interacción entre individuos en el contexto de grupos en ambientes con cambios impredecibles). Desde una perspectiva integrada, la investigación se orienta al procesamiento de señales y al modelado de sistemas como herramientas de representación de la información, para el análisis y el posterior reconocimiento de patrones mediante el desarrollo de algoritmos inteligentes.

Instituto de Ciencias de la Computación (ICC).

Ubicado en Capital Federal, este instituto es una UE de doble dependencia CONICET y UBA que fue creado en 2014 para funcionar en el ámbito del Departamento de Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. El ICC tiene como objetivo principal promover e impulsar las tareas de investigación científica y tecnológica en el ámbito de las Ciencias de la Computación. El instituto cuenta con más de 30 investigadores formados desempeñándose en áreas de Algoritmos, Complejidad, Lógica, Lenguajes de programación, Investigación operativa, Inteligencia artificial, Computación científica, Ingeniería de software, Imágenes y Robótica.

Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación (ICIC).

Ubicado en Bahía Blanca, el Instituto de Ciencias e Ingenierías de la Computación (ICIC) fue creado en 1994 y funciona como Unidad Ejecutora de doble dependencia CONICET-Universidad Nacional del Sur (UNS) desde febrero de 2015. El instituto tiene su sede física en dependencias del Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación de la UNS y está integrado por 16

investigadores de CONICET y de CIC, así como docentes-investigadores de la UNS, junto con 20 becarios.

En la actualidad, sus investigadores y becarios desarrollan las líneas de investigación que comprenden temáticas relacionadas a: Inteligencia artificial, Computación gráfica, Visualización, Sistemas distribuidos, Bioinformática, Ingeniería de software, Sistemas embebidos.

Los objetivos del ICIC son el desarrollo de actividades de investigación y desarrollo tecnológico en las diversas áreas de las Ciencias e Ingeniería de la Computación, contribuir a la formación de recursos humanos especializados brindando el ámbito requerido por los correspondientes Programas de Posgrado de la disciplina, promover al mejoramiento de educación en todos los niveles de enseñanza, participar en proyectos interdisciplinarios en colaboración con otras instituciones locales, nacionales e internacionales y promover la transferencia de conocimiento al medio productivo.

Infraestructura y Financiación

Del relevamiento realizado mediante la EP, surge que el principal problema actual entre los grupos de investigación en Argentina es la escasez de espacio físico para albergar a los investigadores y becarios. Las Ciencias de la Computación constituyen un área de muy reciente formación en el país, pero se encuentra en un proceso de desarrollo cada vez más acelerado. Como emerge de los números extraídos de la ETIC presentados en la sección anterior, el número de investigadores y becarios se incrementa rápidamente y los grupos no cuentan con espacios para albergarlos.

También se menciona la falta de recursos económicos para movilidad que permita la participación en congresos nacionales e internacionales, y la realización de estadías y reuniones de colaboración con otros grupos de investigación. Los precios de viajes y estadías en el extranjero se han incrementado mucho en los últimos años. Si bien las montos de viáticos diarios permitidos por los distintos tipos de financiación nacionales han sido actualizados consistentemente, los montos totales asignados a movilidad no se han incrementado en forma acorde y, en comparación, permiten realizar menos viajes. Por las mismas razones, resulta difícil recibir investigadores extranjeros interesados en realizar estadías en Argentina. Los grupos encuestados en la EP con mayor interacción con el extranjero dependen, principalmente, de financiación internacional para llevar a cabo los objetivos de colaboración.

Los grupos encuestados reportan la falta de recursos humanos como otro tema prioritario que debe ser subsanado, indicando la dificultad de conseguir alumnos de doctorado y posdoctorado, cargos de investigación en CONICET y

posiciones en universidades. Los sueldos atractivos de la industria de software local (altos en comparación con otras áreas del mercado) quitan atractivo al ingreso al doctorado y la permanencia en la academia. La gran disponibilidad de becas de universidades extranjeras para realizar doctorados en Ciencias de la Computación motivan a los alumnos a dejar el país. Factores como la juventud del área y la política de publicación estándar, dificultan el acceso a posiciones en CONICET y universidades. Discutiremos más en detalle estos puntos en la sección Formación de recursos humanos.

Consistentemente, los grupos encuestados han informado que el equipamiento existente es, en general, adecuado, salvo en el caso de grupos dedicados a temas que requieren gran inversión en hardware como los de computación de alta performance. También se menciona que los principales problemas son estructurales (por ejemplo, interconectividad, acceso a internet, mantenimiento de clusters de computadoras). El acceso a bibliografía actualizada no se indica como problemático. En el área de las Ciencias de la Computación existe una cultura extendida de difusión online, la mayoría de los investigadores nacionales e internacionales posee páginas en las que se da acceso a sus publicaciones y muchas de las conferencias principales del área publican en sus páginas los *proceedings* del evento. Las universidades cuentan, además, con acceso electrónico a las principales revistas científicas del área. El siguiente gráfico muestra el grado de importancia que los grupos encuestados mediante la EP asignaron a los distintos factores.

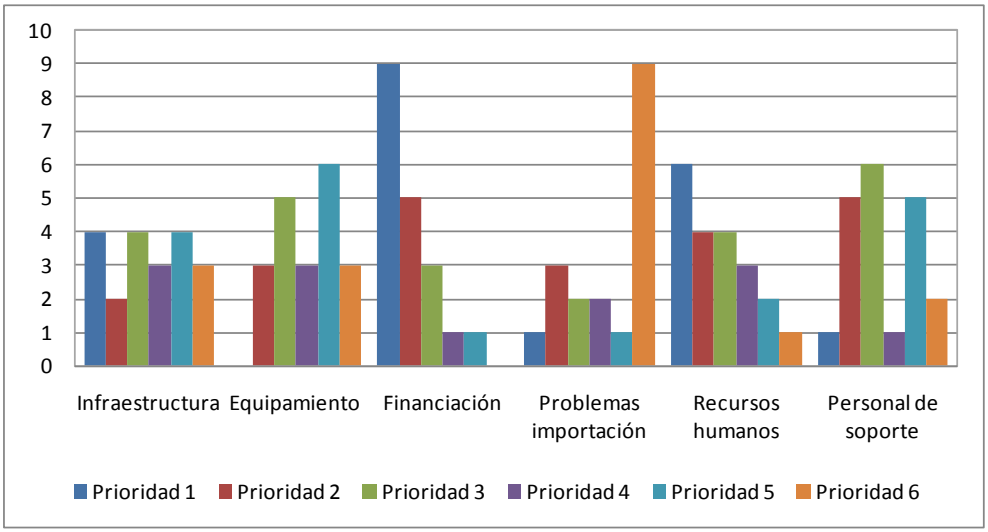


Gráfico 4.5. Para cada uno de los 6 escollos listados se indica la cantidad de veces que se identificó el problema respectivo como altamente importante (Prioridad 1), hasta poco importante (Prioridad 6). *Fuente*: EP.

El gráfico muestra que los principales problemas son financieros, seguidos de problemas de falta de recursos humanos y de infraestructura. En los comentarios especificos recibidos en la EP el tema de mayor recurrencia fue la falta de espacio físico, seguido de los problemas de movilidad y falta de recursos humanos, en ese orden.

Los grupos encuestados por la ETIC informaron haber realizado 808 proyectos durante 2012. Más de la mitad de ellos realizaron entre 2 y 5 proyectos y cerca del 40% sólo realizó uno. Considerando los montos de los presupuestos de los proyectos, el 46% contó con un presupuesto entre $5.000 y $50.000, y un 20% entre $50.000 y $200.000. El 15% de los proyectos tuvieron presupuesto mayor a $200.000 y 19% se realizaron con menos de $5.000 o sin un presupuesto asignado. Sólo el 2% de los proyectos superó el millón de pesos de presupuesto. El 85% de los grupos contó con el apoyo de las universidades, seguidas por el ANPCyT (25%), el CONICET (18%) y de otros organismos de ciencia y tecnología (18%). Un 10% de los proyectos tuvo financiamiento internacional proveniente de agencias de cooperación y otras instituciones. El financiamiento otorgado por empresas nacionales y extranjeras es escaso, alcanzando sólo el 4% y 2% de los grupos de investigación, respectivamente.

En la EP se recabó información acerca de las fuentes de financiamiento. El siguiente gráfico muestra la cantidad de grupos que respondieron haber recibido financiación de ANPCyT, CONICET, universidades y otras fuentes nacionales.

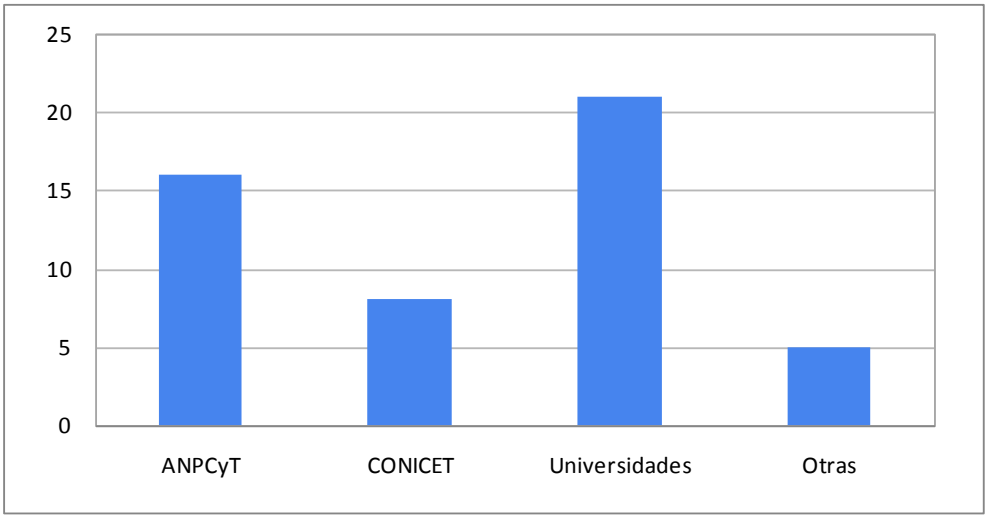


Gráfico 4.6. Fuentes de financiación de los proyectos de investigación. Se indica la cantidad de grupos que declaran haber haber obtenido proyectos financiados de cada fuente respectiva. *Fuente*: EP.

Los montos usuales asociados a las distintas fuentes de financiamiento difieren en órdenes de magnitud. Mientras que el financiamiento proveniente de las universidades es accesible a la mayoría de los grupos de investigación, se trata de montos bajos (cercanos a los $15.000 pesos anuales). CONICET y FONCyT proveen financiamiento más importante (alrededor de los $200.000 pesos anuales) pero la competencia por estos fondos es difícil, especialmente para grupos pequeños o de reciente formación. En general, sólo grupos establecidos y con buenos contactos de colaboración pueden acceder a los fondos internacionales que, gracias a que están financiados en moneda extranjera, pueden superar los $500.000 pesos anuales. Esta situación representa un impedimento para el desarrollo de nuevas áreas en Ciencias de la Computación en el país. El 57% de los grupos encuestados en la EP declaró haber recibido financiación de fuentes internacionales durante los últimos 5 años. Las principales fuentes mencionadas son: Google, IBM, INRIA, CNRS, Unión Europea (FP7, acción Marie Curie), Association for Computational Linguistics, STIC-AMSUD, National Science Foundation, The Simons Foundation, John Templeton Foundation, National University of Singapore, Dagstuhl Schloss, Microsoft, Yahoo Labs, ECOS-Sud, PRES Sorbonne y NVIDIA Inc.

Sobre la base de información obtenida directamente del FONCyT, obtenemos el siguiente cuadro de financiación de proyectos PICT en el área de Tecnología Informática de las Comunicaciones y Electrónica que incluye las Ciencias de la Computación (no se proveyó información correspondiente al año 2009).

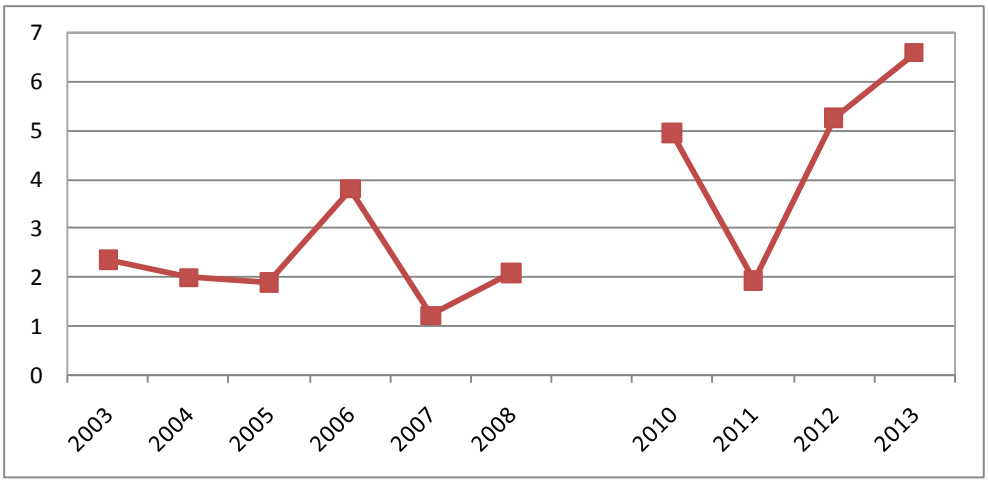


Gráfico 4.7. Financiamiento del FONCyT destinado a proyectos PICT en el área de Tecnología Informática de las Comunicaciones y Electrónica, expresado en millones de pesos. *Fuente*: FONCyT.

Resulta extraño el valor del año 2011 donde la financiación baja abruptamente, pero al menos los valores de los últimos dos años demuestran un incremento importante en los fondos dedicados a las Ciencias de la Computación mediante financiamiento PICT respecto de años anteriores.

Producción científica argentina

En esta sección se presenta un análisis de las publicaciones científicas realizadas por investigadores argentinos en los últimos diez años.

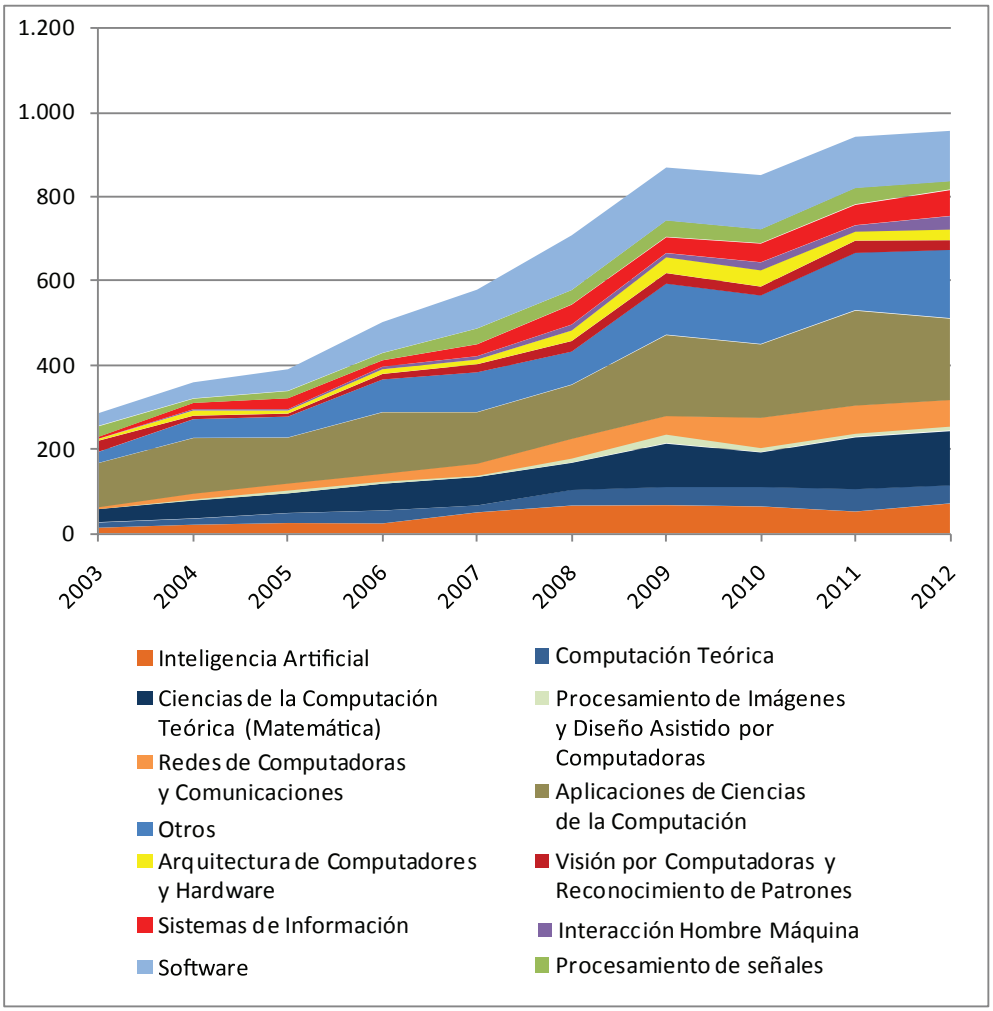
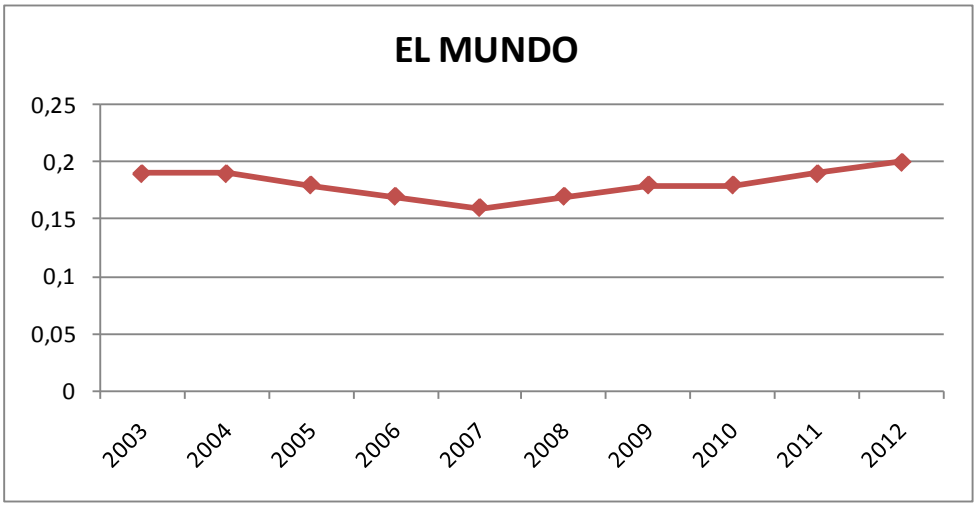
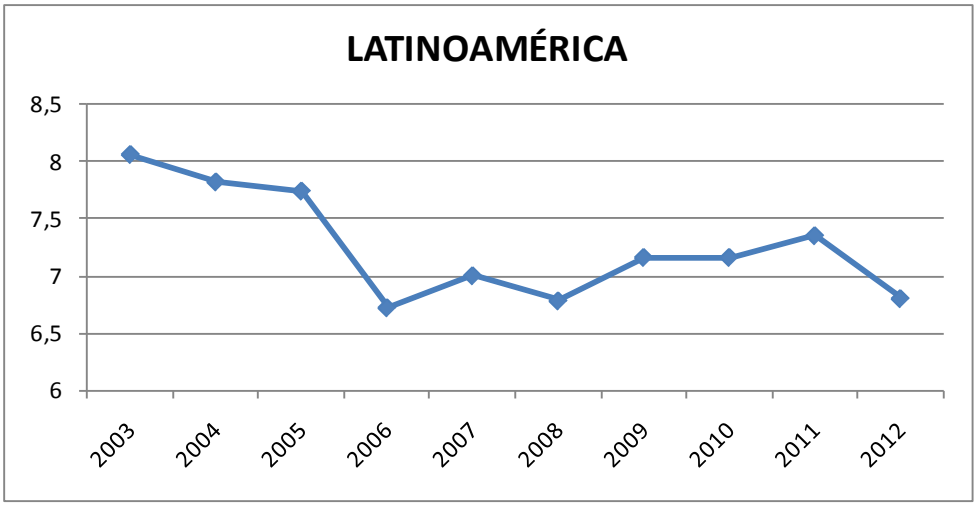


Gráfico 4.8. Cantidad total de artículos con autores argentinos en revistas indexadas, en diversas especialidades, para el lapso 2003-2012. *Fuente*: SCImago.

Es interesante notar que SCImago lista una categoría de Computación Teórica y otra de Ciencias de la Computación Teórica como una de las subáreas de Matemática, que constituye un porcentaje relativamente importante de las publicaciones del área. Sin embargo, no es posible determinar qué porcentaje de los artículos publicados aparecen en ambas categorías.

Los gráficos 4.9 ilustran la producción argentina en porcentaje entre los años 2003 y 2012, con relación a la correspondiente al mundo y a la producción latinoamericana.





Gráficos 4.9. Porcentaje de artículos con autores argentinos con respecto al total mundial y latinoamericano en el período 2003-2012. *Fuente*: SCImago.

El porcentaje de publicaciones realizadas por Argentina en relación a las publicaciones totales realizadas en todo el mundo se mantiene estable en aproximadamente el 0,20% de la producción. En comparación la contribución de Brasil a la producción mundial ha crecido del 0,50% en 1996 a 1,59% en el 2012.

El siguiente gráfico muestra la producción de artículos en el área clasificada por universidades. Los números se corresponden con los centros que poseen grupos de investigación reconocidos. Es interesante notar también el incremento en el número de publicaciones entre el período 2004-2008 y el 2008-2012 que muestra el crecimiento del área.

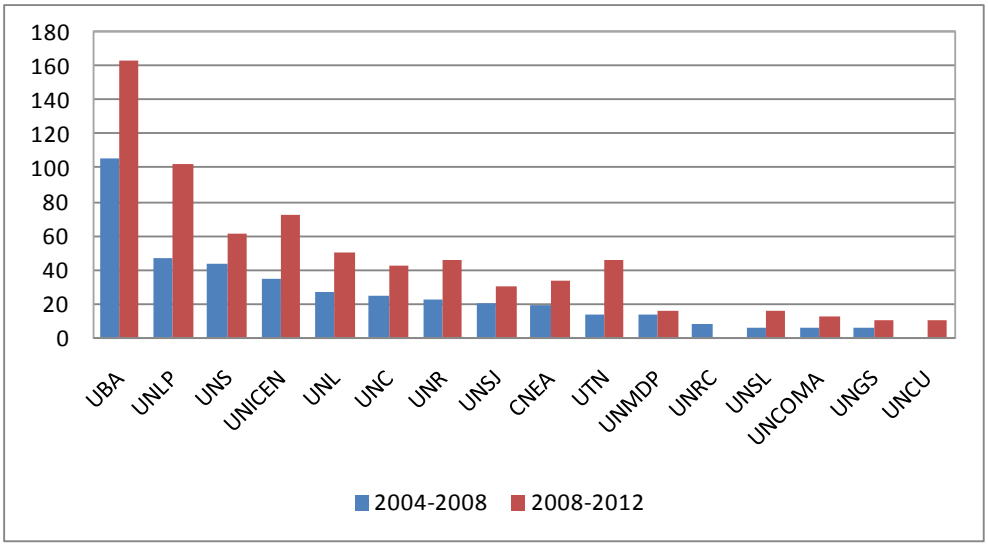


Gráfico 4.10. Producción científica discriminada por afiliación institucional de los autores para los períodos 2004-2008 y 2008-2012. *Fuente*: RICyT.

En el siguiente gráfico comparamos la producción en Ciencias de la Computación en Argentina, con otros países latinoamericanos y del mundo. Los valores están normalizados por millón de habitantes económicamente activos.

El gráfico muestra una clara delantera por parte de Chile que ha impulsado, desde hace años, distintas políticas de estímulo para la investigación en Ciencias de la Computación que claramente están dando resultados. Una comparación entre la producción argentina con otros países del mundo muestra la importante desventaja en que se encuentra nuestro pais actualmente. La desventaja es notoria aún en comparación con China, un país que incrementa cada vez más su producción científica pero que, en esta comparación, se normaliza por su gran número de habitantes económicamente activos.

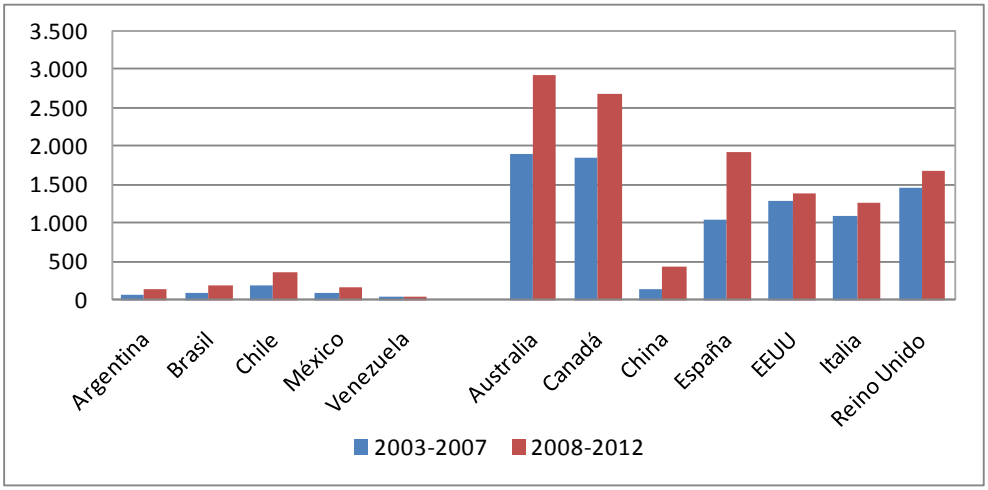


Gráfico 4.11. Número total de artículos por millón de habitantes económicamente activos, período 2003-2007 y 2008-2012. *Fuentes*: SCOPUS y Banco Mundial.

El siguiente gráfico muestra el número de citas promedio en el período 2003-2007, para intentar enfocarnos en los artículos que han tenido la oportunidad de recibir citas.

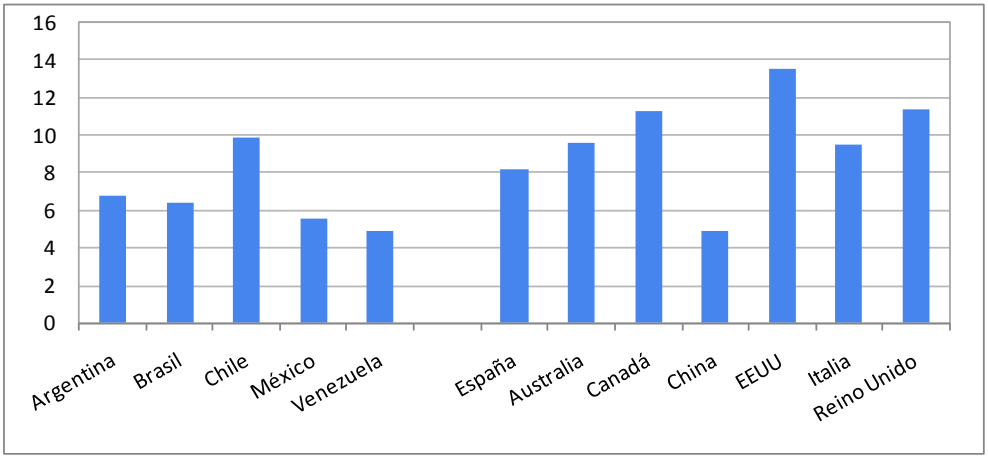


Gráfico 4.12. Número de citas promedio por artículo anual (excluidas autocitas) de cada país incluido en la comparación. Período analizado: 2003-2007. *Fuente*: SCOPUS.

Podemos ver que Argentina aparece en segundo lugar, detrás de Chile, en América Latina, y con un promedio de citas aceptable en comparación con otros países del mundo.

El siguiente gráfico muestra la cantidad de artículos publicados con colaboración internacional en el período 2003-2014 clasificados en tres áreas (los datos provistos por el RICyT no tenían mayor granularidad). Puede notarse un incremento importante en la colaboración en los últimos años y un desarrollo del área de Biología Computacional. Sin embargo los datos son escasos.

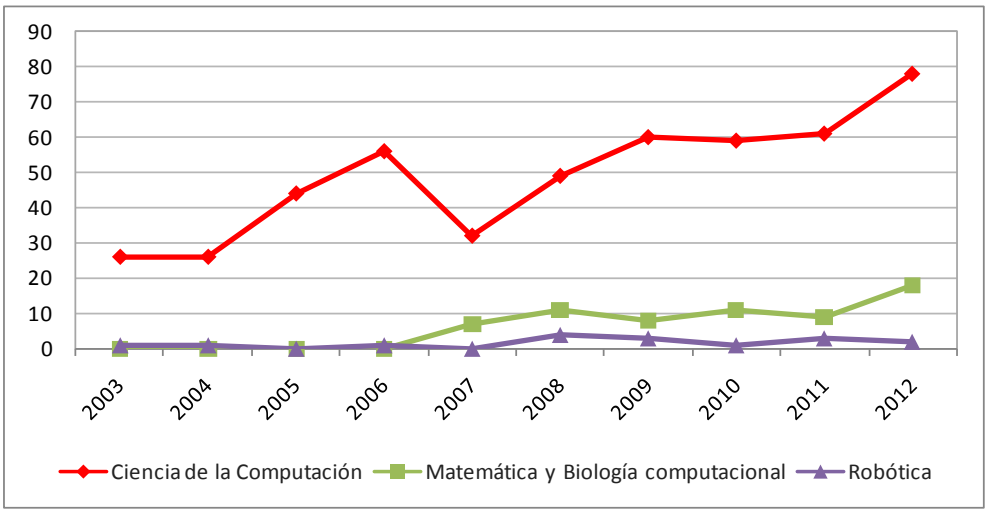


Gráfico 4.13. Cantidad de artículos por área, generados en colaboración con investigadores de otros países. *Fuente*: RICyT.

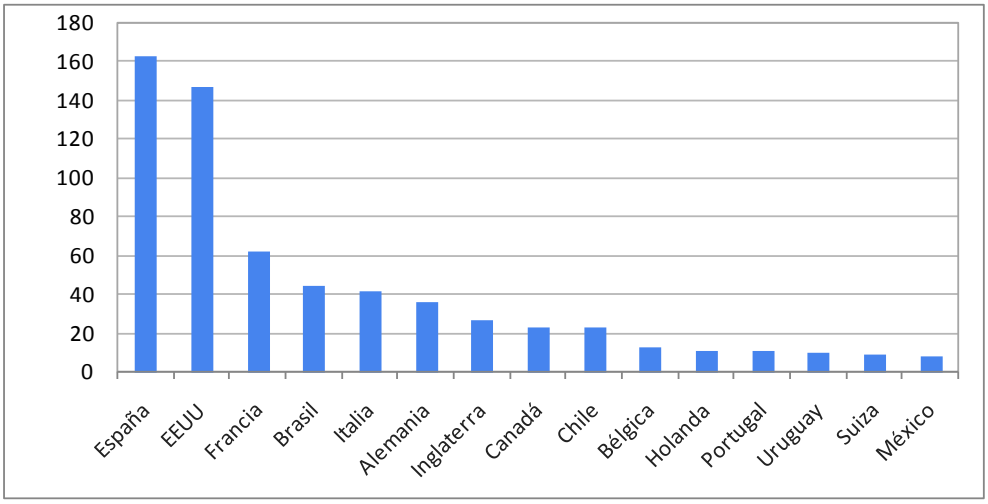


Gráfico 4.14. Cantidad de artículos en colaboración con los países con los cuales Argentina ha establecido mayores índices de colaboración, en el período 2003-2012. *Fuente*: RICyT.

En el gráfico 4.14 se muestra el número total de artículos publicados en colaboración internacional del período 2003-2012, clasificado por país. Los países que aparecen con mayor colaboración, España, EEUU, Francia, Brasil, Italia y Alemania, coinciden con los países con los que los grupos entrevistados en la EP declaran tener colaboración.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Se examinó la cantidad de investigadores jóvenes y formados cuyas líneas de investigación se encuadran en alguna de las subdisciplinas analizadas en este informe. Se definió como investigador joven a los Investigadores Asistentes de la Carrera de Investigador Científico y Técnico del CONICET e investigador formado a aquellos que revistan en el resto de las categorías de CONICET (Adjunto, Independiente, Principal y Superior) y a los investigadores I y II del programa de Incentivos Docentes ingresados al banco de especialistas del CONICET.

La base de especialistas de CONICET lista 125 investigadores en las disciplinas de Informática y Comunicaciones (IC) y Desarrollo Tecnológico y Social (DTS), filtrando solo aquellos que indiquen disciplina desagregada en Informática. Aproximadamente el 60% deben considerarse como investigadores jóvenes, no formados según la clasificación indicada anteriormente. Debe notarse que se listan solo 19 investigadores que trabajan en las Ciencias de la Computación con cargos de Independiente, Principal o Superior. En comparación encontramos 439 investigadores de estas categorías en Biología, 350 en Física, 103 en Matemática y 62 en Astronomía.

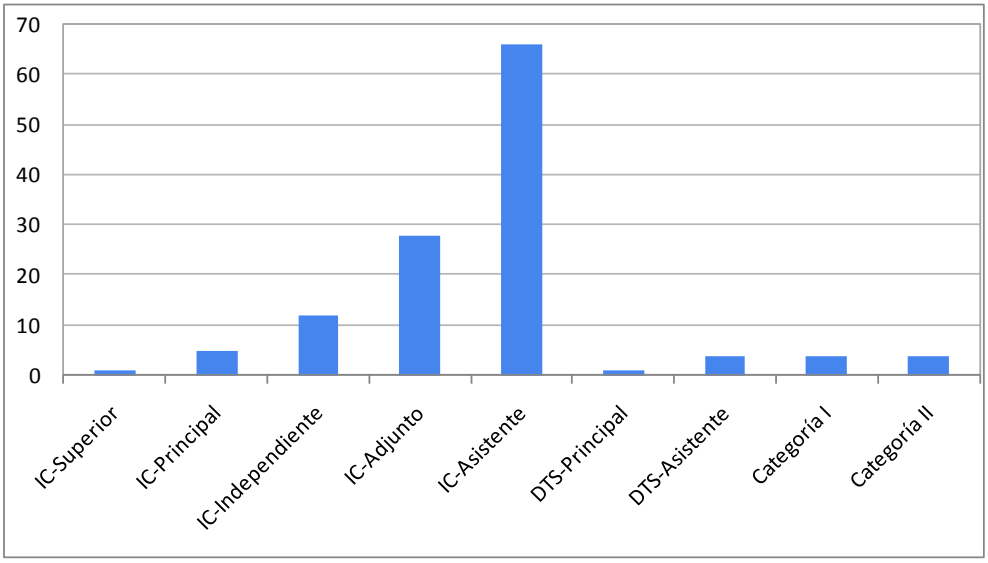


Gráfico 4.15. Cantidad de investigadores según clasificación de la base de especialistas de CONICET, año 2014. *Fuente*: CONICET.

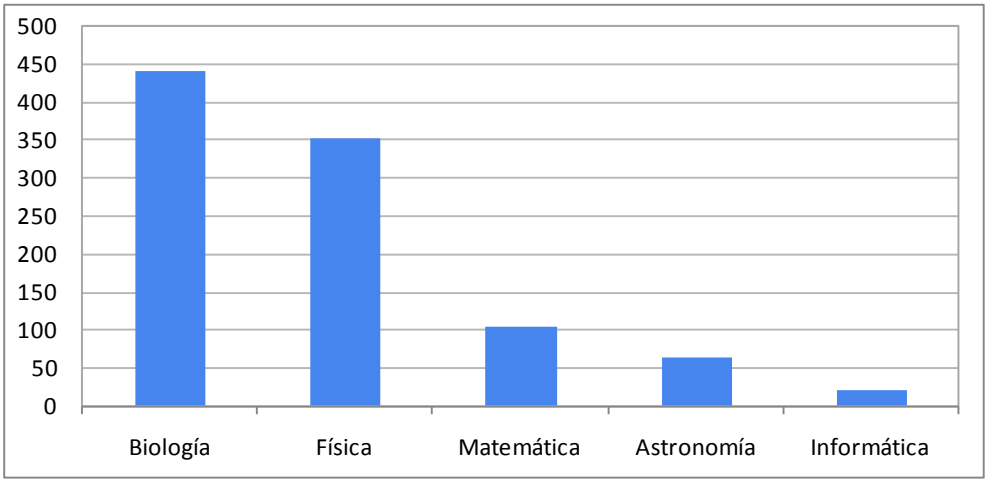


Gráfico 4.16. Cantidad de investigadores Independientes, Principales y Superiores por disciplina. *Fuente*: CONICET.

El número de graduados en el área de TICs en las universidades argentinas muestra un leve incremento en los últimos años, como se ve en el gráfico 4.17, después de haber experimentado una baja importante en los años 2006 y 2007 (no se obtuvieron datos para 2005).

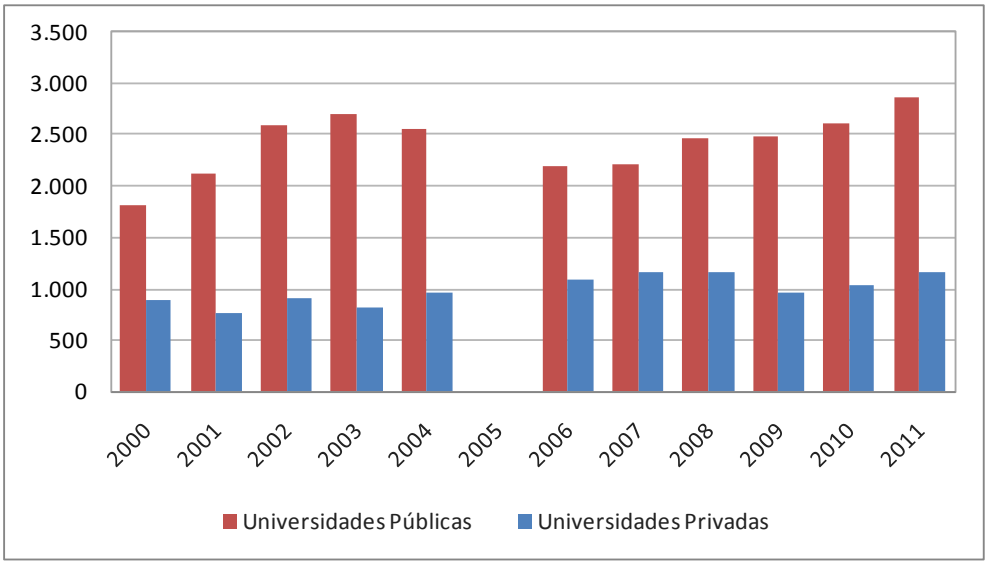
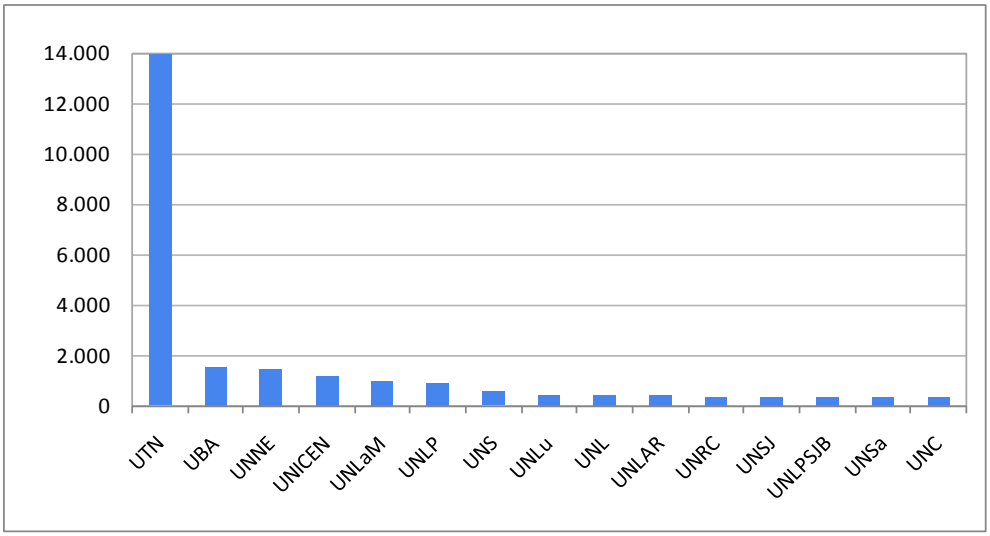
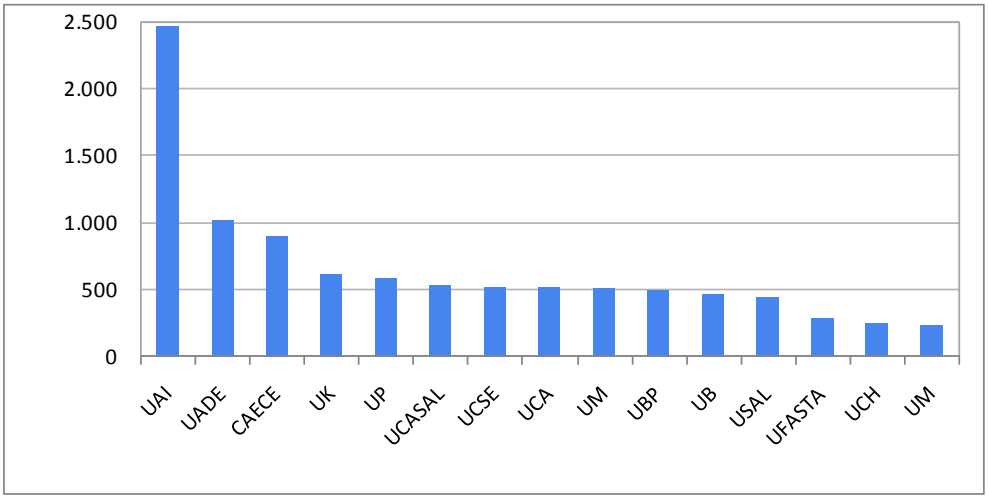


Gráfico 4.17. Evolución de la cantidad de egresados de grado en instituciones públicas y privadas, en los últimos doce años. *Fuente*: Anuarios de Estadísticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación.

Es difícil identificar qué porcentaje de los graduados en carreras de informática corresponden al área de Ciencias de la Computación según la definición de este informe, ya que existen diferencias entre las currícula de las distintas universidades y no existe ni siquiera una nomenclatura uniforme para las distintas carreras de grado, donde encontramos, por ejemplo, las carreras de Licenciado en Ciencias de la Computación, Licenciado en Informática, Licenciado en Comunicaciones, etc.





Gráficos 4.18. Total de egresados de grado de las principales universidades, públicas y privadas, en el período 2000-2011. *Fuente*: Anuarios de Estadísticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación.

Los números que se obtienen del Anuario llaman la atención principalmente por la enorme diferencia en el número de graduados entre la Universidad Tecnológica Argentina y las demás universidades. Además, muestran un número de graduados en TICs que no concuerda con los números provistos por el Observatorio Permanente de la Industria del Software y Servicios Informáticos, de la Cámara de Empresas de Software y Servicios Informáticos de la República Argentina, a partir de información obtenida de la Secretaría de Políticas Universitarias mostrada en el gráfico 4.19. El gráfico compara la demanda de expertos en TICs requerida por la industria y las empresas, con el numero de graduados en carreras de grado y pregrado en TICs.

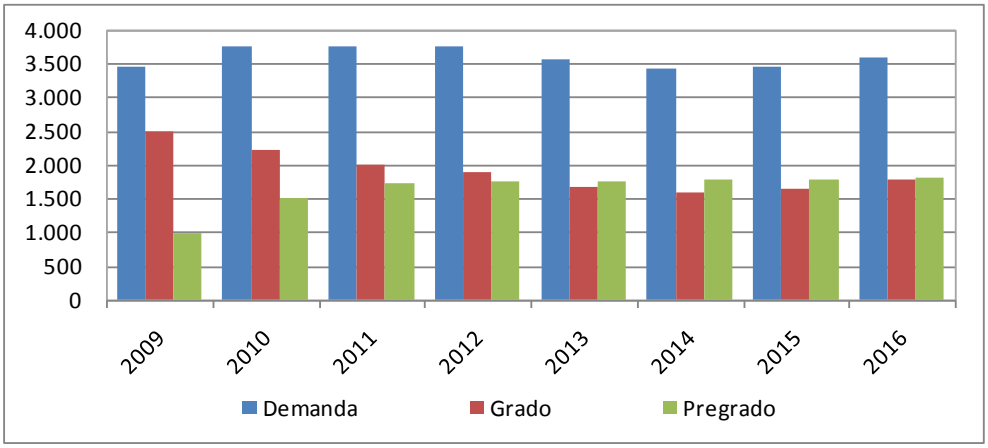


Gráfico 4.19. Cantidad de expertos requeridos comparada con el número de graduados. *Fuente*: Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación.

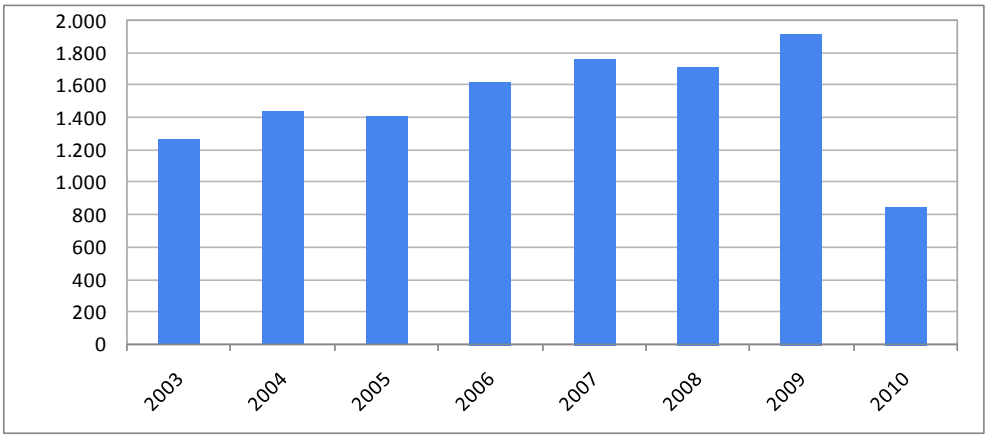


Gráfico 4.20. Egresados de grado de carreras de TICs acreditadas para el período 2003-2010. *Fuente*: CONEAU.

A partir de los datos provistos por la CONEAU sobre carreras de doctorado en Ciencias de la Computación, obtenemos el siguiente gráfico donde se ve un claro aumento en el número de doctores graduados en los últimos años, después de una caída importante en 2007 y 2008.

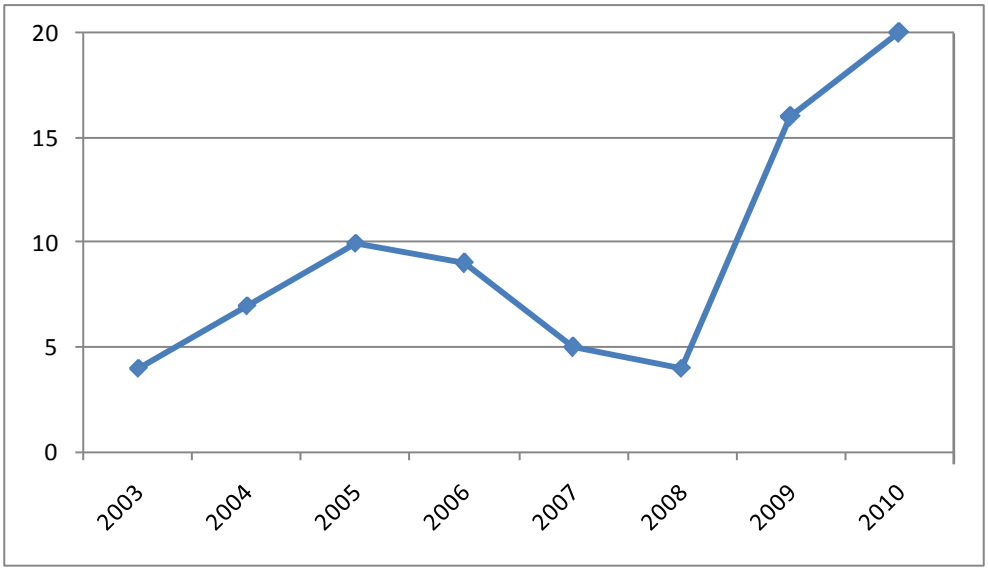


Gráfico 4.21. Evolución del número de egresados de carreras de doctorado ente 2003 y 2010. *Fuente*: CONEAU.

Dos escuelas en Ciencias de la Computación que se realizan en el país desde hace más de 25 años tienen un rol importante en la formación de grado y posgrado del país:

La Escuela de Ciencias Informáticas (ECI)

La ECI se lleva a cabo anualmente desde el año 1987 en el Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Tiene como objetivo ofrecer a alumnos, graduados y profesionales del medio, cursos intensivos de alto nivel de especialización y actualización, sobre temas que habitualmente no se dan en las carreras de grado. Los cursos son dictados por prestigiosos profesores de diversas instituciones, extranjeras y nacionales, lo cual permite brindar a los participantes enfoques variados de los temas tratados y la oportunidad de establecer vínculos de cooperación académica, así como incentivar las actividades de investigación y desarrollo. Coincidiendo con un esfuerzo nacional para crear una capacidad científica y tecnológica propia en el área de informática, la ECI intenta promover la

formación de nuevas generaciones de investigadores y profesionales. A las distintas ediciones de la ECI han concurrido entre 350 y 800 participantes, incluyendo estudiantes de universidades de Argentina y de países limítrofes. La realización de la escuela es posible gracias a la colaboración de profesores e investigadores de universidades y centros de investigación y desarrollo extranjeros y nacionales, al aporte de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, y al apoyo financiero brindado por empresas privadas e instituciones. Se han realizado también en ediciones anteriores exposiciones de software, equipamiento y libros, tendientes a mejorar el intercambio tecnológico y profesional entre industria y universidad.

La Escuela de Verano de Ciencias Informáticas (RIO)

La RIO se realiza anualmente desde 1994 durante el mes de Febrero, organizada por el Departamento de Computación, de la Facultad de Ciencias Exactas Físico-Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Los cursos son dictados por especialistas, docentes e investigadores de primer nivel, tanto del país como del extranjero. A estos cursos han asistido profesionales, docentes, alumnos de instituciones educativas de todo el país y de países limítrofes. El objetivo de la escuela es brindar a los alumnos y docentes de otras universidades nacionales y a toda la comunidad informática, cursos intensivos y breves de actualización y especialización dictados por docentes e investigadores de primer nivel. La escuela pone al alcance de los participantes, una visión amplia y diversa del campo de las Ciencias Informáticas y facilita el intercambio académico con otras casas de estudio.

Ambas escuelas brindan la oportunidad a alumnos e investigadores en el área de Ciencias de la Computación de tomar contacto con la comunidad nacional e internacional. Para muchos alumnos de Ciencias de la Computación, estas escuelas son la primera oportunidad para interactuar con otros alumnos con intereses similares del país y países limítrofes, y con investigadores internacionales.

SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS

Sociedad Argentina de Informática e Investigación Operativa (SADIO)

Es una de las sociedades científicas más relacionada con las Ciencias de la Computación en la Argentina. La SADIO fue creada en 1960 y tiene como objetivos identificar, unificar y extender el conocimiento de las ciencias y las técnicas del tratamiento de la información y la práctica de métodos objetivos y cuantitativos de decisión; se incluyen como disciplinas participantes a la Investigación Operativa, el Estudio de los Sistemas, la Informática y la Estadística.

La SADIO también tiene como objetivo estimular el contacto entre los profesionales que realicen actividades relacionadas con las disciplinas mencionadas, como así también el libre intercambio de experiencias entre ellos y los de otros países. Con tal fin organiza anualmente la Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (JAIIO), incluyendo un simposio sobre temas de investigación en Ciencias de la Computación e Informática para la formación de estudiantes universitarios avanzados, reunión de investigadores y actualización de profesionales.

Fundación Sadosky

Es una institución creada en el año 2009 que cumple un rol importante para el desarrollo de las Ciencias de la Computación y sus aplicaciones en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Argentina. La Fundación Sadosky es una institución público privada cuyo objetivo es favorecer la articulación entre el sistema científico tecnológico y la estructura productiva en todo lo referido a la temática de las TIC.

La Fundación fue creada por el Poder Ejecutivo Nacional, y es presidida por el ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Sus vicepresidentes son los presidentes de las cámaras más importantes del sector TIC: La Cámara de Empresas de Software y Servicios Informáticos (CESSI) y la Cámara de Informática y Comunicaciones de la República Argentina (CICOMRA).

Desde abril de 2011, cuenta con una estructura ejecutiva orientada a implementar distintos programas para mejorar la calidad de la producción científica nacional y vincularla con la industria con el objetivo de fortalecer la estructura productiva.

Red de Universidades con Carreras de Informática (RedUNCI)

La RedUNCI se constituyó formalmente a través de un convenio firmado en Noviembre de 1996 en la Universidad Nacional de San Luis, durante la segunda edición del Congreso Argentino de Ciencia de la Computación (CACIC) con la participación de cinco universidades nacionales (UNSL, UBA, UNLP, UNCPBA y UNS). En 1997 se incorporaron las Universidades de Comahue y Río IV y posteriormente han adherido muchas otras. A partir del año 2003 se han registrado también adhesiones de universidades privadas.

El objetivo principal de la Red es coordinar actividades académicas relacionadas con el perfeccionamiento docente, la actualización curricular y la utilización de recursos compartidos en el apoyo al desarrollo de las carreras de Ciencias de la Computación e Informática en Argentina, para establecer un marco de colaboración para el desarrollo de las actividades de postgrado en Ciencias de la Computación e Informática de modo de optimizar la asignación y el aprovechamiento de recursos.

Bajo los auspicios de la RedUNCI, se organiza anualmente el CACIC. Desde 1995 este congreso reúne a investigadores, docentes, profesionales y alumnos de grado y postgrado vinculados con las Ciencias de la Computación. El Congreso cubre diferentes ramas del conocimiento a través de la organización de workshops, coordinados por expertos en los temas de cada área. Se presentan trabajos científicos evaluados por investigadores del país y del exterior. También bajo el auspicio de la Red, se publica el *Journal of Computer Science and Technology* (JCS&T) que mencionamos en la siguiente sección.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS Y DIVULGACIÓN DE LAS CIENCIAS

Nuestro relevamiento no ha mostrado revistas científicas nacionales de importancia en el área de las Ciencias de la Computación. La única revista de cierta trayectoria es el *Journal of Computer Science & Technology* que se publica semi anualmente desde 1999. Esta revista está editada bajo el auspicio de la RedUNCI. Es una revista internacional de acceso abierto, donde los artículos reciben revisión de pares y pretende promover la difusión de experiencias de investigación y aplicación tecnológica en las áreas de Ciencias de la Computación, Ingeniería y Sistemas de Información.

Sus temas específicos de interés son: procesamiento concurrente, paralelo y distribuido, inteligencia artificial, procesamiento de imágenes y voz, software de calidad y métricas, educación asistida por computadora, comunicaciones inalámbricas, procesamiento en tiempo real, computación evolutiva, bases de datos y recuperación de la información y redes neuronales. La revista está indexada por Latindex, *The Intute Consortium*, DOAJ, Thomson Gale y *EBSCO Publishing*, y no lista su factor de impacto .

La casi totalidad de la producción científica de los grupos de investigación encuestados se encuentra publicada en conferencias y revistas internacionales. La publicación a nivel nacional posee escasa visibilidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En vista de lo expuesto anteriormente, en esta sección se resume la situación del área y se hacen recomendaciones con vistas a mejorarla.

Este informe incluye una síntesis de la historia de la informática en Argentina, extraída del trabajo del Profesor Jorge Aguirre, con el objetivo de intentar explicar la situación actual del área en el país. Tanto la baja cantidad de investigadores formados en la plantilla de CONICET como su composición y distribución en los diferentes centros se explica en gran medida por estos antecedentes. El proceso casi ininterrumpido de crecimiento en los últimos 20 años es un indicio de buena salud del área, aún cuando la masa crítica de investigadores es todavía claramente insuficiente. Si el proceso continúa en la misma dirección y ritmo, es factible que en la próxima década se pueda consolidar una masa crítica de investigadores formados que pueda generar un salto cualitativo en la producción científica y de RRHH capacitados en el país. La situación actual, aún cuando los datos accesibles son escasos, no siempre precisos y en algunos casos incluso contradictorios, es de una gran diversidad y expansión en el territorio. Sin embargo, como mencionamos anteriormente, debe notarse que los datos generados por la encuesta ETIC del MINCyT exceden el área de las Ciencias de la Computación y muestran un gran número de grupos de investigación cuya producción es incipiente y en numerosos casos de calidad despareja. La encuesta propia EP, por otra parte, intenta ser un relevamiento puntual de grupos de investigación establecidos existentes en el país, realmente dedicados a las Ciencias de la Computación.

Formación e inserción de jóvenes investigadores

La industria informática, tanto a nivel nacional como internacional, está experimentando un desarrollo de tal magnitud en el área de las Ciencias de la Computación que la demanda de recursos humanos supera ampliamente los profesionales formados actualmente.

En el panorama nacional, concretamente, la falta de recursos humanos se traduce en una fácil inserción en la industria de los profesionales formados, con buenas posibilidades salariales. Como consecuencia, desde el punto de vista académico, se hace difícil atraer a estudiantes de doctorado en el área de las Ciencias de la Computación en el país; la competencia con la industria y con doctorados en el exterior es muy alta. Lo mismo sucede con docentes

e investigadores formados, que encuentran en la industria, y también en universidades del extranjero, una alternativa atractiva a los problemas de escalafón de las universidades nacionales.

Los departamentos de Ciencias de la Computación en la mayoría de las universidades nacionales son pequeños y de reciente formación y no cuentan con posibilidades adecuadas de crecimiento ni desde un punto de vista de espacio físico, ni respecto a la posibilidad de contratar nuevos recursos humanos. Es necesario impulsar medidas que permitan su crecimiento si se desea impulsar el área.

Publicaciones

Desde hace varios años se encuentra instalada en el área una discusión acerca de sus metodologías de publicación. Muchas subdisciplinas de las Ciencias de la Computación poseen una fuerte tradición de publicación de artículos completos en conferencias y congresos altamente competitivos y con requisitos de aceptación elevados. Por ejemplo, las conferencias más prestigiosas en ciertas subdisciplinas poseen un porcentaje de aceptación de sólo un 10-15%. Esto hace que este tipo de reuniones científicas sean consideradas tan competitivas como las revistas más importantes del área. Por ejemplo *CiteSeer, Scientific Literature Digital Library* auspiciada por NSF, Nasa, MSR y otras, muestra en su ranking de impacto de revistas y conferencias a las dos revistas más importantes de Ingeniería de software en posiciones 32 y 136, mientras que algunas de las conferencias importantes del área están en posiciones 28, 42, 43, 48, 128, etc. Un reporte realizado para la Computer Research Association (CRA) de EEUU discute cómo las características particulares de Ciencias de la Computación hacen que la publicación en revistas no pueda ser considerada como el único parámetro de excelencia y argumenta la importancia de la publicación en conferencias en Ciencias de la Computación. La CRA luego ha generado para el National Research Council de EEUU un listado de las conferencias que deben ser tenidas en cuenta como equivalentes a revistas de prestigio para la evaluación de personas y programas. Lo mismo se ha hecho en otros países como Brasil, Australia, Italia, etc.

Las Ciencias de la Computación son, además, un área muy joven y de un desarrollo vertiginoso. No existen, por lo tanto, revistas establecidas de larga trayectoria como existen en otras áreas, y los largos tiempos de revisión y publicación, característicos de las publicaciones en revistas, no se adaptan al ritmo de avance del área.

El siguiente fragmento del artículo *Research Evaluation for Computer*

Science, Meyer et al, 2009, Vol. 52, No. 4 de la Communications of the Association for Computing Machinery, discute las particularidades de las políticas de publicación en Ciencias de la Computación en comparación con otras áreas, haciendo referencia particularmente a la indexación de revistas ISI:

> *Evidence of ISI's shortcomings for Computer Science (CS) is its "internal coverage": the percentage of citations of a publication in the same database. ISI's internal coverage, over 80% for physics or chemistry, is only 38% for CS. [...] Its 50 most cited CS references include "Chemometrics in food science", from a "Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems" journal. Many CS entries are not recognizable as milestone contributions. The cruelest comparison is with CiteSeer, whose Most Cited list includes many publications familiar to all computer scientists; it has not a single entry in common with the ISI list. ISI's "highly cited researchers" list includes many prestigious computer scientists but leaves out such iconic names as Wirth, Parnas, Knuth and all the ten 2000-2006 Turing Award winners but one. [...] In assessing publications and citations, ISI Web of Science is inadequate for most of CS and must not be used. Alternatives include Google Scholar, CiteSeer, and (potentially) ACM's Digital Library".*

Creemos que la evaluación a través de pares que realicen una valoración global que incluya no solo publicaciones tanto en revistas como en conferencias de reconocido nivel internacional, sino también de visibilidad internacional, dirección y colaboración en proyectos de investigación, formación de recursos humanos, etc., es fundamental.

Calidad de la formación de recursos humanos

Del relevamiento realizado en el presente informe se desprende que existe en Argentina un número pequeño pero creciente de grupos de investigación en Ciencias de la Computación con un buen desempeño académico, y con miembros que son considerados expertos de calidad internacional. Estos grupos sólo cubren un pequeño número de las subdisciplinas relevantes en la actualidad. Se hace por ello todavía fundamental la participación y colaboración de expertos extranjeros que permita promover sudisciplinas no desarrolladas a nivel nacional y el dictado de los contenidos necesarios.

Las siguientes actividades pueden tener un impacto directo sobre este problema:

Todos los años se realizan en Argentina las escuelas de invierno y de verano en Ciencias de la Computación (ECI en Buenos Aires y RIO en Córdoba, respectivamente) que proponen cursos dictados por investigadores de nivel internacional. Estos no son solo reconocidos como cursos optativos de las carreras en Ciencias de la Computación en distintas universidades nacionales, sino que han sido el origen de numerosos temas de tesis, pasantías en el extranjero, colaboraciones, etc. Tanto la ECI como la RIO, tienen amplia experiencia en la organización de estos eventos, y una buena convocatoria. Recomendamos la financiación de estas dos escuelas, y de actividades similares.

Argentina resulta un destino turístico interesante, y el buen nivel en investigación en las Ciencias de la Computación también la definen como un destino académico atractivo. Sería importante capitalizar estas dos características, para impulsar el país como un punto de realización de congresos y escuelas internacionales en Ciencias de la Computación. Los investigadores argentinos poseen los contactos y la experiencia como para llevar a cabo este tipo de proyectos. Las complicaciones son principalmente financieras y logísticas.

En una línea menos ortodoxa, pero que puede resultar de gran impacto, recomendamos la utilización de cursos online, como los existentes en coursera.org, como parte de la formación en carreras de Ciencias de la Computación. El nivel de alguno de estos cursos es excelente, y muchos están dictados por reconocidos expertos internacionales.

Es indiscutible el impacto que la ESLAI tuvo en las Ciencias de la Computación en Argentina. Debería considerarse seriamente un proyecto moderno que aspirara a resultados similares, quizás a nivel de posgrado. Muchas de las carreras en Ciencias de la Computación del país tienen un nivel muy alto, pero falta un entorno fuertemente académico donde los estudiantes con este perfil encuentren más fácil su camino.

Formación de recursos humanos en el extranjero

Es necesario todavía formar recursos humanos en el extranjero, pero ofrecer simplemente becas de doctorado en el exterior requiere demasiado financiamiento y no asegura el retorno y reinserción en el país. En el área de Ciencias de la Computación existen además numerosas ofertas de financiamiento externo. Un programa de becas posdoctorales en el país específicamente diseñado y promovido para atraer a recursos formados en el exterior, más la oferta de facilidades para la obtención de financiamiento de investigaciones para estos posdoctorados podrían facilitar su reinserción en la academia argentina.

También sería importante promover que los doctorandos en formación en el país realicen estadías cortas en el extranjero. Estas estadías pueden tener un efecto determinante para atraer nuevos doctorandos. La perspectiva de una estadía en el extranjero puede compensar parcialmente los montos relativamente bajos de las becas de doctorado en comparación con los salarios pagados por la industria. Si bien el impacto formativo de estas *internships* es diverso, este tipo de actividades permite que los doctorandos se inserten en el área a nivel internacional y generen contactos propios que hagan más sostenible su trabajo científico en Argentina.

Vinculación academia-industria

El presente informe muestra que la vinculación academia-industria en el área de Ciencias de la Computación en el país es todavía escasa. Es importante desarrollar medidas que la impulsen. Un ejemplo de medidas que creemos acertadas fue la creación de entidades como la Fundación Sadosky. La Fundación es una institución público privada que trabaja activamente en la articulación academia-industria mediante la coordinación de diferentes programas.

La promoción de pasantías en la industria podría beneficiar tanto las carreras de grado como de posgrado y el desarrollo de áreas de investigación aplicada. Actualmente existen sistemas de pasantías a nivel de grado con buenos resultados, sin embargo su rol académico podría ser más interesante para los estudiantes si las universidades aceptaran un informe de una pasantía como trabajo final de grado equivalente a una tesina de investigación. Las pasantías de posgrado a nivel nacional no están difundidas actualmente salvo excepciones. Estas se realizan casi exclusivamente en el extranjero, lo cual muestra la inmadurez de la industria nacional en el área. Existen programas a nivel nacional para tratar de subsanar este problema como el programa de Doctores en la Industria de la Fundación Sadosky que deberían ser impulsados.

Áreas de excelencia

Sería provechoso realizar un plan a mediano y largo plazo que identifique y promueva áreas de excelencia que, por un lado, actúen en sinergia con los temas ya desarrollados por grupos de investigación en el país, y que por otro lado, permitan el desarrollo de nuevas temáticas críticas. Sería razonable tomar en cuenta las tendencias tecnológicas predominantes en el universo más amplio de las TIC, para establecer los temas relevantes que deberían ser motivo

de especial atención en las Ciencias de la Computación. De este modo, aún cuando la frontera es difusa y cambiante, avanzar en dichos temas aumenta la posibilidad de conocer y obtener capacidades en temas que serán críticos en la industria y la sociedad en el mediano plazo. Como mencionamos anteriormente, en la actualidad y presumiblemente en los próximos años, entre las tecnologías que marcan la tendencia principal en el área se encuentran el procesamiento y análisis de datos masivos, *Big Data*, y la *Internet of Things*. Estos desafíos tecnológicos están dando lugar a nuevos temas de investigación, a la vez que proveen una mirada renovada sobre otros, notablemente la Inteligencia artificial. Sería un buen ejercicio tomar este paquete tecnológico y analizar cuáles son los desafíos que se infieren para las Ciencias de la Computación a partir de ellos.

Hasta el momento, el impulso al área se ha hecho de manera generalista, es decir, todo buen candidato y todo buen proyecto recibe financiamiento dentro de los fondos existentes. Esta política puede continuarse durante algún tiempo, pero es importante definir los temas de investigación y los perfiles de RRHH que son necesarios para el desarrollo tecnológico del país. Este tema se vincula con el de la industria del software nacional y las tensiones entre ella y la academia en relación con la captación de los RRHH; se trata de una cuestión de importancia mayor que no puede tratarse superficialmente, y que debería dar lugar a una reflexión conjunta entre ambos sectores y el gobierno nacional. La industria del software ha tenido y continúa teniendo un crecimiento notable (aún con la situación recesiva de los últimos años aumentó sus ventas en alrededor del 25%, exportaciones en 7,5% y empleo en 6%) pero sin embargo se trata de un sector que desarrolla productos y servicios tecnológicos de baja a mediana complejidad; de hecho, la proyección de la composición de su personal hacia 2020 muestra un 50% de estudiantes universitarios y sólo un 25% de graduados. Solamente una parte menor de las empresas genera productos más o menos complejos y produce innovaciones técnicas. La relación entre los grupos de investigación en Ciencias de la Computación con este segmento del sector empresario debería constituirse en un alianza que podría dar resultados muy importantes para el país.

Anexo Capítulo 4: Ciencias de la Computación

Grupos de Investigación que participaron de la encuesta propia

Centro de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional, de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral. Temas en los que trabaja el grupo: *Machine learning*, *Data mining*, Procesamiento de señales, Sistemas complejos.

Grupo de Fundamentos y Aplicaciones de la Lógica y la Programación, del Centro Internacional Franco-Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas (CIFASIS), Rosario. Temas en los que trabaja el grupo: Teoría de lenguajes de programación, Inteligencia artificial.

Grupo de GPGPU Computing (General-Purpose Computing on Graphics Processing Units), de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. Temas en los que trabaja el grupo: Sistemas concurrentes, paralelos y distribuidos.

Grupo de Investigación en Lenguajes e Inteligencia artificial, del Departamento de Teoría de la Computación, Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén. Temas en los que trabaja el grupo: Computabilidad, Teoría de lenguajes de programación, Inteligencia artificial, Teoría de autómatas, Teoría de compiladores, Complejidad algorítmica, Procesamiento del lenguaje natural.

Grupo de Lógica, Lenguaje y Computabilidad, del Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Capital Federal. Temas en los que trabaja el grupo: Computabilidad, Teoría de autómatas, Complejidad algorítmica.

Grupo de Procesamiento del Lenguaje Natural, de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. Temas en los que trabaja el grupo: Inteligencia artificial, Procesamiento de lenguaje natural.

Grupo de Herramientas Algorítmicas Avanzadas para Aplicaciones de Búsqueda en Internet, del Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Temas en los

que trabaja el grupo: Teoría de la información y la codificación, Algoritmos y estructuras de datos, Inteligencia artificial, Complejidad algorítmica.

Grupo de Sistemas Dependibles, de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. Temas en los que trabaja el grupo: Métodos formales, Verificación de software.

Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación (ICIC), Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. Temas en los que trabaja el grupo: Algoritmos y estructuras de datos, Métodos formales, Inteligencia artificial, Procesamiento de imágenes, Seguridad informática y criptografía, Sistemas concurrentes, paralelos y distribuidos, Bases de datos, Ingeniería de software, Verificación de software, Sistemas operativos.

Grupo de Investigación Operativa, Optimización combinatoria y Grafos, del Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Temas en los que trabaja el grupo: Algoritmos y estructuras de datos, Optimización combinatoria, Investigación operativa.

Instituto Superior de Ingeniería del Software (ISISTAN), de la Unidad Ejecutora del CONICET, Facultad de Ciencias Exactas, UNCPBA, Buenos Aires. Temas en los que trabaja el grupo: Inteligencia artificial, Ingeniería de software.

Grupo Knowledgeable Algorithms for Problems on Words (KAPOW), del Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Temas en los que trabaja el grupo: Computabilidad, Teoría de la información y la codificación, Algoritmos y estructuras de datos, Complejidad algorítmica.

Laboratorio de Inteligencia Artificial Aplicada, del Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Temas en los que trabaja el grupo: Inteligencia artificial, Procesamiento de lenguaje natural, Procesamiento del habla.

Laboratorio de Investigación y Formación en Informática Avanzada (LIFIA), Facultad de Informática, UNLP, Buenos Aires. Temas en los que trabaja el grupo: Ingeniería de software, Web semántica, Sistemas colaborativos.

Grupo Logics, Interaction and Intelligent Systems (LIIS), de la Facultad de Matemática, Astronomía, y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.

Temas en los que trabaja el grupo: Computabilidad, Algoritmos y estructuras de datos, Inteligencia artificial, Complejidad algorítmica, Demostración automática, Procesamiento del lenguaje natural.

Grupo Lógica y Reescritura para Lenguajes de Programación (LoReL), del Departamento de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes y Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Temas en los que trabaja el grupo: Teoría de lenguajes de programación, Métodos formales, Teoría de compiladores, Verificación de software, Demostración automática.

Grupo del Laboratorio de Sistemas Complejos (LSC) / Laboratorio Interdisciplinario de Computación de Alto Rendimiento (LICAR), del Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Temas en los que trabaja el grupo: Arquitectura e ingeniería del computador, Redes de ordenadores, Sistemas concurrentes, paralelos y distribuidos, Procesamiento del lenguaje natural, Simulación numérica.

Grupo de Métodos Formales de la Computación, de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física; Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. Temas en los que trabaja el grupo: Computabilidad, Teoría de lenguajes de programación, Métodos formales, Sistemas concurrentes, paralelos y distribuidos, Verificación de software, Filosofía y Computación.

Grupo de Métodos Formales e Ingeniería de Software, del Departamento de Computación, FCEFQyN, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba. Temas en los que trabaja el grupo: Teoría de lenguajes de programación, Métodos formales, Seguridad informática y criptografía, Sistemas concurrentes, paralelos y distribuidos, Ingeniería de software, Verificación de software, Demostración automática.

Grupo de Herramientas, modelos y mecanismos para la toma de decisiones en agentes artificiales inteligentes, del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC), Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis, San Luis. Temas en los que trabaja el grupo: Inteligencia artificial, Procesamiento del lenguaje natural.

Grupo de Semántica de la Programación, de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. Temas en los

que trabaja el grupo: Teoría de lenguajes de programación, Métodos formales, Verificación de software.

Grupo de Teoría de Grafos, del Departamento de Computación e Instituto de Cálculo, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Temas en los que trabaja el grupo: Algoritmos y estructuras de datos, Complejidad algorítmica.

CAPÍTULO 5
FÍSICA

Coordinador
Andrés J. Kreiner
CNEA, CONICET, UNSM, Buenos Aires

Colaboradores

Mario Renteria, UNLP, IFLP (CONICET-UNLP), La Plata
Jorge Tocho, CIOp (CONICET), La Plata
Eitel Peltzer, UNLP, La Plata
Antonio Ramírez Pastor, UNSL, INFAP (CONICET-UNSL), San Luis
Julio Benegas, UNSL, IMASL (CONICET-UNSL), San Luis
Silvia Pérez, UNT, San Miguel de Tucumán
Ingo Alekotte, CAB (CNEA), Río Negro
Guillermo Martí, Laboratorio Tandar (CNEA-GIyA), Buenos Aires
Martin Santiago, UCPBA, Tandil
Alberto Somoza, UCPBA, Tandil
Rafael Calvo, UNL, IFIS-Litoral (CONICET-UNL), Santa Fe
Pablo Mininni, UBA, IFIBA (CONICET), Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Norberto Castellani, UNS, IFISUR (CONICET), Bahía Blanca
Alberto Etchegoyen, ITeDa (CNEA-CONICET), Buenos Aires
Ana Maria Llois, UBA, CNEA, CONICET, Buenos Aires

Agradecimientos

El Coordinador agradece a los colaboradores por su ayuda, a todos los jefes de grupos de investigación quienes a través de sus respuestas a la encuesta permitieron obtener la información para desarrollar parte de este trabajo y a las instituciones que aportaron sus datos estadísticos.

METODOLOGÍA EMPLEADA

Además de las fuentes mencionadas en el Capítulo 1, con el fin de identificar aspectos importantes de la problemática relacionada con la investigación científica y tecnológica en el área (por ejemplo, tamaño, conformación y distribución geográfica de los grupos de investigación y desarrollo, fuentes de financiación, colaboración internacional, disposición a involucrarse en la resolución de problemas concretos de la realidad nacional, posibles contribuciones para la sustitución de importaciones, etc.), así como de indagar en la percepción y opinión de la comunidad científica sobre algunos problemas generalizados en este ámbito (por ejemplo, carencias en apoyo económico o infraestructura), se preparó una encuesta *ad hoc*. El coordinador general invitó a 19 físicos de diferentes centros (Jefes de Departamento o similares), procurando la representación de los centros más importantes del país, para que identificaran a los Jefes de Grupos de investigación en sus respectivos lugares de trabajo y les solicitaran completar la encuesta. Finalmente, 15 hicieron aportes lo que representa un porcentaje de participación del 79%. Se obtuvieron respuestas de 62 grupos activos de muchos de los centros de investigación en física más importantes del país, lográndose una buena participación parcial (no todos los grupos existentes respondieron).

La falta de algunas respuestas obedece probablemente a la sobrecarga de tareas burocráticas y administrativas que tienen los miembros de la comunidad (queja expresada en muchas de las encuestas) y a la frecuencia con la que se piden informes y carga de datos en diferentes bases. Estas respuestas fueron analizadas por el Coordinador General y los resultados están detallados en las secciones temáticas correspondientes. La responsabilidad de este informe y sus conclusiones recae en el coordinador.

En vista de lo apuntado más arriba, este informe no puede ser considerado exhaustivo y completo, pero si un punto de partida y una primera aproximación al estado de situación y perspectivas de la Física.

DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

Se incluyeron en el área Física, todas las especialidades que se cultivan en los departamentos de Física de universidades e institutos de investigación y desarrollo del sistema científico-tecnológico nacional. Estas son solo algunas de las especialidades identificadas a nivel internacional (ISI). Es ilustrativo listar la divisiones de la Asociación Física Argentina (AFA), la organización de carácter científico profesional creada en 1944, que agrupa a un buen número de los físicos del país (aproximadamente 1.100 profesionales), cubriendo buena parte de nuestra geografía con las siguientes filiales (en orden alfabético): Bariloche, Buenos Aires, Córdoba, La Plata, San Luis, Santa Fe, Sur (Bahía Blanca, Mar del Plata, Tandil), Tucumán. Estas filiales reflejan las mayores concentraciones geográficas de físicos en nuestro país. Las divisiones de la AFA son: Atmósfera, Tierra y Agua, Física Atómica y Molecular, Enseñanza de la Física, Física e Industria, Física Médica, Física Nuclear, Fluidos y Plasmas, Fotónica y Óptica, Fundamentos e Información Cuántica, Historia de la Física, Materia Condensada, Materia Condensada Blanda, Mecánica Estadística y Sistemas Complejos, Partículas y Campos. Algunos de estos nombres reflejan especialidades tradicionales en física que tienen una sólida representación (aunque el conjunto de temáticas abarcadas y representadas en nuestro país es mucho más amplia y se comentará más abajo) y otras reflejan actividades interdisciplinarias o que se sitúan en la interface con otras disciplinas (por ejemplo, Física de Sistemas Biológicos, Física Médica, Física Forense) o áreas de actividad relevantes social y económicamente (por ejemplo, Física e Industria). Estas actividades se consideran muy importantes pues conectan a la Física con necesidades y demandas de la sociedad.

La Física se cultiva en alrededor de una veintena de departamentos localizados en Facultades de Ciencias o Ingenierías de Universidades Nacionales, muchos de los cuales en los últimos años se han asociado con el CONICET para formar institutos que son unidades ejecutoras de ese organismo. En algunos casos coexisten en un mismo lugar geográfico varios institutos o unidades ejecutoras del CONICET que están agrupados en Centros de Desarrollo Científico y Tecnológico. Otros departamentos de Física o grupos se localizan en las grandes instituciones de Ciencia y Técnica del sistema científico-tecnológico nacional, como la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF).

Subdisciplinas incluidas

Se han incluido todas las subáreas de la Física, constituyendo un panorama muy vasto que cubre la mayor parte del espectro total de subespecialidades en Física. Se cubre la Física a escala del Universo (Cosmología, Astrofísica) hasta la Física de las Partículas Elementales y Campos, Física Nuclear, Física de Sistemas Complejos (biológicos, económicos, etc.), Física Atómica y Molecular, Física de la Materia Condensada, Fluidos y Plasmas, Fotónica y Óptica, Fundamentos e Información Cuántica, áreas interdisciplinarias (Física de Sistemas Biológicos, Neurociencia, Materiales, Física Médica, Física Forense, Enseñanza de la Física, Historia de la Física, Física e Industria), temas tecnológicos (micro y nanotecnología, energía, tecnología nuclear: reactores y aceleradores, tecnología satelital), etc.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

La Física (nombre que deriva del griego *physis* y que significa naturaleza) es una de las Ciencias Naturales (estudia ciertos fenómenos de la naturaleza) y se establece como una ciencia experimental moderna a partir del Renacimiento, si bien reconoce importantes antecedentes en la antigüedad clásica (Demócrito, Arquímedes y muchos otros). El concepto de ciencia experimental alude al intento de establecer una descripción matemática cuantitativa (inicialmente del movimiento de los cuerpos y de sus causas) que debe ser verificada a través de observaciones rigurosas y reproducibles (experimentos), y que está en la base del método científico moderno.

Durante los siglos XVI, XVII y XVIII tuvo lugar en Europa un avance conceptual muy importante conocido como revolución científica. Los desarrollos en Matemática, Física, Astronomía, Biología (incluyendo Anatomía humana) y Química transformaron profundamente los puntos de vista sobre la sociedad y la naturaleza. Quizás el hito más importante en Física y Astronomía fue el reconocimiento, por Copérnico (en 1543), del sistema planetario heliocéntrico en contraposición con el modelo geocéntrico heredado de Aristóteles y Ptolomeo. Galileo Galilei (1564-1642) hizo, con su telescopio mejorado, importantes observaciones astronómicas y desarrolló las leyes de caída de los cuerpos basado en experimentos cuantitativos pioneros. Kepler (1571-1630) elaboró (1609) sus leyes del movimiento planetario. Sobre estas bases Newton (1643-1727) publicó sus *Principia*, a modo de gran síntesis, en 1687. Además de desarrollar el cálculo infinitesimal y establecer la ley de gravitación universal, formuló las leyes que llevan su nombre y son la base de la mecánica que hoy conocemos como clásica.

A finales del siglo XIX, esta teoría había alcanzado un grado de sofisticación muy alto con aportes analíticos de físicos-matemáticos como Lagrange (1736-1813) y Hamilton (1805-1865), y podía describir adecuadamente todos los fenómenos mecánicos conocidos. La aplicación de las leyes de la mecánica y de conceptos probabilísticos a sistemas de muchas partículas permitió lograr finalmente una interpretación y comprensión en términos de los constituyentes microscópicos de un sistema (los que finalmente terminaron siendo átomos y moléculas) de cantidades como por ejemplo la temperatura, la presión y la entropía, desarrolladas en la así llamada termodinámica clásica. La primera versión fue la teoría cinética de la materia y uno de los primeros aportes relevantes fue hecho por Bernoulli (1738).

El siglo XIX vio un rápido desarrollo de esta teoría, a través de aportes de Avogadro (1776-1856), Joule (1818-1889), Clausius (1822-1888), Loschmidt

(1821-1895) entre otros, para desembocar en una versión mucho más poderosa llamada mecánica estadística asociada con nombres como Maxwell (1831-1879), Boltzmann (1844-1906) y Gibbs (1839-1903). Es interesante notar, sin embargo, que la teoría atómica y molecular de la materia no había logrado aceptación universal aún en 1905 cuando Einstein (1879-1955) hizo uno de sus memorables aportes sobre el movimiento browniano.

En paralelo a la Mecánica se desarrollaron otras ramas de la Física, a saber la Electricidad, el Magnetismo y finalmente la síntesis conocida como Electromagnetismo. Mientras la Mecánica estudia las propiedades de los cuerpos con masa, la Electricidad indaga sobre otra propiedad de la materia denominada carga eléctrica; estudia las fuerzas que se ejercen cuerpos cargados. La fuerza que actúa sobre una unidad de carga se denomina campo eléctrico. La unidad de carga es el Coulomb, en honor al físico francés de ese nombre, quien estableció en 1785 la ley que lleva su nombre y expresa matemáticamente la interacción entre dos cargas siendo esta proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas, una ley formalmente análoga a la ley de gravitación universal de Newton.

Previamente se había desarrollado la ciencia del magnetismo. Su origen se remonta al hallazgo, en la antigüedad clásica, de ciertas rocas en una región del Asia Menor llamada Magnesia, de cuyo nombre deriva la palabra magneto. Dos de estas rocas se atraían o repelían, según su orientación relativa. También se descubrió que una aguja de este material se orientaba en una cierta dirección si se la suspendía sobre la superficie terrestre; se formó así la base para un instrumento llamado brújula que permite la orientación a los navegantes. Este comportamiento sugirió la presencia de un campo de fuerzas alrededor de la tierra, llamado campo magnético, que actúa sobre los magnetos (o imanes). Oersted, un físico danés, encontró en 1813 que una corriente eléctrica produce también un campo magnético. Este descubrimiento resultó clave para comprender que los fenómenos eléctricos y magnéticos están íntimamente vinculados y constituyó un paso crucial en el desarrollo de la ciencia del electromagnetismo.

Otro físico francés, Ampere (1775–1836), encontró una ley que vincula el campo magnético con la corriente que lo genera. Como próximo paso Faraday (1791-1867) descubrió que un campo magnético variable en el tiempo es capaz de producir un campo eléctrico. Este fenómeno se denomina inducción electromagnética y forma la base de importantes tecnologías de la electrotecnia.

Finalmente, Maxwell completó las ecuaciones que rigen el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos proponiendo que un campo eléctrico variable produce un campo magnético. Las soluciones de este sistema de ecuaciones en el vacío llevan a ecuaciones de ondas cuya velocidad queda expresada en términos de constantes vinculadas a la electricidad y al magnetismo

y resulta ser igual a la velocidad de la luz (1865). Este trascendente hallazgo permite comprender que la luz, estudiada por otra rama de la Física llamada Óptica, no es otra cosa que una onda electromagnética pero en un rango de frecuencias para el cual el ojo humano es sensible y que se corresponde con el máximo de emisión del espectro de luz solar. Maxwell terminó entonces unificando los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos. Muy poco tiempo después Hertz (en 1887) demostró experimentalmente la existencia de estas ondas (las produce en el laboratorio) y pocos años después Marconi (1901) transmitía ondas de radio entre Europa y América inaugurando la era de las comunicaciones inalámbricas (radio, televisión, etc.). Estos desarrollos tuvieron y siguen teniendo una influencia difícil de exagerar sobre nuestra civilización. Vemos aquí un ejemplo claro de investigación científica y aprovechamiento tecnológico.

A fines del siglo XIX, toda la Física quedaba abarcada básicamente por dos teorías, la Mecánica y el Electromagnetismo, cuyos objetos eran los dos tipos de sustancias que, según se creía en ese momento, conformaban la totalidad del contenido del universo: las partículas con masa y la radiación. Si bien esto no se reconoció inmediatamente, estas dos teorías eran lógicamente incompatibles. La resolución de esta incompatibilidad vino de la mano de Einstein, en 1905, el año milagroso en el cual se formula, entre otras, la teoría de la Relatividad Especial. Además de revolucionar nuestras ideas más básicas sobre el espacio y el tiempo, esta teoría estableció una nueva mecánica en la cual la energía y la masa aparecen como cantidades equivalentes (esta relación esta expresada por una de las ecuaciones más famosas de la Física, $E=mc^2$). Esta equivalencia está en la base de la comprensión de la generación de energía en las estrellas y de los métodos de generación de energía nuclear que el hombre ha diseñado (fisión del uranio y fusión de elementos livianos). Básicamente en todos estos procesos se quema masa para transformarse en energía.

La última década del siglo XIX trajo descubrimientos muy importantes. En 1895 Roentgen descubre los rayos X, otro ejemplo de radiación electromagnética pero de mucha mayor frecuencia que la luz visible. Esta radiación es tan penetrante que atraviesa fácilmente la materia blanda biológica, y puede ser absorbida por los huesos; este fenómeno está en la base de las radiografías que permiten ver dentro del cuerpo sin abrirlo. En pocos meses después del descubrimiento la empresa Siemens estaba comercializando equipos de radiografías. También se descubrió rápidamente que esta radiación (y la radiación gama de aún mayor frecuencia) era útil para combatir el cáncer transformándose en la base de la moderna radioterapia convencional. Roentgen recibió el primer premio Nobel de Física en 1901.

En 1896 Becquerel descubrió el fenómeno de radioactividad natural, en el cual elementos pesados como el uranio, el torio y el radio, entre otros, decaen

emitiendo radiación alfa (núcleos de helio 4). En 1903 Becquerel compartió el premio Nobel por este descubrimiento con Pierre y María Sklodowska-Curie.

En 1897 Thomson descubre el electrón, la partícula elemental portadora de la unidad de carga negativa. La carga eléctrica está cuantificada y aparece solo como múltiplo de esa unidad elemental (en dos variedades, negativa y positiva). Los electrones son también llamados rayos beta cuando están asociados a determinado tipo de decaimiento radiactivo.

El paso decisivo hacia una nueva física fue dado por Planck en 1900. Tratando de explicar la distribución espectral de la energía en una cavidad electromagnética en equilibrio a una temperatura dada, que la aplicación de la física conocida hasta ese momento predice como infinita (catástrofe ultravioleta), Planck introdujo una hipótesis insólita, a saber, suponer que las energías posibles de los osciladores mecánicos situados en las paredes materiales de la cavidad solo pueden tomar un conjunto discreto de valores. Solo de esta forma, abandonando el concepto de energía como una variable continua, pudo lograr una explicación coherente. Aparece así, por primera vez en la historia, la idea de la cuantificación de la energía y se da un primer paso hacia una nueva física, la física cuántica, que será la llave para la comprensión del mundo microscópico (atómico-molecular, nuclear y subnuclear como así de las propiedades de la materia condensada que dependen de la estructura atómica subyacente). Este es el puntapié inicial de una de las revoluciones científicas e intelectuales más dramáticas en la historia del hombre.

El próximo capítulo lo escribió Einstein, de nuevo en 1905, al proponer la cuantificación del campo electromagnético en su revolucionario trabajo mal llamado del efecto fotoeléctrico. Nace el fotón. La cuantificación no solo aparece entonces en la descripción de los estados ligados de los sistemas mecánicos sino también en los sistemas electromagnéticos. Aquí aparece por primera vez la cuestión de la naturaleza dual (ondulatoria y corpuscular) de la luz.

En el camino hacia el establecimiento de una teoría nueva que reemplazará a la física clásica, la próxima parada está dada por la propuesta de Rutherford (1911) y la confirmación experimental por Geiger y Marsden (1911) del modelo nuclear del átomo. Toda la carga positiva del átomo está concentrada en un núcleo muy pequeño comparado con el volúmen atómico. Bohr (1913) se basa en esta idea para formular un primer modelo cuántico del átomo.

Si bien hay muchos aportes relevantes intermedios, saltamos a De Broglie (1924) quien formula la idea de la naturaleza ondulatoria de la materia. Poco tiempo después Heisenberg (1925) y Schroedinger (1926) conciben las ideas que llevan al establecimiento de la teoría cuántica que hoy conocemos y utilizamos para todos los problemas no relativistas. La extensión relativista la da Dirac (1928) quien, en 1933, comparte el premio Nobel con Schroedinger. De la ecuación de Dirac, este lee la existencia de antipartículas, inicialmente

el positrón, descubierto luego por Anderson en 1932. Además Dirac formula por primera vez una teoría cuántica de campos, la electrodinámica cuántica, en la cual el fotón aparece como la excitación elemental de este campo. Esta concepción de teoría cuántica de campos subyace a todo el trabajo teórico ulterior sobre partículas elementales. Este trabajo fue clave en el desarrollo de la teoría cuántica de campos impulsada por la siguiente generación de físicos como Schwinger (1918-1994), Feynman (1918-1988), Tomonaga (1906-1979) y Dyson (1923-).

Es pertinente mencionar aquí descubrimientos que desembocaron en el conocimiento de la estructura del núcleo atómico. Ya mencionamos que Rutherford propuso la existencia del núcleo atómico. No satisfecho con esto bombardeó (en 1919) núcleos livianos, como el nitrógeno 14, con partículas alfa provenientes del decaimiento radiactivo de núcleos pesados inestables (los primeros aceleradores naturales) logrando las primeras reacciones nucleares inducidas artificialmente. Con todo derecho Rutherford puede ser considerado el padre de la física nuclear; de hecho, por varias razones que no comentaremos, postuló la existencia del neutrón. Efectivamente esta predicción fue corroborada experimentalmente por Chadwick (1932), despejando el camino para la comprensión de la estructura del núcleo tal cual la conocemos hoy. Efectivamente, la circunstancia de que el núcleo esté formado por protones y neutrones implica que debe haber una fuerza que lo mantiene unido, contrarrestando la fuerza coulombiana repulsiva entre los protones. Esta es la fuerza nuclear o fuerte, de muy corto rango, que aparece como una de las fuerzas básicas de la naturaleza. Hasta ahora habíamos mencionado la fuerza gravitatoria y la electromagnética y ahora se agrega la fuerte (llamada así porque supera a la electromagnética a igual distancia, de lo contrario el núcleo se disgregaría). La cuarta fuerza es la así llamada débil (de nuevo por comparación con la electromagnética), responsable de, entre otros fenómenos, del decaimiento beta de los núcleos. Pronto se volvió evidente que para avanzar en el conocimiento del núcleo y de las reacciones nucleares era necesario disponer de máquinas capaces de acelerar proyectiles nucleares a energías mayores que las provistas por los núcleos radiactivos.

Esto abre el capítulo de los aceleradores, que repercutió también en la historia y el presente de la física en nuestro país. Cockcroft y Walton desarrollaron un primer acelerador electrostático con el cual produjeron la primer reacción nuclear por este método (1932). Este trabajo fue reconocido en 1951 con el premio Nobel por la transmutación de núcleos atómicos por partículas aceleradas artificialmente.

Contemporáneamente Lawrence (1932) inventa el ciclotrón, una máquina circular que utiliza campos de radiofrecuencia para acelerar partículas mantenidas en órbitas circulares por un campo magnético estático. Para llegar a energías más altas, donde los efectos relativistas comienzan a tallar, se

idearon esquemas emparentados como el ciclotrón isócrono, el sincrociclotrón y el sincrotrón. En nuestro país se adquirió un primer sincrociclotrón en 1951, inaugurando una de las líneas de la investigación nuclear en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), que condujo al descubrimiento de nuevas especies nucleares (isótopos radiactivos). Esta máquina operó exitosamente hasta la década del 70 y contribuyó a desarrollar un programa de investigación activo en estructura nuclear y en reacciones nucleares. Esto finalmente desembocó en la adquisición, a comienzos de la década del 80, y en la operación ulterior del acelerador electrostático Tandar (un Tandem de 20 MV, uno de los mayores del mundo) alrededor del cual se desarrolló un programa amplio que abarca desde física nuclear básica hasta temas multidisciplinarios en ciencia y tecnología de materiales, radiobiología, técnicas microanalíticas y micromaquinado nuclear, espectrometría de masas con aceleradores, inducción de daño por radiación y testeo de componentes satelitales, etc.

Esta actividad derivó también en un programa activo actualmente de desarrollo de tecnología de aceleradores de alta corriente para fines nucleares y médicos. Estos aceleradores de alta corriente sirven para producir flujos importantes de neutrones que pueden ser utilizados para la terapia por captura neutrónica (una terapia para algunos tipos de cánceres muy radioresistentes e infiltrantes que consiste en dopar selectivamente un tumor con un capturador neutrónico y luego irradiar con neutrones), la producción de radioisótopos, la simulación de daño por radiación y muchos otros. De hecho esta tecnología podría converger con la tecnología de reactores (ver más adelante). También se operó exitosamente en CNEA un acelerador Cockcroft-Walton para el estudio de núcleos muy inestables. Como último punto, que se entronca con las actividades descriptas, es interesante mencionar que actualmente se está en el proceso de instalar un centro de Protonterapia basado en un ciclotrón isócrono de alta energía. Esta terapia, que tiene ventajas importantes en relación con la radioterapia convencional con rayos gama, se basa en la utilización de haces energéticos de protones para irradiar con alta precisión tumores profundos minimizando la dosis entregada a los tejidos sanos circundantes. Estos temas constituyen oportunidades interesantes para el desarrollo de ciertas áreas de la física médica. Hay actividad en esta área en las Universidades de Buenos Aires, San Martín, La Plata, Favaloro y Córdoba y en CNEA, tanto en el Centro Atómico Constituyentes como en Bariloche.

Aceleradores de energía creciente, estudios de radiación cósmica y estudios teóricos han contribuido a establecer un modelo estándar de las partículas elementales que consiste de quarks, fermiones elementales que son los ladrillos de los cuales están hechos los hadrones (partículas compuestas como el protón, el neutrón, todos los núcleos más pesados y los mesones que interactúan a través de la interacción fuerte), de leptones como el electrón, el

muón y el tau y sus correspondientes neutrinos y de los bosones portadores de las diferentes interacciones como los gluones (mediadores de la fuerza fuerte), los fotones, los W y los Z (relacionados con la fuerza electrodébil). El primer paso hacia el modelo estándar fue dado por Glashow (1961) al descubrir una manera de combinar la interacción electromagnética y la débil.

En 1967 Weinberg y Salam incorporaron el mecanismo de Higgs (1964), dándole a la teoría electrodébil su forma moderna. Se cree que el mecanismo de Higgs da origen a las masas de todas las partículas elementales mencionadas. Glashow, Salam y Weinberg compartieron el premio Nobel en 1979. La teoría que describe las interacciones fuertes es la cromodinámica cuántica (QCD), que recibió aportes de muchos investigadores y adquirió su forma moderna en 1973-74 cuando experimentos confirmaron que los hadrones están formados por quarks cargados. La frontera en términos de energía de aceleración estuvo hasta años recientes en dos instalaciones: el Tevatrón del Fermilab en Chicago (hoy cerrado) y el LHC (Large Hadron Collider) en el CERN. Con estas máquinas se han hecho contribuciones importantes a la física de altas energías y de las partículas elementales, la última de las cuales parece ser el descubrimiento del bosón de Higgs, último ingrediente del modelo estándar de las partículas cuya existencia pareciera confirmarse. Otro de los objetivos del LHC es recrear las condiciones imperantes en el universo temprano, cercano al Big Bang, a través de reacciones entre iones pesados (por ejemplo, Pb+Pb), que crearían condiciones de temperatura y densidad muy elevadas y en donde se crearía un plasma de quarks y gluones en una región limitada del espacio. Varios grupos de nuestro país, de las Universidades de Buenos Aires y La Plata, participan en estas actividades. También hay varios grupos involucrados en la teoría en la UBA, La Plata, CNEA, Córdoba, y varios otros.

Otro descubrimiento en el campo de la física nuclear, que contribuyó a moldear la historia contemporánea, la sociedad humana actual y una vertiente importante del desarrollo de la física en nuestro país, fue el descubrimiento de la fisión del uranio inducida por los neutrones de Chadwick. En 1938 Hahn y Strassmann descubrieron que uranio bombardeado por neutrones da origen a bario, un elemento mucho más liviano. Pocos días más tarde, Meitner y Frisch (1939) interpretaron correctamente estos resultados como indicativos de la fisión del uranio, es decir su desintegración en dos fragmentos más livianos, inducida por un neutrón. En cada fisión se liberan del orden de 200 MeV (esto es del orden de un millón de veces más por unidad de masa que para reacciones químicas). El reconocimiento de que los fragmentos altamente excitados de la fisión liberan en promedio más de dos neutrones abre el camino para la liberación en gran escala de energía nuclear a través de una reacción en cadena. Si esta liberación se produce de manera explosiva se está en presencia de un arma nuclear, de ahí la gran influencia política de este tema (recordar las

bombas de Hiroshima y Nagasaki). Por otro lado, es posible obtener energía nuclear a través de una reacción de fisión nuclear controlada (se habla de un reactor operado en estado crítico). Este es el proceso que ocurre entonces en un reactor nuclear, proceso demostrado por primera vez por Fermi en 1942 en EEUU. Actualmente, parte de la energía consumida a nivel mundial proviene de esta fuente que es interesante por no contribuir al efecto invernadero y al calentamiento global, como la quema de combustibles fósiles. La Argentina a través de la CNEA, tempranamente, comenzó con el desarrollo de la energía nuclear para fines pacíficos. El primer reactor de investigación, el RA1, se puso operativo en 1958 y también en esa época se fabricaron los primeros elementos combustibles. En el interín nuestro país se ha convertido en un proveedor de tecnología nuclear de reactores. A través de la empresa INVAP la Argentina ha ganado varias licitaciones a nivel internacional. Una de las últimas ventas fue a Australia ganando la competencia con empresas de los principales proveedores mundiales. En este momento se inicia la construcción del RA10, íntegramente en nuestro país; se trata de un reactor para la producción de radioisótopos y de investigación con neutrones. Asimismo la Argentina está encarando el desarrollo de un reactor pequeño de producción de energía (25 MW), el CAREM.

Es posible que la tecnología de aceleradores y de reactores confluya en el futuro a través de los sistemas híbridos o ADS (*Accelerator Driven Systems*). Se trata aquí de aceleradores de protones de alta energía (cerca del GeV) que inyectan grandes flujos de neutrones producidos en un blanco de espalación (un protón de alta energía impacta sobre un núcleo pesado liberando una gran cantidad de neutrones) en un reactor subcrítico (un medio multiplicador pero que es intrínsecamente seguro). Se visualizan estos sistemas tanto para la incineración nuclear de residuos radiactivos de vida media larga y alta radiotoxicidad como para la producción de energía (el amplificador de energía). Hay un proyecto importante de este tipo en marcha en Europa (MYRRHA). Máquinas de este tipo ya están operando en el mundo pero como fuentes intensas de neutrones (las *Spallation Neutron Sources*).

Otra de las fronteras de la física se encuentra en el estudio de la estructura del universo a gran escala. Varias especialidades estudian estos fenómenos: la cosmología, la astronomía, la astrofísica, etc. La cosmología física, como la entendemos hoy día, comienza en 1915 con la publicación de la teoría general de la relatividad formulada por Einstein, en la cual se introducen geometrías no euclidianas cuyas curvaturas tienen que ver con la distribución de masas en el universo y permiten concebir un universo finito pero ilimitado. Esto fue seguido de descubrimientos observacionales importantes en la década de 1920. Primero Hubble descubrió que nuestro universo contiene un enorme número de galaxias, más allá de nuestra vía láctea. Luego Slipher y otros mostraron que el universo se expande. Estos avances hicieron posible especular sobre el

origen del universo y permitieron establecer la teoría del Big Bang (es decir, "pasando la película para atrás" se puede inferir que el origen del universo se encuentra a partir de una gran explosión localizada en un punto y ocurrida hace aproximadamente 14 mil millones de años).

Observaciones de la distribución de masa visible en el universo y de su evolución temporal han llevado al modelo estándar de la cosmología. Este modelo requiere la presencia de grandes cantidades de las así llamadas materia y energía oscuras, cuya naturaleza no está comprendida actualmente. Una gran proporción de la materia contenida en el universo no interactúa electromagnéticamente (de ahí su nombre de oscura) lo cual representa un problema de gran interés. Existen candidatos para constituir la materia oscura, como neutrinos o WIMPs (*Weakly Interacting Massive Particles*) que aún no se han detectado, entre otros. Para intentar detectar estas partículas se han montado algunos laboratorios subterráneos, debajo de formaciones rocosas, donde el fondo de otros tipos de radiación cósmica es mucho menor. Hay actualmente un proyecto para instalar un laboratorio debajo de la cordillera de los Andes, en el túnel bioceánico de Agua Negra, bautizado precisamente ANDES (*Agua Negra Deep Experiment Site*) que sería el primero en el ámbito latinoamericano.

La Física nuclear puede hacer contribuciones a la astrofísica a través del conocimiento de reacciones nucleares a las energías existentes en el interior de estrellas de diferentes tipos, ayudando a comprender la nucleosíntesis, es decir la generación de los elementos de la tabla periódica (y de la carta de nucleídos) en el universo.

La estructura y naturaleza del universo también se estudia a través de los rayos cósmicos. Argentina participa activamente en el proyecto internacional Pierre Auger y otros en los cuales se busca comprender el origen de rayos cósmicos ultra energéticos.

Algunos de los temas mencionados conducen a una Física que está más allá del modelo estándar; se está tratando de extender el modelo estándar hacia una teoría de campos unificados o una teoría de todo; no existe una tal teoría aceptada y verificada. Uno de los intentos por lograr esto pasa por la teoría de cuerdas (hay varios grupos en Argentina estudiando estos temas: en la UNLP, en la UBA y en la CNEA entre otros). Las falencias del modelo estándar que motivan esta investigación son:

No explica la gravitación; no hay una manera conocida de describir la relatividad general de manera consistente en términos de una teoría cuántica de campos, es decir, una teoría cuántica de la gravedad. En este contexto se busca desde hace tiempo al gravitón, el hipotético cuanto del campo gravitatorio cuántico.

La incapacidad de dar cuenta de la materia y la energía oscura. Solo un 4%

del contenido del universo sería materia bariónica visible.

La existencia de los rayos cósmicos ultra energéticos tampoco se puede explicar.

Como ya se mencionó, el otro proceso que podría utilizarse para generar energía de origen nuclear es la fusión de elementos livianos, en analogía con lo que ocurre en el interior de las estrellas donde la enorme presión gravitatoria comprime atómos livianos, los ioniza formando un plasma y los aproxima tanto que se desencadenan reacciones en las cuales parte de la masa de los reactantes se transforma en energía. Esto se conoce como fusión termonuclear. En el laboratorio se está intentando desde hace varias décadas a través del confinamiento magnético del plasma. Dado que el plasma está a altísimas temperaturas no puede tocar paredes materiales y por ende se recurre a campos magnéticos. Hay un proyecto internacional denominado ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) que apunta a generar un reactor de fusión de 500 MW. En nuestro país hay actividad en física del plasma en la UBA, en la UNICEN (Tandil) y un incipiente proyecto para estudiar fusión en la CNEA. Además del método de confinamiento magnético se está estudiando el método de confinamiento inercial tanto por láseres como por iones pesados. En el último caso se utilizan aceleradores de iones pesados de alta energía para bombardear una gota de una mezcla de deuterio y tritio desde múltiples direcciones para comprimirla y llevarla a ignición termonuclear.

Otra área en la cual la mecánica cuántica ha tenido un impacto decisivo, que además tiene una fenomenología extremadamente rica por la variedad de sistemas que involucra y que ha tenido un enorme impacto tecnológico, es la Física de la Materia Condensada.

La Física de la Materia Condensada (MC) es probablemente la rama de la Física que concentra el mayor número de físicos. En el último medio siglo, más de 20 premios Nobel han sido otorgados a investigadores en esta área y varios de los premios Nobel de Química adjudicados también lo han sido por trabajos que se ubican dentro del área de la MC. Esta rama de la física ha aportado y aporta tanto al conocimiento básico de la naturaleza como al campo de las aplicaciones e instrumentación, de hecho la Física MC ha marcado su fuerte impronta en la innovación y avances tecnológicos de la sociedad humana en el último siglo.

La escala de energías de su incumbencia es la del electronvolt, si hablamos de la energía de unión de los átomos que conforman la materia. En cuando a la escala espacial, su ámbito va desde la nano- pasando por la meso- y hasta la macroescala. Hace uso de la mecánica cuántica, del electromagnetismo y de la mecánica estadística, así como de la mecánica del continuo y de la fluidodinámica cuando se trabaja en la macroescala y fenómenos del contínuo asociados. En muchos casos usa insumos de la Física Atómica y Molecular, otra rama importante que también es cultivada en nuestro país. La Física MC es una

de las más interdisciplinarias de todas las ramas de la Física, actualmente está fuertemente imbricada con la química, la biología, la ingeniería, la ciencia de materiales, el diseño de nuevos materiales, la micro -y nano- ciencia y tecnología y la ciencia de la computación.

Desde el punto de vista teórico, la Física MC genera modelos con el fin de comprender las propiedades y fenomenología de su objeto de estudio. Los modelos van desde aquellos que se usan para explicar las propiedades electrónicas de los sólidos hasta modelos para estudiar fenómenos críticos y transiciones de fase. En las últimas décadas, la Física MC teórica ha hecho uso intensivo e indispensable de herramientas computacionales, así como de sofisticadas técnicas matemáticas.

Desde el punto de vista experimental, la Física MC incluye el uso y estudio de propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas, la medición de funciones respuesta de distinta índole, propiedades de transporte eléctrico y térmico así como variadas técnicas de índole espectroscópica. En las últimas dos décadas se usan redes ópticas para atrapar átomos fríos y simular fenómenos cuánticos y transiciones de fase usando láseres ópticos. Una gran parte de la actividad de la Física MC ha derivado en el desarrollo de instrumental de medición, caracterización y crecimiento.

Entre los hitos importantes en esta rama de la física se encuentran los semiconductores, ya conocidos desde el siglo XIX y primeras décadas del XX cuya comprensión a través de la física cuántica llevaron al desarrollo del transistor por Schockley (1947) que marcó la tecnología electrónica de la 2da mitad del siglo 20. Otro hito fue el descubrimiento de la superconductividad por Kamerlingh Onnes (1911). La explicación teórica fue dada por Bardeen, Cooper y Schrieffer (BCS) en 1957, basándose en pares de electrones correlacionados. Tres décadas más tarde tuvo lugar el descubrimiento de la superconductividad de alta temperatura crítica por Bednorz y Mueller (1986) que condujo, por ejemplo, a superconductores con temperaturas criticas de hasta 92 K (el famoso YBCO) y que involucra al fenómeno de correlación fuerte. Más recientemente se encontró la superconductividad no convencional, presente en los pníctidos de hierro por Hosono y otros (2008). También subyacen fenómenos de correlación fuerte a los fenómenos de magnetorresistencia gigante (descubiertos por Fert y Gruenberg (1988) y premiados con el Nobel en 2007) y a la transición metal aislante de tipo Mott. El estudio de transiciones de fase y de fenómenos críticos constituye un área importante de la materia condensada y, precisamente, el estudio de transiciones de fase en sistemas fuertemente correlacionados es un área de mucha actividad actualmente.

Estas últimas décadas han estado marcadas por el surgimiento de la electrónica de espín, la espintrónica, y por la posibilidad de diseñar nuevos materiales con características específicas. Por ejemplo, los materiales en

multicapas, metálicos o híbridos, que presentan magnetorresistencia gigante o magnetorresistencia túnel gigante y que dieron lugar al nacimiento de la espintrónica. La espintrónica, que se basa en el transporte de espín, es un emergente de las últimas décadas de la física de la materia condensada y está en la base de la revolución tecnológica actual. Se asocian en este tema los materiales magnéticos, ferroeléctricos, piezoeléctricos y la nueva gama de materiales multiferroicos.

La Nanociencia y nanotecnología, fuertemente vinculadas con la Física MC y la ciencia y tecnología de materiales ha brindado la posibilidad de sintetizar y estudiar nanopartículas de variada constitución con aplicaciones en distintas áreas, en particular en las biomédicas. Por otro lado, la materia y por ende los dispositivos nano tienen propiedades muy diferentes que la materia a escala macroscópica. La manipulación de la materia a nivel atómico está abriendo nuevos caminos cuyo impacto es aún difícil de predecir.

En el año 2004, la capacidad para poder aislar y detectar capas de grafeno dio lugar a la era de los materiales bidimensionales, entre los que se encuentran también las monocapas de nitruro de boro y las de los dicalcogenuros laminares tales como MoS2 y WS2.

Los materiales de alta entropía, con gran implicancia en el área energética, constituyen otro foco de interés actual en el área. El descubrimiento de nuevos materiales que presentan propiedades topológicamente protegidas, tales como los aislantes topológicos, los skyrmiones y el estado de la materia que subyace al efecto Hall cuántico de espín han marcado también estas últimas décadas.

Un área emergente de la MC es la de la Materia Blanda, que se dedica al estudio de materiales ubicados entre los sólidos rígidos y los líquidos, con ejemplos tales como espumas, geles, adhesivos, lubricantes y materiales biológicos. Esta área de la física tiene y tendrá un rol muy importante en las aplicaciones tecnológicas; su comportamiento es fundamentalmente diferente al de sólidos y líquidos.

En la Argentina, como en el resto del mundo, gran parte de los físicos trabaja en Física MC y Física de Materiales. Hay grupos trabajando en casi todas las líneas mencionadas más arriba. Hay importante trabajo teórico y tecnológico en áreas como el desarrollo y la fabricación de dispositivos. Se trabaja en este área en las Universidades de Buenos Aires, La Plata (incluyendo al CIOp), Córdoba, Tucumán, San Luis, Bahía Blanca, Tandil y hay grupos con mucha experiencia y tradición en la CNEA, tanto en el Centro Atómico Bariloche como en el Centro Atómico Constituyentes, y entre otros en el CITEDEF, en el IFLYSIB y en el INTI.

Otra de las áreas surgidas de la física cuántica es la de la computación cuántica. Esta área estudia sistemas teóricos de computación (computadoras cuánticas) que hacen uso de fenómenos cuánticos como la superposición y el entrelazamiento. El campo de computación cuántica fue iniciado por el trabajo

de Manin (1980), Feynman (1982) y Deutsch (1985). Se trata de explorar la capacidad de la mecánica cuántica para implementar algoritmos que permiten resolver problemas de cálculo de difícil abordaje por los métodos tradicionales. Hay mucho interés a nivel mundial debido a las potenciales aplicaciones en el campo de la criptografía. Hay una actividad importante en nuestro país en torno a la computación cuántica (tanto en la UBA como en otros lugares). También se exploran posibles realizaciones prácticas para computadoras cuánticas.

La Biofísica o Física de los Sistemas Biológicos es un área interdisciplinaria que aporta al estudio de diferentes problemas de la Biología aplicando los principios generales de la Física.

Una de las áreas fascinantes, que está en constante crecimiento y en la cual confluyen físicos, matemáticos, biólogos y químicos en los mismos grupos de trabajo y laboratorios, es el área de las neurociencias. El funcionamiento de diferentes aspectos de los sistemas nerviosos y finalmente del cerebro humano es uno de los problemas científicos y conceptuales más desafiantes de la ciencia contemporánea.

Otras de las áreas de interés en biofísica busca comprender mecanismos de señalización y transporte a nivel intracelular.

Estos y otros temas de la biofísica se estudian en la UBA, en el IB-CNEA, la UNT, el IFIS Litoral, entre otros.

Esta apretada síntesis difícilmente hace justicia a la enorme variedad de temas de trabajo en nuestro país y el mundo.

ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

Unos pocos apuntes son claramente insuficientes para capturar la riqueza de la evolución de la Física en nuestro país, las marchas y contramarchas, los momentos de auge y esperanza y los momentos oscuros y de destrucción, que lamentablemente también hemos tenido a lo largo de nuestra historia. Sin embargo es esclarecedor hurgar en el pasado para ver cómo las ideas van y vienen en el eterno juego de tesis, antítesis y síntesis y así se van refinando; a pesar de las fluctuaciones hay, en promedio y de acuerdo con la mirada de este documento, una pendiente positiva o una espiral ascendente que nos permite ser optimistas. El debate recurrente sobre el rol de la ciencia en la sociedad en sus dos vertientes: ciencia por el saber universal mismo y ciencia para la resolución de los problemas concretos y el mejoramiento de las condiciones de vida de la gente, también está presente hoy pero posiblemente en términos más maduros que en épocas pasadas, propiciando la coexistencia de la investigación básica de buen nivel y de la ciencia aplicada y el desarrollo tecnológico tan necesarios para nuestro país.

Si bien la historia de la física en nuestro país tiene tres siglos, como afirma Miguel de Asua en *La Física y los Físicos Argentinos*[1], nos concentraremos en dar algunas pinceladas arrancando con el siglo XX, que también para la Física trajo dos de las más grandes revoluciones conceptuales de la historia, a saber, la Relatividad y la Física Cuántica, que también jugaron un rol en el devenir de la Física en nuestras latitudes.

Un hito importante fue la fundación en La Plata, en 1905, de la tercera universidad nacional argentina. El *leitmotiv* era una universidad moderna y experimental, con una orientación profesionalista, opuesta en ese sentido al academicismo y enciclopedismo de las más antiguas de Córdoba y Buenos Aires. Dentro de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas se creó el Instituto de Física, dirigido inicialmente por el ingeniero uruguayo Tebaldo Ricaldoni, luego por el alemán Emil Bose secundado por su esposa danesa Margrete Heiberg y ulteriormente por el alemán Richard Gans en 1912. En esta época se definieron planes de estudio modernos, se equiparon laboratorios de enseñanza, se dictaron cursos incluyendo la teoría de la Relatividad, por primera vez en el Nuevo Mundo y se llevaron a cabo investigaciones de nivel internacional bajo la dirección e influjo de estos científicos alemanes. También se recibieron los primeros doctores en Física en La Plata. Después de los avances iniciales y

1 *La Física y Los Físicos Argentinos.* Historias para el presente. D. Hurtado (Editor). Universidad Nacional de Córdoba y AFA.

retrocesos, hacia la década de 1960 estaban dadas las condiciones para decir que la implantación de la física había tenido éxito en La Plata[2]. Esta tradición fructificó para llegar hoy a un Instituto de Física de La Plata aggiornado y de alto nivel con grupos competitivos a nivel internacional.

Un derrotero similar siguió el establecimiento en el norte argentino de la Universidad de Tucumán en 1914. También aquí, "el proyecto universitario norteño pretendía contradecir el sesgo enciclopédico y doctoral de las casas de estudio de Buenos Aires y Córdoba para erigir una institución que atendiera las necesidades regionales mediante la investigación y aplicación de conocimiento científico y tecnológico"[3]. También aquí hubo una influencia importante de científicos alemanes como Wurschmidt y luego Seelmann-Eggebert. Hasta 1976 la institución mantuvo su crecimiento, con actividad científica sostenida y un aumento modesto pero constante de su matrícula en la Licenciatura. La dictadura militar que tomó el poder en marzo de ese año desato una represión feroz contra la provincia y la Universidad en la que fueron damnificados directos muchos integrantes del claustro de físicos. Con la restauración del régimen democrático, el Instituto de Física pudo recuperar capacidades científicas y tecnológicas, para exhibir actualmente una actividad valiosa en diferentes áreas.

Los orígenes del Departamento de Física (DF) de la UBA, se remontan a las primeras décadas del siglo XX, cuando coexistían en el mismo ámbito universitario carreras como Ingeniería, Matemática y Arquitectura. En la segunda mitad de la década del '50 se crea la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, FCEyN, y el DF adquiere su estructura actual. Su historia en los últimos cincuenta años está marcada fuertemente por la de nuestro país. Tuvo una época brillante hasta mediados de los '60, donde personalidades como Juan José Giambiagi, Carlos Bollini, Daniel Bes y otros demostraron que era posible contar con un DF donde se cultivara la investigación científica de excelencia en el ámbito de una universidad pública abierta. Hay muchos que sostienen que Bollini y Giambiagi debieron recibir el premio Nobel por sus trabajos pioneros de regularización dimensional (en 1972), junto a t'Hooft y Veltman. El golpe del 66 y la Noche de los Bastones Largos castigaron duramente al DF, que se vació de docentes e investigadores. Los intentos por recuperar al Departamento para la actividad científica fueron difíciles, debido al conflictivo panorama político de la década del 70 y principios del 80, marcado por exilios masivos, represión y desapariciones. Después de la recuperación de la democracia, la reconstrucción tampoco fue fácil pero comenzó a dar frutos a

---

2 M. C. von Reichenbach y A.G. Bibiloni en *La Física y Los Físicos Argentinos*. Historias para el presente. D. Hurtado (Editor). Universidad Nacional de Córdoba y AFA.

3 R. Tagashira en *La Física y Los Físicos Argentinos*. Historias para el presente. D. Hurtado (Editor). Universidad Nacional de Córdoba y AFA.

partir de principios de los años 90, pese a la adversidad del contexto económico y social. En 1996, el 15 de octubre, en un acto de homenaje se impuso el nombre Juan José Giambiagi al Departamento de Física de la FCEN.

Actualmente, gracias a las mejoras en el reconocimiento de la importancia de la educación universitaria y de la creación de conocimiento científico y tecnológico por parte de la sociedad y de los administradores del Estado, el DF es un activo centro de docencia universitaria, investigación científica y vinculación con la sociedad, en el cual se destaca la formación de graduados y posgraduados de excelencia, la amplia variedad de ramas del conocimiento físico que se cultivan -con una revitalización creciente de la física experimental- y las actividades de difusión institucional y popularización del conocimiento.

Además de la historia en las universidades nacionales, el desarrollo de la física en nuestro país estuvo marcado por la creación de instituciones de I&D de alcance nacional, con misiones especificas en áreas determinadas de la ciencia y la tecnología. Un ejemplo paradigmático fue la creación, en 1950, de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), para darle un marco legal a las investigaciones en energía atómica iniciadas en la isla Huemul. El fracaso inicial en la pretensión de desarrollar la fusión termonuclear como fuente de energía desembocó luego en un éxito histórico. En primer término debe mencionarse la creación del Instituto de Física de Bariloche, luego Instituto Balseiro, IB, como centro de formación en física. En abril de 1955 se firma un convenio entre la CNEA y la Universidad Nacional de Cuyo, para crear lo que con el tiempo devendría en el IB, un instituto que hoy en día es de los más avanzados del país y con renombre internacional[4].

La física nuclear experimental con aceleradores se desarrolló en Buenos Aires, en la Sede Central de la CNEA, con la compra e instalación del Sincrociclotrón y el Cockroft-Walton, también a comienzos de la década del ’50, al abrigo de la decisión estratégica de incursionar en tecnología nuclear para fines pacíficos.

En Bariloche se llevaron adelante actividades en temas vinculados a la física de reactores, como la neutrónica, que desembocaron en la creación de una escuela de ingeniería nuclear y la instalación del reactor RA-6. También hubo intentos de desarrollo de pequeños aceleradores electrostáticos, que por su baja energía, desembocaron en un programa de estudio de colisiones atómicas. Además, en el Centro Atómico Constituyentes hubo desarrollos muy importantes, desde la implantación del reactor RA-1 hasta el desarrollo de la metalurgia bajo la conducción de Jorge Sábato, uno de los padres del desarrollo tecnológico en nuestro país.

---

4 A. López Dávalos y M. García en *La Física y Los Físicos Argentinos*. Historias para el presente. D. Hurtado (Editor). Universidad Nacional de Córdoba y AFA.

Si bien a principios de la década del '70, con la vuelta de varios científicos importantes al país, se revitalizó la física nuclear experimental en el sincrociclotrón de Buenos Aires[5], ésta máquina ya se había tornado obsoleta.

Finalmente esto condujo a la formulación, en febrero de 1976, de uno de los proyectos más ambiciosos en Física en nuestro país, a saber, la instalación de un acelerador tipo tándem de gran porte, el que condujo a la implantación del acelerador TANDAR, alrededor del cual se terminó estructurando un programa interdisciplinario utilizando los haces de iones pesados acelerados. Hoy en día esta historia se está capitalizando para desarrollar tecnología de aceleradores propia. El original Departamento de Física Nuclear, devenido luego en el Departamento de Física, es hoy la Gerencia de Investigación y Aplicaciones, en la cual se cultiva no solo física nuclear a energías bajas, intermedias y altas y sus aplicaciones, tecnología y aplicaciones de aceleradores, energía solar, física teórica y una importante actividad en física de la materia condensada.

Grupos de Trabajo

Los 15 colaboradores que contribuyeron a este relevamiento solicitando las encuestas en sus respectivos lugares de trabajo, centros o departamentos lograron, junto con el coordinador, un total de 62 respuestas de otros tantos grupos de trabajo de importancia en el país sobre temas de Física. El análisis de los grupos se hace por centros, identificando los problemas y características similares para aquellos que han contestado la requisitoria, y solo se describen brevemente los centros que no han respondido la encuesta.

El Centro Atómico Bariloche (CAB), de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y en particular la Gerencia Física (GF, número aproximado 114). Se desarrollan las siguientes temáticas, entre otras: Bajas Temperaturas (GF); Física de Metales (GF); Resonancias Magnéticas (GF); Fusión Nuclear y Plasmas (GF); Partículas y Campos (GF); Física Estadística (GF); Física Forense (GF); Teoría de Materia Condensada (GF); Colisiones Atómicas (GF); Laboratorio de Propiedades Ópticas (GF); Grupo de Física de Neutrones, Gerencia de Área de Energía Nuclear (GAEN); Grupo de Fisicoquímica de Materiales, Gerencia de Área de Aplicaciones de la Tecnología Nuclear (GAATN).

Entre los problemas comunes se destaca con insistencia la creciente burocratización de todos los procesos administrativos, en particular los de compra, que insumen un tiempo prohibitivo de los investigadores. Los demás problemas varían en prioridad dado el carácter diferenciado de los grupos (por

5 *Estudios de la Estructura Nuclear con el Sincrociclotrón de Buenos Aires en la Década del 70*, M.A.J. Mariscotti, Anl. Acad. Nac. Cs. Ex. Fis. Nat., Buenos Aires, Tomo 39 (1987) 31.

ejemplo, experimental o teórico). El número total de investigadores incluidos en las encuestas (formados más jóvenes) es de 123; (este número es mayor que el que corresponde a la Gerencia Física pues se han incluido otros grupos con otra dependencia). El número medio de investigadores por grupo es de 11, con una gran dispersión, dada la diferente antigüedad de los mismos. El número total de tesistas de doctorado es de 66, y el número medio de doctorandos por investigador de 0,54.

De los 12 grupos, 5 declaran haber presentado patentes (42%), 9 hacen o pueden hacer aportes a la resolución de problemas concretos (75%) y 6 pueden hacer aportes a la sustitución de importaciones (50%).

La FAMAF, en la Universidad Nacional de Córdoba (con 102 docentes-investigadores), en la cual funciona el Instituto de Física Enrique Gaviola (IFEG) (57 investigadores) FAMAF-CONICET, creado en el 2006. Se desarrollan las siguientes áreas: Ciencia de Materiales; Desarrollo Electrónico e Instrumental; Educación en Física; Espectroscopia Atómica y Nuclear; Física de la Atmósfera; Relatividad y Gravitación; Resonancia Magnética Nuclear; Teoría de la Materia Condensada.

La Gerencia de Investigación y Aplicaciones, (GIyA, ex Departamento de Física, aproximadamente 93 investigadores formados) de la Gerencia de Área de Investigación y Aplicaciones No Nucleares (GAIyANN), Centro Atómico Constituyentes (CAC), CNEA y otros grupos de otras Gerencias de Área en el Centro Atómico Constituyentes. Áreas de trabajo/departamentos: Física de la Materia Condensada (Experimental y Teórica); Energía Solar (Desarrollo de paneles solares de uso satelital y terrestre, etc.); Tecnología y Aplicaciones de Aceleradores; Física Experimental (Nuclear y Superficies); Física Teórica (Nuclear, Partículas, etc.). Departamento Sistemas Micro electromecánicos, MEMS (GAIyANN). Gerencia Auger (Astro partículas, GAIyANN, ITeDA.). Gerencia Materiales (GAEN).

Entre los problemas se mencionan las dificultades en la gestión de toda índole, en particular de compras y la excesiva burocratización, lo que genera una importante ineficiencia.

De los 7 grupos que respondieron la encuesta, 2 declaran haber presentado patentes (29%), 6 hacen o pueden hacer aportes a la resolución de problemas concretos (86%) y 3 pueden hacer aportes a la sustitución de importaciones (43%).

El Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA (FCEyN-UBA) (aproximadamente 90 investigadores formados), en el cual funciona el Instituto de Física de Buenos Aires (IFIBA), creado en 2009.

Se trabaja en: Física molecular; Óptica y fotónica; Fluidos y plasmas; Astrofísica y geofísica; Física de partículas y de altas energías; Cosmología y gravitación; Información cuántica; Física de sistemas biológicos; Mecánica estadística y sistemas complejos; Materia condensada; Física de materiales.

Anexo esta también el IAFE (Instituto de Astronomía y Física del Espacio). Asimismo está el Instituto de Física del Plasma (INFIP) dependiente del CONICET y de la FCEyN-UBA.

El Departamento de Física de la Universidad Nacional de La Plata, (aproximadamente 77 investigadores formados) en el cual funciona el Instituto de Física de La Plata, IFLP, unidad ejecutora del CONICET (creado en 1999). Las temáticas principales son: Partículas, Campos, Gravitación y Cosmología; Materia Condensada y Física de Materiales; Física Nuclear; Física Estadística, No lineal y Materia Blanda. También hay actividad en Física en la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Las temáticas son: Materiales y nuevos dispositivos, prioritariamente celdas solares (4 investigadores).

En su área geográfica y de influencia también se encuentra el CIOp, Centro de Investigaciones Ópticas-CONICET (aproximadamente 24 investigadores). Sus temas son: Metrología óptica, Procesamiento digital de imágenes, Interferometria, Láser, Espectroscopia atómica de emisión, Procesamiento óptico de información.

Asimismo, como unidad ejecutora CONICET-UNLP está el Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos (IFLYSIB) donde se realizan investigaciones teóricas y experimentales en el campo de la física de líquidos y la biofísica (27 investigadores).

Entre los problemas se mencionan las limitaciones edilicias, que estarían en vías de solución con la construcción de un nuevo edificio. También se señalan limitaciones de financiamiento.

De los 8 grupos que respondieron la encuesta (del IFLP y de la Facultad de ingeniería), 3 hacen o pueden hacer aportes a la resolución de problemas concretos (37,5%) y 1 podría hacer aportes a la sustitución de importaciones (12,5%).

De los 4 grupos que respondieron la encuesta (del CIOp), 4 hacen o pueden hacer aportes a la resolución de problemas concretos (100%) y 3 podrían hacer aportes a la sustitución de importaciones (75%). Hay dificultades edilicias, de financiamiento y de recursos humanos.

El Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR). El Instituto de Física de Rosario, IFIR (aproximadamente 53 investigadores) se establece en 2013 a partir de un convenio entre CONICET y la Universidad

Nacional de Rosario, la estructura del IFIR fue definida en términos de tres Divisiones: Física Básica; Física Experimental y Ciencia de Materiales.

El IFISUR, (aproximadamente 38 investigadores) es una unidad ejecutora del CONICET creada en 2010, por convenio con la Universidad Nacional del Sur, situada en el Centro Científico Tecnológico Bahía Blanca. Sus líneas de trabajo son: Energías Sustentables; Ciencia de Materiales; Catálisis Computacional; Física Computacional; Física Atómica; Oceanografía; Vibraciones y Acústica; Medio Ambiente; Física Medica; Nanociencia; Polímeros y Sistemas Complejos; Materia Condensada Blanda.

De los 7 grupos que respondieron la encuesta, 7 hacen o pueden hacer aportes a la resolución de problemas concretos (100%) y 4 podrían hacer aportes a la sustitución de importaciones (57%). Hay dificultades edilicias, de financiamiento y de recursos humanos. Hay críticas en cuanto a la distribución de recursos en forma federal, problemas con el cobro del 35% AFIP en gastos en el exterior que no se recuperan, injusticias en la evaluación en los subsidios FONCyT.

Centro de Investigación en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires - CIFICEN (CONICET-UNCPBA). Dentro de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), en el Campus Universitario de Tandil, se encuentran el CIFICEN (CONICET-UNCPBA) y dos Institutos de Física:

El IFIMAT (16 investigadores), particularmente dedicado a la Física de los Materiales, vinculado al Departamento de Ciencias Físicas y Ambientales de la Facultad de Ciencias Exactas. Sus temas son: Radiaciones Nucleares Aplicadas; Solidificación; Propiedades Mecánicas y Transformaciones de Fase; Materiales Compuestos y Mezclas Poliméricas.

El IFAS, Instituto de Física Arroyo Seco, está compuesto por 9 grupos de investigación que desarrollan diversos temas de física teórica y experimental, con una fuerte orientación hacia el tratamiento de problemas multidisciplinarios y aplicados: Electrónica Cuántica; Fisicoquímica Ambiental; Flujos de Superficie y Fenómenos de Interfaz; Láseres de Semiconductores; LIBS; Óptica Biomédica; Óptica de Sólidos; Paleomagnetismo y Magnetismo Ambiental; Plasmas Densos.

De los 6 grupos que respondieron la encuesta, 5 hacen o pueden hacer aportes a la resolución de problemas concretos (83%) y 4 podrían hacer aportes a la sustitución de importaciones (66%). Las dificultades mayores se encuentran en la falta de estudiantes, infraestructura, equipos y excesiva carga de gestión.

Departamento de Física, Universidad Nacional de San Luis. En el año 2007 se crea el Instituto de Física Aplicada, INFAP (aproximadamente 28 investigadores), en Convenio con el CONICET, incluido en 2008 dentro de la nueva estructura del Centro Tecnológico de San Luis. Los temas y grupos de trabajo son: Grupo de Sistemas Granulares y Redes Complejas; Laboratorio de Sólidos Porosos; Laboratorio de Membranas; Laboratorio de Fisicoquímica de Superficies; Grupo Cinética de Procesos en Superficies e Interfaces; Grupo de Simulación y Mecánica Estadística de Sistemas Complejos. El Centro también comprende el Instituto de Matemática Aplicada San Luis, IMASL (creado en 1982), en el cual se desarrollan actividades en Matemática Aplicada, Física y Física Biológica (aproximadamente 10 investigadores físicos).

De los 9 grupos que respondieron la encuesta, 9 hacen o pueden hacer aportes a la resolución de problemas concretos (100%) y 4 podrían hacer aportes a la sustitución de importaciones, en bienes y/o servicios (44%). Las dificultades mayores se encuentran en la falta de estudiantes, infraestructura, equipos y falta de reconocimiento de la importancia de la temática en algún caso.

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán (aproximadamentre 29 investigadores). Comprende los siguientes grupos y laboratorios: Grupo de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas; Laboratorio de Física de Fluidos y Electrorreología; Grupo de Investigación y Desarrollo en Docencia en Física (GIDDoF), Laboratorio de Biomecánica y Biofísica, Laboratorio de Dieléctricos; Laboratorio de Física de la Atmósfera (LAFIAT); Laboratorio de Nanomateriales y de Propiedades Dieléctricas; Laboratorio de Física del Sólido (LaFiSo); Laboratorio de Técnicas Satelitales (LTS); Grupo de Investigación en Física Nuclear; Grupo Interdisciplinario de Investigación en Enseñanza de la Física (GIIEF); Laboratorio de Ionosfera. También dentro de la misma Facultad se encuentra el ILAV, Unidad Ejecutora de doble dependencia CONICET-UNT, dedicada al desarrollo de tecnología en el campo de la luz, el ambiente y la visión.

De los 2 grupos que respondieron la encuesta, 2 hacen o pueden hacer aportes a la resolución de problemas concretos (100%) y 2 podrían hacer aportes a la sustitución de importaciones, en bienes y/o servicios (100%). Las dificultades mayores se encuentran en la falta de estudiantes, infraestructura, equipos y problemas con importación y viajes.

El Instituto de Física del Litoral, IFIS Litoral (aproximadamente 23 investigadores), creado en 2013, tiene sede en la ciudad de Santa Fe y depende del CONICET y de la UNL (Universidad Nacional del Litoral).

Las líneas de investigación se enmarcan dentro de las siguientes áreas: Simulación computacional de nanomateriales y dispositivos; Física de superficies; Magnetismo y biofísica; Modelado computacional de materiales nanoestructurados; Física de semiconductores nanoestructurados; Física de dispositivos fotovoltaicos; Física de polímeros.

De los 7 grupos que respondieron la encuesta, 5 hacen o pueden hacer aportes a la resolución de problemas concretos (71%) y 4 podrían hacer aportes a la sustitución de importaciones, en bienes y/o servicios (57%). Las dificultades son múltiples: falta de estudiantes, infraestructura, equipos, dinero para viajes, problemas de importación, suspensión de suscripciones a revistas.

Otras Unidades Ejecutoras del CONICET vinculadas al área de Física, Departamentos de Física, grupos de físicos o similares no descriptos en detalle: IMIT Conicet-UNNE (Modelado matemático), INTEMA e IFIMAR (Mar del Plata), Facultad de Ingeniería – UBA, CITEDEF-Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (LÁser, Materiales, Corrosión), Escuela de Ciencia y Tecnología-Universidad Nacional de San Martin (Física Medica, Nanotecnología, etc.), Universidad Nacional de General Sarmiento, INTEC-Santa Fe, Universidad Nacional de La Pampa, Universidad Nacional de Catamarca, Universidad Nacional de San Juan (Geofísica), IMAM (Instituto de Materiales de Misiones).

Como se puede observar, el conjunto de temáticas abordadas en los departamentos e institutos es muy amplio, cubriendo prácticamente todos los campos de la física más académica y tradicional como numerosas actividades interdisciplinarias, por ejemplo, cuestiones medioambientales o física medica, con lo cual la producción científica y tecnológica también se distribuye en áreas limítrofes a la física y hace difícil cuantificarla y evaluarla de una manera precisa. Por ejemplo, una búsqueda bibliográfica para el año 2013 en la base SCOPUS da 1.161 artículos regulares y de revisión con algún autor de afiliación argentina y sub-área Física (PHYS, lo cual significa P*hysics and Astronomy*), si se amplía a lo que se denomina Physical Sciences (que incluye actividades interdisciplinarias, Ciencias de la Tierra, Medio Ambiente, Química, Matemática, Ingeniería, Física y Astronomía, Computación) el número es de 4.282 y para todas las áreas del conocimiento el número correspondiente es 10.223. La Física en sentido restringido representa un 11% de la producción total y tiene una participación mayor, difícil de estimar con certeza, en la producción de las *Physical Sciences*.

Los lugares relevados representan una masa aproximada de 1.000 investigadores formados. El listado de encuestas dado más arriba es solo una parcialidad del universo completo de la investigación y desarrollo en física. Sin embargo el número es suficientemente elevado como para ser representativo.

El tamaño de los grupos varia significativamente, desde grupos unipersonales a grupos numerosos de hasta 20 integrantes (que constituyen en rigor departamentos con varias líneas de trabajo) en lugares establecidos y con mucha tradición. También es muy variable composición de los grupos en cuanto a la proporción de investigadores formados, jóvenes (incluyendo posdoctores) y doctorandos. La proporción de jóvenes varía especialmente, hay grupos sin investigadores jóvenes (0%) hasta grupos con 75% de jóvenes. El promedio es de 24%. En el caso de los doctorandos la dispersión no es tan grande; respecto de investigadores formados, se observan porcentajes entre 41% y 106%, con un promedio de 68%.

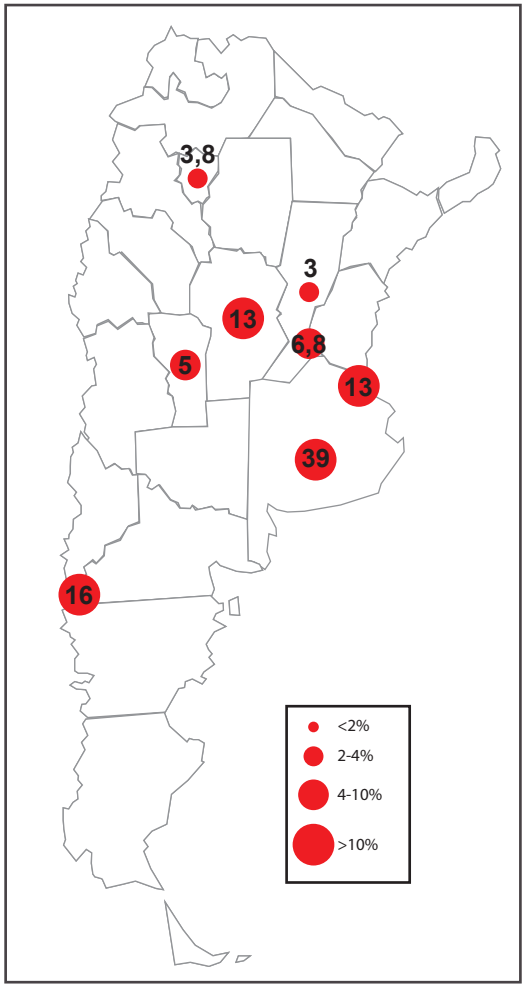


Gráfico 5.1. Porcentaje de físicos relevados por zona. *Fuente*: encuesta.

La evaluación de los números obtenidos en la encuesta indica una distribución no uniforme pero relativamente dispersa por todo el territorio nacional, solo aproximadamente proporcional a la densidad de población. Datos recientes indican la siguiente distribución poblacional en regiones: NOA: 9,2%; NEA: 12,3%; Cuyo: 7,1%; Región Pampeana (RP): 63,2%; Región Patagónica: 5,2%. Hay una mayor concentración de físicos en la RP: Provincia de Buenos Aires (39,5%; La Plata, CNEA-Constituyentes-San Martin, Bahía Blanca-IFISUR, Tandil-UNICEN, etc.) y CABA (13%; FCEyN), Córdoba (13,2%), Rosario (6,8%), Santa Fe (3%), seguidos por algunos centros con larga tradición en investigación: Bariloche-Patagonia (15,9%), San Luis-Cuyo (4,9%) y Tucumán-NOA (3,8%). En el caso del NEA hay centros en Entre Ríos y Misiones, pero no se dispone de la información detallada.

Infraestructura y financiación

El CONICET, como ejemplo, ha realizado inversiones importantes en recursos humanos, proyectos e infraestructura en los últimos años.

De acuerdo con un informe presentado por el presidente del CONICET, Dr. Roberto Salvarezza[6]: "el período 1983-2003 se caracteriza por un estancamiento, como surge del análisis de los recursos humanos, siempre cercanos a los 3.000 investigadores, y con caída clara del número de becarios. En cambio, a partir de 2003 se verifica un crecimiento sin precedentes en la formación de recursos humanos e infraestructura destinados a la investigación y al desarrollo tecnológico. El análisis con cifras del período mencionado, nos habla de un relanzamiento en el cual se revalorizó la ciencia y la tecnología no de manera declamativa sino en la práctica y en los presupuestos: se duplicó el número de investigadores llegando a 7.000, hubo un crecimiento exponencial con 9.500 becarios, y 192 centros distribuidos en todo el país. Del informe elaborado se desprende que, sobre 3.230 instituciones de investigación, entre ellas las mejores universidades del mundo, el CONICET está en el puesto 85, mientras que Argentina logra la posición 31 entre los países de mayor producción científica. Mientras que en 1997 ingresan al organismo 125 investigadores y se otorgan 300 becas, y en 2001 se incorporan 160 y 30 becarios, en 2004 entran 400 investigadores y se otorgan 1.300 becas. Al 2012, se constata la incorporación ese año de 606 investigadores y el otorgamiento de 3.900 becas doctorales y postdoctorales. Esta política permitió pasar de 488 científicos menores a 40 años en 2003, a 2.156 en 2012, en tanto que de 200 doctores anuales por becas otorgadas entre 1983 y 2002, se pasó a 900 doctorados en 2012. Unos 300

6 *CONICET, 30 años de democracia*, Gacetilla CONICET, 23-09-2013.

millones de pesos fueron destinados a obras de infraestructura en la última década, que junto al Plan de Obras para la Ciencia y la Tecnología del MINCyT, contemplan la construcción de más de 60 obras, con 32 ya inauguradas. Otros 400 millones se comprometieron para 11 obras proyectadas".

También se han inyectado recursos importantes al sistema desde la ANPCyT, tanto a través del FONCyT como del FONTAR.

Una situación similar se replica en las grandes instituciones de CyT de nuestro país. Por ejemplo, la CNEA, después de su desmembramiento en tres organizaciones en la década del 90 (CNEA, ARN y NASA), se encontraba en un estado de achicamiento debido a retiros voluntarios, congelamiento de vacantes y presupuestos de subsistencia o involución. La reactivación de la actividad nuclear trajo consigo la asignación de recursos importantes y la incorporación de personal joven, acciones que permitieron revertir la tendencia anterior. Esto permitió la terminación de la central nuclear Atucha 2, abandonada en las décadas anteriores, la iniciación de proyectos tecnológicos muy importantes como la construcción del reactor experimental y de producción de radioisótopos RA-10, el inicio de las obras del CAREM, el primer reactor de potencia íntegramente nacional, impulso del desarrollo de tecnologías de enriquecimiento de uranio, desarrollo de paneles solares de uso satelital, promoción del desarrollo de tecnología de aceleradores para usos médicos y nucleares, impulso de la micro y nanotecnología, para mencionar solo algunas de las iniciativas. Hubo un reequipamiento muy importante que redundó, en particular, en condiciones muy favorables para el desarrollo de la Física en la Institución.

Otro caso importante a mencionar son las inversiones de la CONAE en desarrollo de tecnología satelital y paneles solares, lo que finalmente desembocó en el desarrollo por INVAP y ARSAT del primer satélite argentino geoestacionario de comunicaciones.

Tanto las cifras del CONICET como las de las otras instituciones, forman parte de la inversión global en CyT que ha aumentado significativamente, en términos de porcentaje del PBI, en nuestro país en la última década. (ver Conclusiones y Recomendaciones).

Producción científica argentina

La cantidad total de publicaciones internacionales con autores argentinos en Física depende de la base de datos que se consulte y del alcance que se le dé a la especialidad Física. Para tener un criterio uniforme a los fines de este documento se han tomado artículos regulares y de revisión en revistas con referato en el área Physical Sciences, subárea PHYS (*Physics and Astronomy*) de a base SCOPUS.

Para el período 2003-2012 según el SCOPUS el total para el decenio fue de 9.517. La variación entre extremos (2012-2003) fue del 87% mientras que la variación entre el quinquenio 2008-2012 al 2003-2007 fue del 49%.

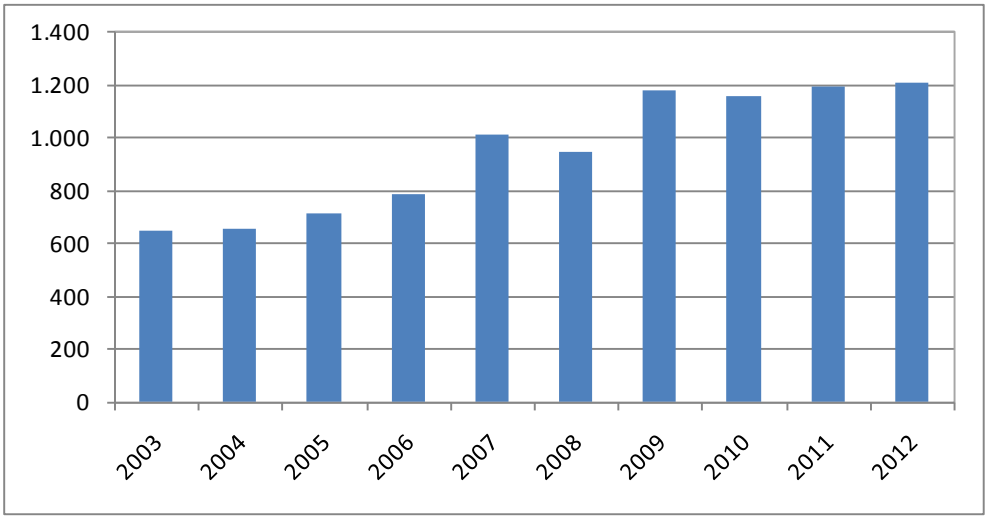
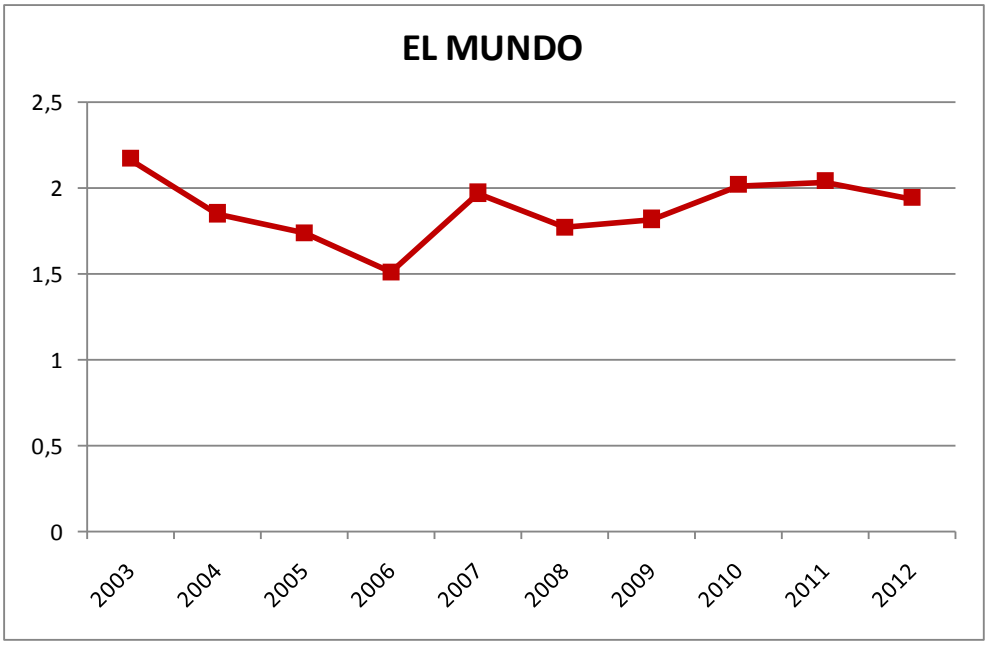
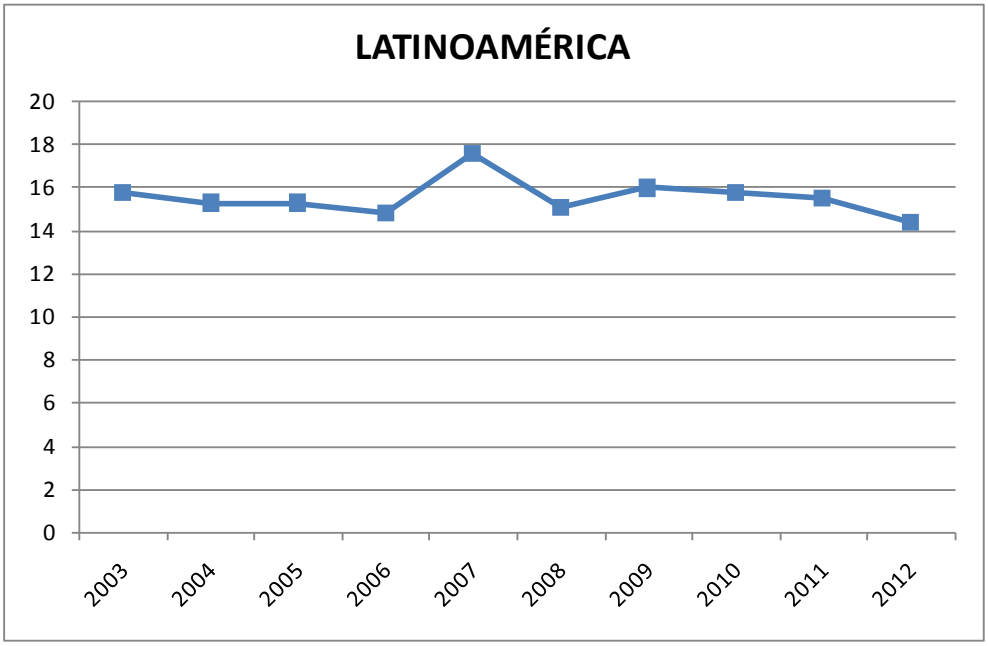


Gráfico 5.2. Número de artículos del área publicados en revistas indexadas en los últimos diez años con un autor argentino. *Fuente:* SCOPUS.





Gráficos 5.3. Porcentaje de artículos del área publicados en revistas indexadas en los últimos diez años con un autor argentino con respecto a la producción mundial y latinoamericana. *Fuente*: SCOPUS.

Para todos los países analizados, la producción en 2008-2012 fue superior a la del quinquenio anterior, pero las tasas de incremento no fueron iguales. Como en muchos otros aspectos, China fue uno de los países que más creció (136%). La Argentina muestra un crecimiento menor (49,2%) pero importante, muy similar al de Brasil (49,6%). En líneas generales, los países con mayor producción histórica son los que muestran tasas de incremento más bajas (EEUU: 32%, Reino Unido: 43%), aunque esto no se cumple en todos los casos.

La evolución temporal de la producción argentina en los últimos años en relación con la producción mundial es relativamente estable, manteniéndose entre el 1,5 y 2%. Lo mismo ocurre con respecto a Latinoamérica donde la participación argentina se mantuvo aproximadamente constante en alrededor del 16% (ver Gráficos 5.3).

Obviamente, las diferencias observadas en los valores absolutos son parcialmente debidas a diferencias entre los tamaños poblacionales de los países comparados, pero el análisis de las cifras indica que estas diferencias de tamaño no son el único factor responsable. A orden cero, normalizando los números de publicaciones producidas con el tamaño de la población económicamente activa (PEA) de cada país, estos deberían ser comparables, siendo las diferencias

atribuibles a los diferentes esfuerzos que realizan las diferentes sociedades en esta materia. De todos modos, después de esta normalización los números de Latinoamérica se vuelven mucho más homogéneos (ver Gráfico 5.4). Es interesante observar que con esta corrección Chile surge como el país más productivo de Latinoamérica (615 publicaciones por millón de habitantes), seguido por la Argentina (300) y Brasil (172) en tercer lugar.

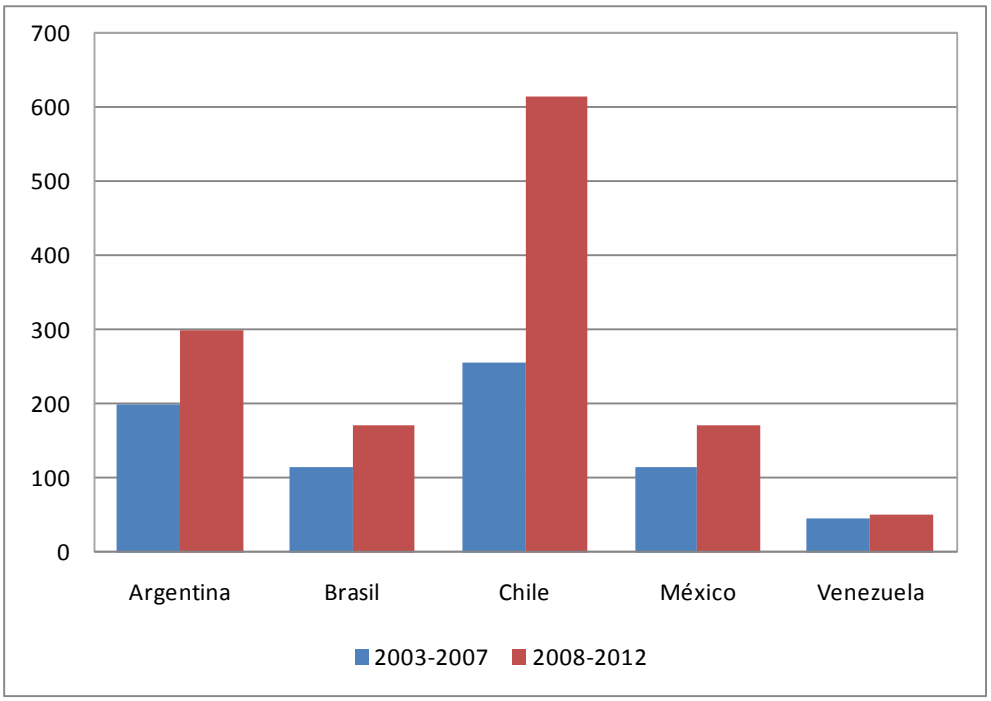


Gráfico 5.4. Números totales de artículos del área por millón de habitantes económicamente activos (PEA) en los períodos 2003-2007 y 2008-2012. Comparación con países de Latinoamérica. *Fuentes*: SCOPUS y Banco Mundial.

China, a pesar de su peso en valores absolutos debido al tamaño de su población, exhibe una productividad específica algo más baja que la nuestra (279). Es interesante observar que todos los países desarrollados, sobre todo Australia (1.648) y Canadá (1.585), muestran índices varias veces superiores a los del bloque latinoamericano y China. En otras palabras, su producción científica por habitante es aproximadamente 5 veces superior a la de Argentina. Estos datos corresponden al quinquenio 2008-2012 (ver Gráfico 5.5). Por otro lado estos números podrían estar contaminados por la producción debida a cooperación internacional que puede distorsionar la producción de cada país.

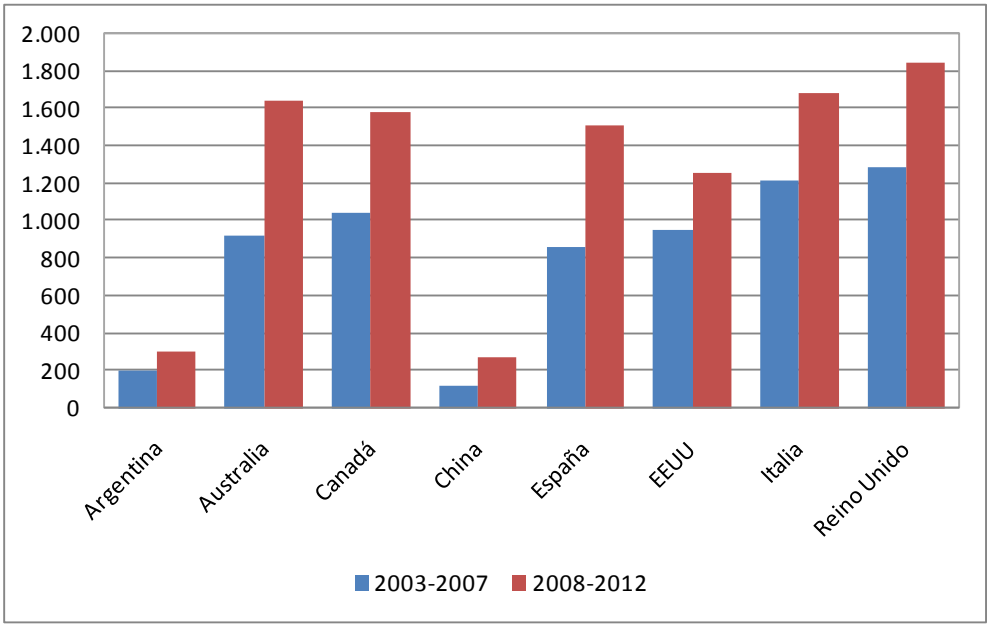


Gráfico 5.5. Número total de artículos del área por millón de PEA publicados en revistas indexadas por países, para los períodos 2003-2007 y 2008-2012. Comparación con países de Europa, Norteamérica, Asis y Oceanía. *Fuentes*: SCOPUS y Banco Mundial.

Otra visión sobre la productividad relativa de los países analizados se obtiene contrastando la cantidad de publicaciones con la inversión en ciencia. En este sentido, Chile surge como el país más eficiente en la inversión de sus recursos en ciencia, seguido por la Argentina. Algunos países desarrollados, con tasas de inversión muy superiores, muestran eficiencias sensiblemente más bajas, semejantes a las de Brasil; sin embargo esto no es un fenómeno general. Hay que señalar que la información que brinda esta comparación debe ser interpretada con cautela. En primer lugar, el cálculo de la inversión en ciencia no es igual en los diferentes países. En segundo lugar, la figura solamente computa la cantidad de publicaciones, pero no toma en cuenta otros productos de esta misma inversión como patentes, transferencia de tecnología, asesoramientos e involucramientos de todo tipo en actividades productivas. En estos rubros, la producción de Argentina y de Latinoamérica es muy inferior a la de los países industrializados. Hay que tomar en cuenta además que en los países industrializados hay una importante componente de inversión que proviene del sector privado. Con estas salvedades, los números sugieren que en la Argentina cada trabajo publicado en temas vinculados con la Física es sensiblemente más barato que en los países desarrollados.

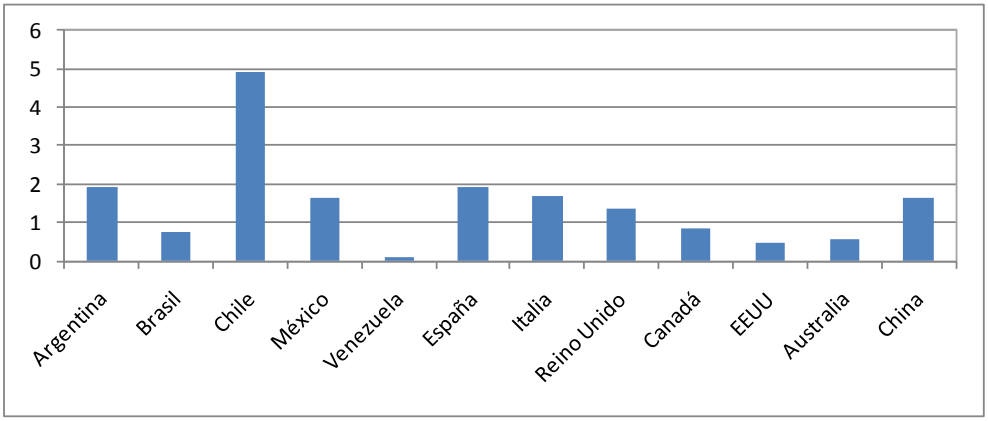


Gráfico 5.6. Publicaciones en Física período 2008-2012 por inversión en millones de dólares en Ciencia y Técnica. *Fuentes*: SCOPUS y Banco Mundial.

Entre los organismos argentinos con mayor producción científica en Física la Universidad de Buenos Aires es el más importante, representando actualmente un 23,1%. del total (los números totales de trabajos argentinos son 3.818 y 5.699 en los periodos 2003-2007 y 2008-2012 respectivamente). Su peso relativo permaneció constante, del 23,5% en 2003-2007, al 23,1% en 2008-2012. Le siguen la Comisión Nacional de Energía Atómica (19,9% al 17,5%), la Universidad Nacional de La Plata (18% a 22,1%), el CONICET (13,3% al 18,4%), la Universidad Nacional de Córdoba (7,8% al 6,4%) y luego otras instituciones con valores menores. Se incluye el CONICET para apreciar que fracción del sistema está relacionada con este organismo de promoción, si bien la mayoría de los investigadores con esta filiación también revistan en otros organismos de CyT.

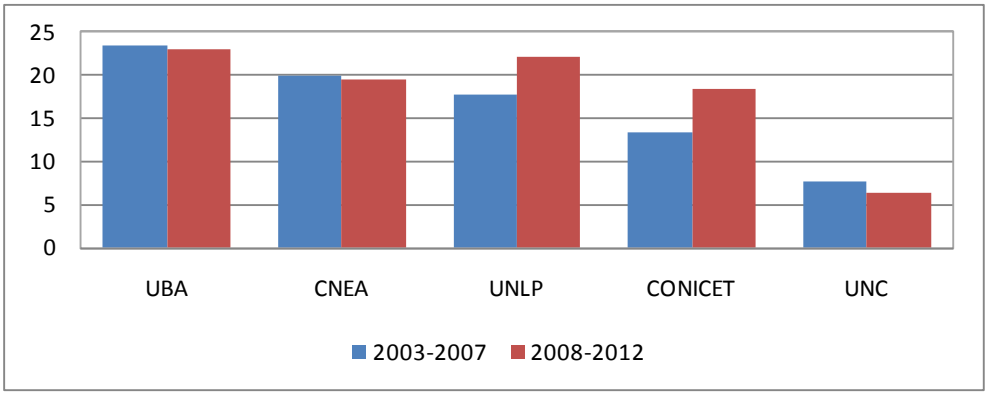


Gráfico 5.7. Porcentajes de publicaciones respecto del total de la producción argentina, por institución. Períodos 2004-2008 y 2008-2012. *Fuente*: SCOPUS.

Es interesante consignar el número de citas promedio de los artículos para ver si hay diferencias significativas en este parámetro. De hecho las diferencias no aparecen como muy significativas.

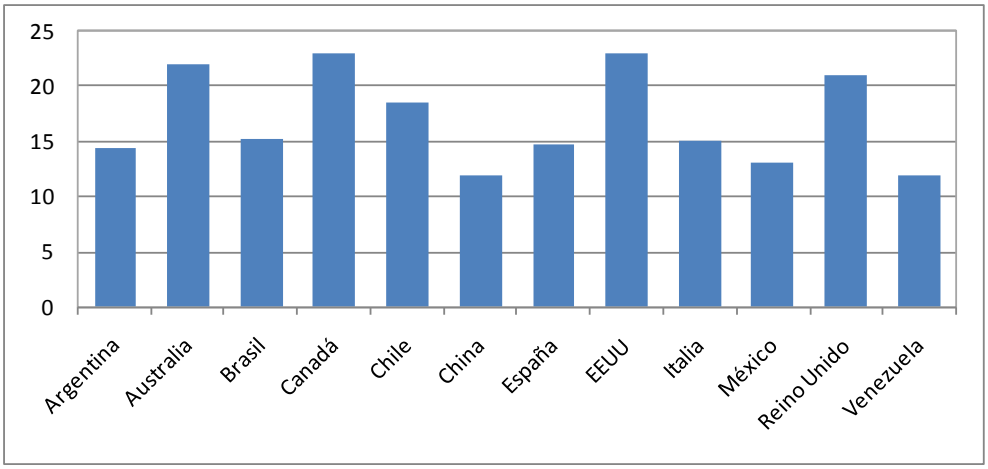


Gráfico 5.8. Número de citas promedio por artículo de cada país incluido en la comparación. Período analizado: 2003-2007. *Fuente*: SCOPUS.

El nivel de cooperación científica se ha medido a través del porcentaje de artículos con autores de ambas nacionalidades. Se nota un aumento, en todos los casos, del número de trabajos conjuntos, con aumentos de porcentajes variables.

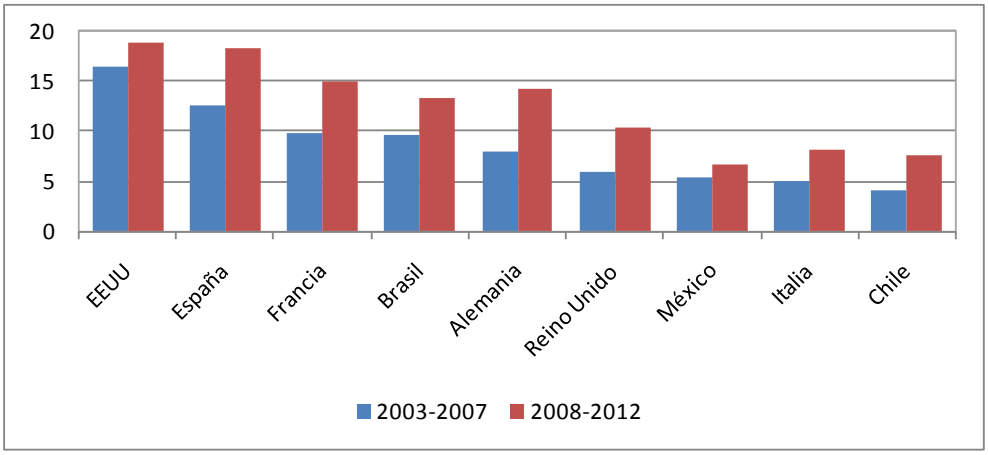


Gráfico 5.9. Países con los que Argentina ha establecido los mayores índices de colaboración, medidos por el número de artículos con autores de ambas nacionalidades. *Fuente*: SCOPUS.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Según información suministrada por la CONEAU y la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU), hay 29 programas de formación de grado en física (2 privados y 27 públicos). Se darán cifras de egresados en el periodo 2003 a 2012, tanto en carreras de grado como de posgrado (doctorados y maestrías).

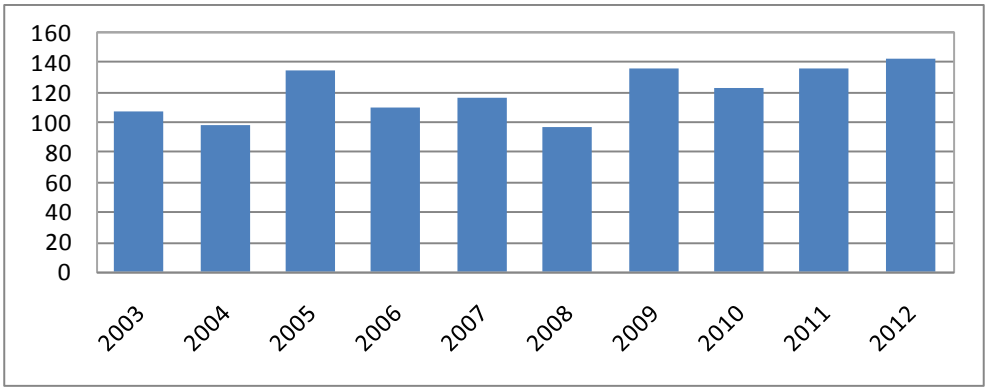


Gráfico 5.10. Evolución del número de egresados en carreras de grado en los últimos diez años. Se grafica el número de egresados en universidades públicas y privadas en el período 2003-2012. *Fuentes*: Ministerio de Educación, CONEAU y CUCEN.

Se puede apreciar que el número ha sido bastante constante, con una cierta tendencia al crecimiento (100 a 140 por año, aproximadamente).

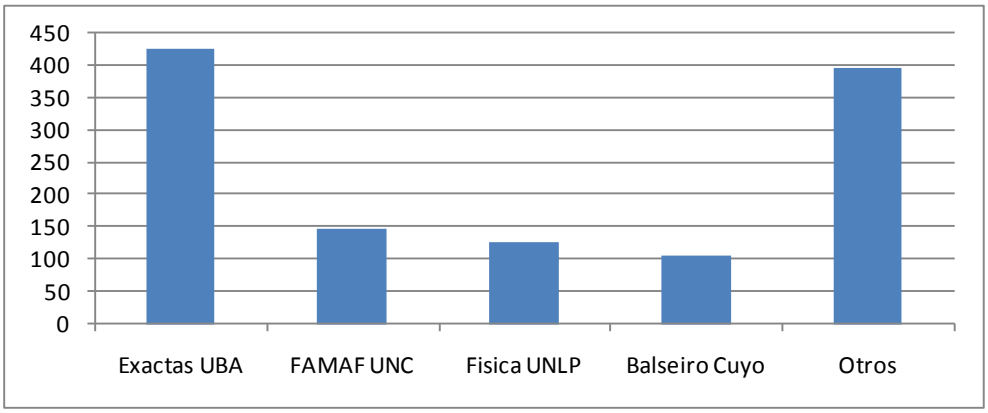


Gráfico 5.11. Principales centros de formación de estudiantes de grado en el país, egresados acumulativos del período 2003-2012. *Fuentes*: MinEdu, CONEAU y CUCEN.

Hay 9 programas de maestría y 16 de doctorado (Exactas-UBA, Centro de la PBA-Tandil, Balseiro-Cuyo, FAMAF-Córdoba, La Pampa, Física-La Plata, Litoral, Universidad de Mar del Plata, UNER-Nordeste, IFIR-Rosario, Salta, San Luis, CNEA-UNSAM-San Martin, UNISUR-Bahía Blanca, Tucumán) en Física en nuestro país. En el gráfico 5.11 se muestra su evolución en los últimos 10 años. El crecimiento aparente es consecuencia de la tardía incorporación de datos de algunos de los centros más importantes a la estadística.

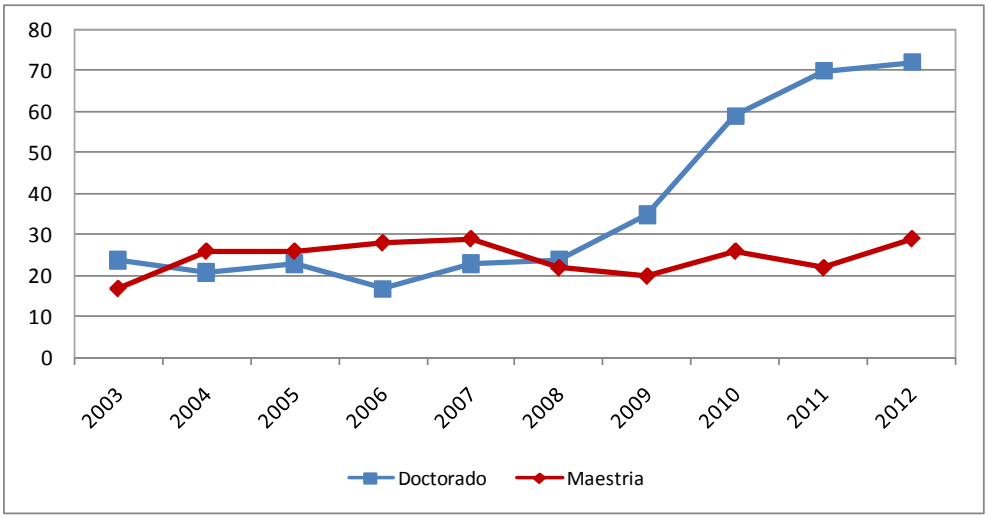


Gráfico 5.12. Evolución del número de egresados en carreras de maestría y doctorado en los últimos diez años. *Fuentes*: Ministerio de Educación, CONEAU y CUCEN.

El número de programas parece adecuado y tiene mucho potencial para aumentar su capacidad. Si el número de doctores egresados por año (aproximadamente 70) es apropiado o no, debe resultar de un estudio socioeconómico sobre las necesidades en esta materia de un país que proyecta industrializarse. A juzgar por algunas cifras a nivel internacional, esta producción de egresados aparece como muy exigua (ver Conclusiones y Recomendaciones).

SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS

Algunas de las especialidades de la Física cuentan con asociaciones profesionales. Las actividades de estas asociaciones incluyen:

La organización de congresos y simposios, ya sea independientes o en el marco de congresos de disciplinas más amplias, normalmente con una periodicidad definida; la selección y entrega de premios o distinciones, frecuentemente a investigadores jóvenes de la disciplina, normalmente en el marco de reuniones periódicas; el mantenimiento y administración de listas de correo electrónico (o listas de interés) para intercambio de información entre los suscriptos; la edición de revistas científicas de la especialidad; la organización de cursos o seminarios sobre temas destacados de la especialidad, frecuentemente en el marco de los congresos; apoyo y colaboración con las asociaciones de amateurs en la misma temática.

Entre las asociaciones más activas en la Física y áreas afines están las siguientes:

Asociación Física Argentina (AFA)

Se creó en la ciudad de La Plata, el 26 de agosto de 1944, en ocasión de realizarse la tercera reunión del Núcleo de Física, cuyas dos primeras reuniones se realizaron en Córdoba y en Buenos Aires. En ese momento se estableció que las finalidades de la AFA serían la de reunir a todos aquellos que en la República Argentina cultivaran el estudio de la Física y la Astronomía, y fomentar en todas las formas que estén a su alcance el adelanto de dichas ciencias.

Conforman la AFA en este momento unos 1.100 Socios Activos (350 mujeres y 750 hombres) y 400 Socios Estudiantes (casi igual número de mujeres y hombres) distribuidos en 8 filiales a lo largo del país: Buenos Aires, La Plata, Córdoba, Bariloche, San Luis, Santa Fe, Tucumán, Sur (Bahía Blanca, Tandil, Mar del Plata).

La asociación está dirigida y administrada por una Comisión Directiva integrada por un Presidente, un Secretario, un Tesorero y ocho Vocales (uno por cada filial). A su vez, las filiales están gestionadas por un Presidente y un Tesorero. Todas estas autoridades se renuevan cada dos años mediante la elección directa de los socios.

Entre los objetivos planteados se resuelve la realización de reuniones periódicas donde se expondrán los resultados de investigaciones científicas originales (comunicaciones) y se expondrán resúmenes de actualización sobre

temas de importancia fundamental (informes). Desde 1944, estas reuniones se vienen llevando a cabo, de manera ininterrumpida. La reunión anual de la AFA se ha convertido en la reunión por excelencia de la comunidad física nacional y ha tomado un lugar irreemplazable en la actividad de la Asociación. Durante los primeros tiempos de vida de la AFA se realizaron varias reuniones por año. Más tarde, esta modalidad cambió a una reunión anual, llevada a cabo generalmente durante la última semana de setiembre y recorriendo las ocho filiales de la asociación. En el 2009 y en 2011 la reunión se realizó en forma conjunta con la Sociedad Uruguaya de Física, y se planea en algún momento extender esto a Brasil y Chile como una forma de afianzar vínculos con los países de Latinoamérica.

Sociedad Argentina de Materiales (SAM)

El 20 de diciembre de 1955, reunidos en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, un grupo de jóvenes profesionales de distintas disciplinas del quehacer intelectual metalúrgico, fundaron la Sociedad Argentina de Metales. El 15 de marzo de 1993, en la ciudad de Rosario, Provincia de Santa Fe se refunda esta asociación con el nombre de Asociación Argentina de Materiales, conservando sus fines que entre otros son:

Promover el conocimiento y difusión de la ciencia de los materiales; fomentar, coordinar y orientar su estudio, investigación y enseñanza; vincular las personas que se dediquen a ella o se interesen en su desarrollo y propender al mantenimiento de un elevado carácter científico entre sus miembros.

Editar y/o subvencionar publicaciones, en forma de folleto o revista, de carácter técnico-científica, destinadas a informar adecuadamente sobre las actividades desarrolladas y orientaciones de la asociación.

Sociedad Argentina de Física Médica (SAFIM)

La Sociedad Argentina de Física Médica es una asociación civil sin fines de lucro constituida el 15 de marzo de 1995, con el propósito de reunir a todos aquellos que realicen investigación básica o aplicada, actividad docente, desarrollo o trabajen en temas de Física Médica en todo el ámbito de la República Argentina. Propicia el progreso de la Física Médica a través de las ciencias vinculadas a su ejercicio; patrocina la realización de conferencias, jornadas, reuniones, simposios, congresos y cursos de la especialidad; se vincula con asociaciones, sociedades, agremiaciones y/o cualquier entidad intermedia, del país o del extranjero con objetivos afines a los aquí expuestos; representa a sus asociados internacionalmente en el área de la Física Médica;

promueve la publicación y difusión de trabajos científicos relacionados con la Física Médica y colabora y presta asesoramiento sin fines de lucro a los organismos públicos, privados y/o de cualquier índole, que pudieran tener competencia en la regulación de las actividades vinculadas a la Física Médica. SAFIM es la única sociedad de físicos médicos de la Argentina con más de 170 miembros especializados en diferentes aéreas diagnósticas y terapéuticas de la Física Médica. Como organización líder, la Sociedad está dedicada a mejorar el desarrollo profesional de sus miembros por medio de la educación, la práctica clínica y diferentes actividades para el avance de la ciencia.

Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES)

Fue fundada en 1974. Su sede se encuentra en la ciudad de Buenos Aires. En la actualidad, tiene aproximadamente 300 miembros que representan a las principales instituciones, universidades, laboratorios, ONG ambientales y empresas de la Argentina. Es la organización más antigua e importante del país en la promoción, uso e implementación de energías renovables.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Física tiene un desarrollo de grado medio en nuestro país. Argentina claramente sobresale en volumen y eficiencia en el contexto latinoamericano (siempre normalizando al tamaño, medido por la PEA, ver tabla 5.1). Si bien no hay datos confiables sobre el número de físicos en muchos países del mundo si los hay en algunos. En particular, hace relativamente poco tiempo (2010), se ha hecho un estudio profesional muy exhaustivo sobre los físicos en Alemania por encargo de la Sociedad Alemana de Física (DPG, *Deutsche Physikalische Gesellschaft*). El título del trabajo es: *Físicos en la profesión, desarrollo del mercado laboral, posibilidades de inserción, demografía*. El informe es muy extenso y abarcativo y solo se pueden mencionar algunos datos aquí[7]. El caso de Alemania es interesante pues se trata de uno de los países más industrializados del mundo. En ese momento había 123.000 físicos en Alemania, lo cual representaba un 0,15% (1 cada 670 habitantes) de la población total de 82 millones, del orden del doble de la población de nuestro país. Aproximadamente el 38% de estos tiene un doctorado. Algo menos de la mitad está afiliado a la DPG (60.000). La participación de físicos en empresas que hacen I&D es alta y una de las conclusiones del estudio es que juegan un papel muy importante en la generación de innovación y valor agregado en la economía alemana. En nuestro país el número de físicos es solo estimativo. Hemos visto que hay 1.100 físicos afiliados a la AFA. Nuestro relevamiento abarca a aproximadamente 1.000 físicos que es una parte sustancial de aquellos físicos que trabajan en organismos públicos de I&D.

Hemos podido determinar también que en los últimos 10 años han egresado aproximadamente 1.200 físicos. Se puede estimar que en los 30 años previos (es decir desde 1973 a 2003) se recibieron otros 2.000 a 3.000. Otra manera de estimar el número, parte de considerar que la participación de físicos en la población de investigadores es del 10% (esto es aproximadamente así en el CONICET con lo cual habría unos 700 doctores y 950 becarios físicos en ese organismo[8]. Si tomamos el número de 57.000 investigadores totales dado para nuestro país por el Banco Mundial (tabla 5.1) podríamos tomar 5.700 como un límite superior del número de físicos (dado que el número del Banco Mundial podría tener ese carácter). Vemos que hay cierta consistencia entre estos números. Podríamos tomar 4.000±1.500 como un valor representativo. Con esto la proporción de físicos en la población argentina sería de 0,010±0,004%, o sea 15±6 veces menor que en Alemania. Estos números sugieren que hay

7 www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/broschueren/studien/arbeitsmarkt_2010.pdf
8 *CONICET, 30 años de democracia*, Gacetilla CONICET, 23-09-2013.

mucho espacio para el crecimiento de la profesión en la medida en que nuestro país persista en el camino de la industrialización; también se podría decir que producir más físicos contribuiría a tal fin.

En lo que sigue se harán consideraciones generales sobre Ciencia y Técnica (CyT). Podemos considerar aproximadamente que la participación de la Física es de un 10%. Se ha avanzado mucho en los últimos 10 años, habiéndose incrementado de manera importante el porcentaje del PBI que se dedica a CyT (de 0,40±0,05 a 0,65, dependiendo de la fuente de información que se adopte, lo cual lleva a un incremento de 63±8 %) sobre un PBI que se ha duplicado en moneda constante y con una población que no ha crecido significativamente. Sin embargo, la brecha que nos separa del mundo industrializado es importante, como se ha visto a lo largo de este documento. Si queremos seguir el camino de una sociedad del conocimiento y lograr competitividad en algunas áreas, el porcentaje del PBI que se destina a CyT debería duplicarse en los próximos años y con esto estaríamos al nivel de Brasil y aún lejos de los países más desarrollados. Este incremento podría ayudar a nuestro país a resolver con cierta autonomía algunas problemáticas concretas y a sustituir importaciones, en particular algunas de alto valor agregado.

Este documento y las encuestas realizadas sugieren que hay una buena disposición en ese sentido dentro de la comunidad de físicos en nuestro país. Esto debería ser aprovechado por las autoridades nacionales y provinciales para invertir en algunas de las áreas mencionadas, apuntalando y profundizando las políticas impulsadas en los últimos años. Un tema de suma importancia, no solo en el área de CyT, es el mejoramiento de la eficiencia en la gestión y administración de los recursos, apuntando a disminuir los tiempos involucrados en todos los procesos administrativos y también la carga burocrática de los investigadores científicos y tecnológicos del sistema.

En la Tabla 5.1, en página siguiente, mostramos algunos datos generales para dejar claro el contexto. Primero se observan algunos datos macroeconómicos que permiten apreciar la evolución de nuestro país en relación a otros países de la región y del mundo, desde el 2002 hasta 2011-2012. Nuestro país duplica su PBI en este período (de 230.000 Millones de USD a aproximadamente 500.000) y también aumenta significativamente (63±8 %) el porcentaje del PBI que destina a CyT. También se duplica el número de investigadores (de 25 k a 57 k).

La producción científica en Física, medida en número de trabajos publicados en revistas indexadas (con un autor de filiación argentina, en SCOPUS), creció también en la misma proporción. El número de investigadores de Brasil creció en el mismo período de manera similar (80%).

El número de investigadores por millón de población económicamente activa (PEA) es de 3.000 en nuestro país, el número más alto de la región (Brasil tiene la mitad, 1.400). EEUU tiene 3 veces más (9.100) y además invierte 16,7

veces más en ciencia por millón de PEA. Sin embargo la producción científica en Física (medida por el número de trabajos publicados en revistas indexadas) también por millón de PEA es solo 4 veces mayor. Si normalizamos con la inversión en CyT por millón de PEA el índice de Argentina es de 1,9 y el de EEUU es de 0,476, siendo la relación un factor 4. Este índice, sin embargo, parece ser mucho mejor en otros países industrializados (por ejemplo 1,355 en el Reino Unido). También hay que tomar en cuenta que la productividad en CyT no solo se mide en producción de publicaciones sino en otros resultados muy relevantes que hacen a la transferencia al medio socio-productivo, como se mencionó más arriba. En estos otros indicadores nuestro país tiene mucho espacio para mejorar.

PAÍS	Investigadores por PEA (1)	PEA (2)	Investigadores (3)	PBI (4)	%PBI (5)	Inversión (6)	Inversión por PEA (normalizado a Argentina) (7)	Publicaciones en Física por Inversión (8)
Argentina	3	19	57	0.5	0,6	3	158 (1)	1,900
Brasil	1,4	105	147	2,2	1,1	24	228 (1,44)	0,753
Chile	0,7	8	5,6	0,26	0,4	1	125 (0,79)	4,920
México	1	53	53	1,1	0,5	5,5	104 (0,66)	1,657
Venezuela	0,4	14	5,6	0,4	2,5	10	2.500 (15,8)	0,073
España	5,8	23	133,4	1,3	1,4	18	783 (4,96)	1,931
Francia	8,3	30	249	2,6	2,3	60	2.000 (12,7)	1,086
Italia	4,2	26	109,2	2	1,3	26	1.000 (6,33)	1,689
Reino Unido	8	33	250	2,5	1,8	45	1.363 (8,63)	1,355
Canadá	7,9	19	150,1	1,8	2	36	1.895 (12,0)	0,837
EEUU	9,1	159	1.447	15	2,8	420	2.641 (16,7)	0,476
Australia	8,1	12	97,2	1,5	2,4	36	3.000 (19,0)	0,549
China	4,3	800	3.440	8	1,7	136	170 (1,08)	1,641

Tabla 5.1. (1) Miles de investigadores por millón de personas económicamente activas (PEA). (2) PEA en millones. (3) Miles de investigadores. (4) PBI en billones de dólares. (5) Porcentaje de la inversión en CyT del PBI. (6) Inversión en ciencia en miles de millones de dólares. (7) Inversión en miles de millones de dólares por PEA en millones de personas y normalizado a Argentina. (8) Publicaciones en Física (2008-2012) por millón de dolares invertido en CyT. *Fuente*: Banco Mundial, 2011.

Si Argentina quiere seguir profundizando el camino para llegar a parámetros más parecidos al primer mundo debe seguir incrementando su inversión en CyT, medida en porcentaje del PBI. Esto es altamente deseable porque el PBI per cápita (y por ende el nivel de vida de la población) está fuertemente correlacionado con el porcentaje de inversión en CyT. Una meta largamente prometida es el 1% del PBI. En contrapartida, esta inversión debe estar acompañada por un mayor esfuerzo de la comunidad en desarrollo de tecnología y su transferencia al medio socio productivo. Hay buena disposición de la comunidad en involucrarse en esta problemática, de acuerdo con el resultado de las encuestas de físicos (un 81% está dispuesto a involucrarse en la resolución de problemas concretos y un 50% piensa que podría contribuir a sustituir algún bien o servicio importado) lo cual debería ser aprovechado por los administradores del sistema de CyT como argumento para incrementar la inversión a cambio de este mayor involucramiento.

CAPÍTULO 6
GEOLOGÍA

Coordinador
Víctor Ramos
UBA, IDEAN (UBA-CONICET), Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Colaboradores
Carlos Cingolani, UNLP, CIG (UNICEN), La Plata
Carlos Costa, UNSL, San Luis
Miguel Haller, UNPSJB, Comodoro Rivadavia
Ricardo Alonso, UNSA, Salta

Agradecimientos

Son numerosas las personas de las que se recabó información y se agradece a los responsables de los principales centros de investigación y de los departamentos de universidades nacionales, a los que a través de la encuesta brindaron información u opiniones sobre los temas consultados. También se agradece a los colaboradores que analizaron la información obtenida.

METODOLOGÍA

Se procedió a realizar una encuesta entre los principales centros de investigación geológica del país, cuyos datos fueron complementados por requerimientos a diferentes departamentos de universidades nacionales donde se enseña geología, e información provista por diferentes fuentes. La base de datos utilizada se indica al pie de los gráficos que acompañan el presente informe.

Sobre esta base se realizó una evaluación de la información obtenida, que se analizó con los diferentes colaboradores y que se presenta en este informe final.

DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

El área evaluada ha sido la Geología en el sentido más amplio del término. Se han incluido también la Geofísica y la Geoquímica como disciplinas fuertemente asociadas con las Ciencias de la Tierra. Se ha excluido la Paleontología, cuyo análisis se presenta en forma independiente en el Capítulo 9, así como los aspectos geológicos de la Oceanografía, tratados en el Capítulo 8.

Así circunscripta, se puede definir el área evaluada como la disciplina que estudia el origen, formación y evolución de la Tierra, los materiales que la componen y su estructura abarcando una serie de disciplinas que se definen a continuación.

Disciplinas incluidas

Mineralogía, Petrología y Volcanología: Comprende el estudio de los diferentes tipos de minerales y rocas.

Geoquímica: Trata sobre las características químicas de las rocas como medio de definir el ambiente de formación.

Sedimentología: Estudia los sedimentos, las rocas sedimentarias y los ambientes de sedimentación.

Geología Minera: Estudia las características de los yacimientos minerales y su formación.

Estratigrafía: Trata de establecer las secuencias temporales de cada unidad de roca y sus correlación con otras de igual edad.

Geología Estructural y Tectónica: Estudia la estructura de la corteza y su evolución a través del tiempo.

Geología Superficial y Ambiental: Estudia los procesos que se producen en la Zona Crítica y los cambios en el ambiente y su impacto.

Geología de Combustibles: estudia los procesos y rocas que llevan a la formación del petróleo, gas y carbón.

Geología Aplicada a la Ingeniería: Estudia las características mecánicas de las rocas que condicionan su uso ingenieril.

Geofísica y Prospección Geofísica: Estudia los métodos físicos indirectos que permiten conocer características de la corteza y el manto.

Geocronología y Geología Isotópica: estudia los métodos para calcular la edad de las rocas y sus características isotópicas.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

La Geología está atravesada, como muchas otras disciplinas científicas, por una eclosión de temas de investigación en sus más diferentes aspectos. Si tratamos de ver un común denominador en los temas de frontera que se están investigando en diferentes partes del mundo, se podría reunirlos en el Sistema Tierra (*The Earth System*) y los estudios de la Zona Crítica (*The Critical Zone*). Se entiende como Sistema Tierra el conocimiento del funcionamiento de la Tierra desde su interior hasta la superficie, comprendiendo todos los procesos que interactúan, tanto físicos como químicos y biológicos. Así definido el Sistema Tierra incluye la Tierra, los océanos, la atmósfera y sus casquetes polares. Trata de entender los grandes ciclos naturales a través de los cuales elementos vitales como el carbono, el nitrógeno, el fósforo y el azufre circulan alrededor del planeta; el movimiento del agua entre el mar, el cielo, los ríos y el hielo; la imperceptibilidad de los lentos eventos que transcurren en su interior y que crean y destruyen continentes y océanos a través del tiempo. Esta búsqueda del conocimiento de los procesos del Sistema Tierra hace aún más necesaria la interdisciplinaridad de la investigación, diluyéndose cada vez más los límites entre las diferentes disciplinas. Con sólo observar los temas de frontera que se publican en las revistas líderes de Ciencias de La Tierra como *Nature Geosciences, Earth and Planetary Science Letters, Gondwana Research*, entre otras, surgen los temas más acuciantes para su entendimiento.

Sistema Tierra

La relación nitrógeno-fósforo (*Redfield's rate*) en la materia orgánica es similar a la que se observa en el agua del mar y podría estar afectada por la emisión de nutrientes producto de la actividad humana en nuestros días. Es por lo tanto importante establecer esta relación con proxies indirectos, producto de la sedimentación marina a través del tiempo en los más diversos ambientes marinos. Es necesario revisar si a través de la historia de la Tierra hubo cambios asociados a modificaciones en los niveles de oxígeno en los océanos vinculados a variaciones en el fitoplancton.

Las variaciones temporales en los depósitos fluviales pueden atribuirse a diferentes causas, habiéndose demostrado que las variaciones climáticas y los deslizamientos producidos por los terremotos en las cabeceras del sistema tienen un rol subordinado con respecto a la actividad antrópica. Las grandes represas atrapan gigatoneladas de sedimentos, lo que pueden inducir cambios notables en la capacidad de erosión de los ríos y el desarrollo de los deltas en los

márgenes continentales, los cuales son de vital importancia por sus nutrientes en las áreas litorales.

Otro tema de relevancia es la relación de la tectónica vs. forzamiento climático (*climatic forcing*), en diferentes escalas espacio-temporales, desde la formación de montañas hasta evolución de las grandes llanuras. En especial a escalas temporales del orden de millones de años.

Los procesos de subducción llevan carbono al interior de la Tierra a través de fluidos acuosos que contienen CO_2 y metano. Los nuevos cálculos realizados indican que diferentes tipos de carbono se pueden encontrar en cantidades suficientes como para influenciar el ciclo profundo del carbono en la astenósfera y el manto superior.

La distribución de los sismos más devastadores generados en las zonas de subducción a lo largo de todo el mundo sugiere que son más frecuentemente producidos cuando la corteza oceánica subducida es más joven y tiene una alta flotabilidad. El análisis del estado de tensión y los mecanismos de deformación asociados son de vital importancia para prevenir y mitigar desastres naturales en estas regiones

El registro geológico de la actividad de grandes deslizamientos gatillados por la actividad sísmica muestra que es un proceso dominante en los más diversos ambientes continentales. Los nuevos estudios realizados mediante isótopos cosmogénicos (tales como el Be_{10}) han mostrado que esta nueva herramienta aplicada a clastos individuales de los depósitos puede brindar interesantes resultados para evaluar la distribución espacial y temporal de estos depósitos.

Diversas iniciativas están basadas en el estudio de los planetas terrestres y otros cuerpos celestes, que permiten inferir los estadios evolutivos iniciales de la Tierra. Su aplicación al entendimiento de procesos cada vez más sofisticados va en aumento, en especial las investigaciones geoquímicas que se realizan en el planeta Marte.

La Zona Crítica

Los estudios de La Zona Crítica son aquellos que analizan la capa permeable cercana a la superficie desde el tope de los árboles hasta la base del agua subterránea. Esta es una capa límite (*boundary layer*) que vive, respira y evoluciona constantemente donde interactúan la roca, el suelo, el agua y los organismos vivos. Estas interacciones complejas regulan nuestro hábitat natural y determinan la disponibilidad de recursos que sostiene la vida, incluso la producción de alimentos y la calidad del agua. Nuevamente esta zona crítica está en la intersección de diversas disciplinas, donde la geología y la biología son una parte fundamental para su conocimiento y que requiere de investigaciones

multidisciplinarias en los campos de pedología, hidrogeología, geofísica, ecología, biogeoquímica y geomorfología.

Temas de frontera

Cada una de las subdisciplinas trata temas específicos donde hay un gran desarrollo actual, que en parte se mencionan en las encuestas recibidas y en un sentido amplio, a su vez se entroncan con el Sistema Tierra. Por ejemplo, en la neotectónica los estudios paleosismológicos y morfotectónicos combinados con nuevos desarrollos isotópicos para la datación de superficies y clastos están produciendo un rápido aumento del conocimiento de los procesos involucrados.

La geocronología con los estudios de circones y otros minerales a través de los isótopos de U/Pb con métodos más sofisticados permiten conocer la edad de cristalización de las rocas, con una precisión mayor a los 10.000 años en mediciones de rocas de más de 100 millones de años.

En la geofísica los estudios sismológicos a través de tomografías muy diversas, desde el ruido ambiental hasta fuentes pasivas asociadas a terremotos, hacen posible identificar la estructura profunda y superficial de la Tierra, la distribución de la temperatura en su interior, su flujo calórico y la dinámica de las zonas de subducción y expansión del fondo oceánico. Estos estudios combinados con levantamientos de GPS de alta precisión permiten observar las mínimas oscilaciones de la superficie de la Tierra producida por terremotos, inundaciones catastróficas, acciones antrópicas, inflaciones volcánicas, entre otros.

En la petrología el avance en las técnicas experimentales de análisis, junto con el estudio de los ciclos naturales de los diferentes elementos, está concentrando los estudios para discernir los balances de masa de distintos elementos formadores de rocas en diferentes ambientes geotectónicos en el tiempo y en el espacio.

La sedimentología está haciendo fuertes avances en el análisis de las áreas de procedencia de los sedimentos a través de sofisticados sistemas isotópicos de alta y baja temperatura, que combinados a trazas de fisión en diferentes minerales, permite reconstruir con precisión las etapas del ciclo sedimentario y la paleogeografía durante su depositación.

La geomorfología y el análisis morfotectónico con la introducción de nuevas herramientas de alta resolución como el LIDAR y los sensores teledirigidos (drones) facilitan la reconstrucción de la topografía y examinar los procesos que la modelan.

Los estudios paleoclimáticos, en especial las variaciones a través del tiempo, se están convirtiendo en análisis imprescindibles para evaluar la génesis de los cambios climáticos actuales que afectan el medio ambiente.

Numerosos estudios ambientales evaluados a partir de los procesos

geológicos, intentan definir los parámetros y límites de un desarrollo sostenible en el tiempo que no afecte a las generaciones futuras.

Todas estas áreas de frontera en mayor o menor medida quedan comprendidas en el Sistema Tierra y en la Zona Crítica, los dos grandes temas que impulsan a la geología y disciplinas asociadas en nuestros días.

ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

La Geología es una disciplina que tiene una extensa historia desde los comienzos de la organización nacional del país gracias a figuras como Juan María Gutiérrez y Domingo Faustino Sarmiento, quienes a partir de 1862 sentaron las bases de la enseñanza e investigación geológica en la Argentina.El primero en la Universidad de Buenos Aires y el segundo a partir de 1869, con la creación de la Academia Nacional de Ciencias. A partir de 1865, la UBA comienza el dictado de la Geología en forma ininterrumpida, a través de Pellegrino Strobel; la Academia Nacional de Ciencias, por su parte, aloja a los primeros geólogos que desarrollaron la enseñanza y la investigación geológica de nuestro país. A estas se suman a fines del siglo XIX la creación del Museo de la Plata en 1884, posteriormente incorporado a la Universidad Nacional de La Plata y sus investigaciones geológicas asociadas al establecimiento de los límites con Chile. Estas investigaciones se complementan con la creación del Servicio Geológico Nacional, con sus diferentes denominaciones a través del tiempo, que trae al país una pléyade de geólogos alemanes, quienes a partir de 1904 tienen una activa participación en la investigación geológica y la enseñanza universitaria. Esta historia inicial sigue marcando el desarrollo y las fortalezas actuales de las Ciencias de la Tierra en nuestro país.

El siglo XX incorpora una serie de instituciones que tienen como objetivo la evaluación geológica de nuestros recursos como el petróleo en 1922 mediante Yacimiento Petrolíferos Fiscales, los recursos minerales en 1941 por la Dirección de Fabricaciones Militares y los minerales radioactivos en 1953 por la Comisión Nacional de Energía Atómica. En estas instituciones se forman varias generaciones de geólogos y geofísicos, muchos de los cuales posteriormente continúan o complementan su trabajo con la enseñanza universitaria.

La creación del CONICET en 1958, a partir de algunas dependencias previas, con su carrera de investigador científico, junto con nuevas instituciones universitarias donde se enseña la geología y la geofísica, permiten reforzar sustancialmente la investigación y la enseñanza.

Como resultado de estas acciones, la Argentina ha sido líder y referencia para los estudios geológicos y la investigación en Ciencias de la Tierra en América del Sur, compartiendo en los últimos años ese liderazgo con Brasil (véanse las estadísticas que siguen).

Esa trayectoria de más de 150 años de enseñanza e investigación geológica ha permitido que esta disciplina tenga un robusto crecimiento focalizado en diferentes especializaciones en distintos lugares del país. Así a los grupos de investigación de Buenos Aires, La Plata y Córdoba, se agregaron los de

Tucumán, Salta, Bahía Blanca, San Juan, Comodoro Rivadavia, San Luis, Río Cuarto, Catamarca y Jujuy, todos ellos asociados a universidades nacionales en sus respectivas áreas de influencia. En los últimos años se agregaron nuevos centros a los existentes en Ushuaia y Mendoza, como los de Anillaco, General Roca y Neuquén, casi todos ellos vinculados a las universidades locales. Se deja constancia que la enseñanza de la Geología se realiza exclusivamente en universidades públicas; no existen todavía instituciones privadas donde se enseñe.

Las fortalezas de estos centros están ligadas en parte a las personalidades destacadas que marcaron líneas de investigación que han sido fortalecidas en su mayor parte a través del tiempo. Así por ejemplo La Plata y los diferentes Institutos asociados al CONICET y a la Universidad de esta ciudad tienen una fuerte impronta en los estudios sedimentológicos impulsados por Mario Teruggiy y Renato Andreis quien también contribuyó al desarrollo de la petrología tanto ígnea como metamórfica. La presencia de personalidades como Victorio Angelelli desarrolló en esta universidad la metalogénesis y el estudio de yacimientos minerales.

Algo similar pasa en la Universidad de Buenos Aires donde la presencia de Félix González Bonorino, complementada más tarde por Renato Andreis, permitió desarrollar la sedimentología y, en menor medida, la petrología. La creación de un laboratorio de Paleomagnetismo por Daniel Valencio en la década del 1960 produjo un centro de excelencia que se mantiene a través de los años como un laboratorio de referencia a escala continental. El interés inicial por la geología estructural y posteriormente por la tectónica ha permitido afianzar este centro en el moderno paradigma de tectónica de placas.

La Universidad Nacional de Córdoba ha tenido una excelente escuela de mineralogía y petrología liderada por Carlos Gordillo, con la constante colaboración de Hebe Dina Gay, que actualmente cuenta con diversos discípulos, abocados a la petrología metamórfica, a los granitos y a la tectónica del basamento metamórfico. La Universidad Nacional del Sur mantiene la impronta mineralógica aportada por Kitaro Hayase, que mantiene aún un fuerte acento en la mineralogía, la petrología y la metalogénesis.

Se puede afirmar así que los diferentes centros, si bien tienen en parte fortalezas comunes, en conjunto han posicionado a la Argentina como un país de referencia en las Ciencias de la Tierra a nivel continental.

Grupos de Trabajo

Sobre la base de las encuestas recibidas y de información suministrada por los distintos colaboradores se han reconocido los siguientes grupos de trabajo:

Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA, Córdoba)

Es uno de los centros en Ciencias de la Tierra más grandes del país, de doble dependencia entre el CONICET y la Universidad Nacional de Córdoba. Cuenta con 36 investigadores y 34 becarios que se concentran en los siguientes grupos de trabajo: paleobiología y micropaleontología, sedimentología y análisis de cuencas, geoquímica de superficie y cambio climático, petrología y tectónica de basamento, metalogénesis y volcanología. Es el centro de investigaciones más fuertemente especializado en la Zona Crítica (véase áreas de frontera), y es referente nacional e internacional en lo que hace a análisis de cuencas y a la petrología y tectónica del basamento ígneo metamórfico. Entre sus debilidades se cuenta la necesidad de equipamientos mayores.

Centro de Investigaciones Geológicas (CIG, La Plata)

Este centro creado en 1981 entre el CONICET y la Universidad Nacional de La Plata cuenta con 19 investigadores (nueve formados y 10 jóvenes) y 18 becarios que se reúnen en los siguientes grupos de trabajo: Geología Regional, Geotectónica y Geocronología; Petrología, Geoquímica y Mineralogía y Sedimentología y Estratigrafía Dinámica. Es uno de los centros de investigación en Ciencias de la Tierra más dinámicos del país con una fuerte especialización en geocronología, petrología y sedimentología, disciplinas en las que son referentes a nivel internacional. Entre sus necesidades está la falta de equipo para análisis isotópicos de isótopos estables e inestables.

Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber (IDEAN, Buenos Aires)

Este centro de investigaciones se origina en 1984 con la formación del Laboratorio de Tectónica Andina, que años más tarde junto a otros laboratorios del Departamento de Geología de la Universidad de Buenos Aires crean en el 2006 el IDEAN como instituto de doble dependencia con el CONICET. Cuenta actualmente con 34 investigadores y 30 becarios. Sus principales grupos de trabajo son en tectónica andina, bioestratigrafía de alta resolución, modelado de procesos geológicos, seguimiento de volcanes activos, estudios paleobiológicos de ambientes continentales, ecosistemas marinos fósiles, carbonatos y cicloestratigrafía, y sondeos de ambientes continentales y marinos. A través de los años se ha convertido en un centro de referencia para estudios andinos y de la cuenca neuquina.

Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA, Buenos Aires)

Este centro de investigaciones nuclea varios grupos de trabajo en el Departamento de Geología de la UBA, teniendo como núcleo inicial al Laboratorio de Paleomagnetismo Daniel Valencio. Se constituyó como un instituto de

doble dependencia UBA-CONICET en 2011. Cuenta con 27 investigadores, 14 becarios y 14 técnicos y profesionales de apoyo. Sus principales grupos trabajan en paleomagnetismo y el geomagnetismo terrestre y su aplicación al medioambiente, en estudios básicos de sedimentología, mineralogía y petrología. Son un referente internacional indiscutido en paleomagnetismo y deriva de los continentes, así como en la sedimentología y estratigrafía del Paleozoico superior.

Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, Buenos Aires)

Este instituto de doble dependencia entre el CONICET y la Universidad de Buenos Aires se formó en 1969. Ha sido un instituto pionero en la Argentina en dataciones isotópicas habiendo realizado las primeras edades absolutas en el campo de Ciencias de la Tierra. Su larga trayectoria en geología isotópica tanto para dataciones de rocas como para isótopos estables, ha producido numerosos servicios tanto para instituciones privadas como públicas. En la actualidad posee 11 investigadores, 7 becarios y 20 profesionales y técnicos de apoyo. Sus principales grupos de trabajo se concentran en líneas de investigación como la geocronología y la petrología, junto con la química de isótopos estables, aplicados a los más diversos problemas hidrológicos, petroleros, médicos y de control de calidad. Su principal problema es la falta de equipos modernos, en especial de espectrometría de masas para hacer dataciones U-Pb y de gases nobles. El MINCyT está actualmente financiando la compra de nuevos equipos que deberán llegar al país antes de fin de año.

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR, Buenos Aires)

Este es una institución pionera en el desarrollo de los estudios geológicos en el país con más de 100 años de antigüedad. Si bien es un centro de importancia por la cantidad de geólogos, estos están abocados principalmente a estudios geológicos y levantamientos regionales. Sus objetivos principales están dedicados al levantamiento de cartas geológicas y temáticas. Sin embargo, tiene varios grupos de trabajo investigando volcanes activos, la tectónica del basamento al sur de las Sierras Pampeanas y el magnetismo como expresión de rasgos tectónicos; algunos de ellos son grupos de impacto con alta visibilidad.

Instituto Geológico del Sur (INGEOSUR, Bahía Blanca)

El INGEOSUR es un instituto de doble dependencia entre el CONICET y la Universidad Nacional del Sur, creado como tal en el año 2006. Cuenta con 15 investigadores y 13 becarios. Sus grupos de trabajo han desarrollado líneas de investigación en yacimientos minerales y rocas de aplicación, petrología ígnea, metamórfica y microtectónica, geología estructural y paleontología. Este centro ha tenido una importante trayectoria en mineralogía y es actualmente

un referente en el estudio geoquímico y petrológico de las rocas máficas y ultramáficas. Han desarrollado una importante escuela de palinología y palinoestratigrafía. Tiene un grupo de investigación muy activo en geología estructural. Entre sus necesidades se destaca la de tener acceso a un laboratorio nacional de geocronología y a instrumental de última generación para estudios petrológicos y geoquímicos.

Instituto de Recursos Minerales (INREMI, La Plata)

Este instituto dependiente de la Universidad Nacional de la Plata ha sido fundado en 1989 por el Ing. Victorio Angelelli. Su objetivo principal es investigar sobre minerales industriales y rocas de aplicación y generar alternativas de transferencia de conocimientos. Cuenta en la actualidad con 18 investigadores, 11 becarios y personal de apoyo. Su principal grupo de trabajo se ha destacado por sus investigaciones metalogénicas en el Macizo del Deseado, en especial de sus recursos auríferos. Ha trabajado, a través de numerosos convenios, con Formicruz S.E., la empresa minera de la provincia de Santa Cruz y con numerosas empresas mineras privadas. Son líderes en exploración y otros servicios mineros, contando con amplio reconocimiento regional. Sus investigaciones sobre los controles de las vetas auríferas del Macizo del Deseado han tenido alto impacto. Sus principales necesidades son de equipamiento y movilidad para trabajos de campo.

Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO, Tucumán)

Este instituto ha sido creado por la Universidad Nacional de Tucumán en 1984 y ha pasado a tener doble dependencia con el CONICET a partir de 1996. Cuenta con 12 investigadores, 7 becarios y 5 técnicos y profesionales de apoyo. Reúne a una serie de grupos de trabajo interesados en la geología regional, petrografía y geoquímica, así como la estratigrafía dinámica y la hidrogeología, todas ellas con especial énfasis en el Noroeste Argentino. Está vinculado al CEGA de la Universidad Nacional de Salta. Estos grupos de trabajo son referentes en la estratigrafía del Paleozoico inferior de Argentina y en estudios petrológicos y geoquímicos de los granitoides y rocas metamórficas del Noroeste Argentino. Tienen un grupo fuerte en hidrogeología.

Centro de Investigaciones de la Geósfera y Biósfera (CIGEOBIO, San Juan)

Es un centro de investigaciones de doble dependencia entre el CONICET y la Universidad Nacional de San Juan, creado en 2012, que ya cuenta con 8 investigadores y 7 becarios en Ciencias de la Tierra. Las principales fortalezas de este centro es un grupo de trabajo de alto impacto en estudios sismológicos. Es casi el único centro que hace investigación sismológica en el país. Sus publicaciones en sismología han tenido un alto impacto internacional. Identifica

como área de vacancia la necesidad de estudiar áreas sísmicas activas no sólo de grandes sismos, sino también de pequeños sismos inducidos de origen antrópico. Sus debilidades principales radican en la falta de infraestructura edilicia para montar los laboratorios. Además, el centro tiene un grupo de trabajo en neotectónica y otro en estratigrafía y sedimentología. Sus necesidades son acciones para incrementar la movilidad de investigadores jóvenes para pasantías en el exterior y el país, como así también la falta de equipamiento para dataciones absolutas en el país.

Centro de Estudios Geológicos Andinos (CEGA, Salta)

Este instituto fue creado como una rama del INSUGEO-Tucumán con dependencia del CONICET. A partir de 2014, se creó como instituto dependiente de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta, con doble dependencia (CEGA-CONICET). Cuenta con 11 investigadores y 2 técnicos. Reúne a una serie de grupos de trabajos especializados en mineralogía de sulfuros, mineralogía de boratos, estudios de salares, salmueras y litio, volcanismo, petrología del basamento y del Paleozoico inferior, geología de yacimientos, metalogenia, paleontología del Ordovícico, entre otros aspectos de la geología del Noroeste Argentino.

Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, Salta)

Este centro de investigaciones se origina en 2005 como un instituto dependiente de la Universidad Nacional de Salta, para pasar en el 2010 a ser un centro de investigaciones de doble dependencia con el CONICET. Cuenta actualmente con un grupo de trabajo con 5 investigadores en Ciencias de la Tierra y 10 becarios. Las fortalezas principales de este grupo de trabajo son la Geología Estructural del Noroeste Argentino y la paleontología. Además de contar con numerosas publicaciones internacionales edita una revista de divulgación de muy buen nivel. Su necesidad prioritaria es el acceso a equipos más complejos.

Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC, Ushuaia)

Este centro multidisciplinario fue creado por el CONICET en 1969. Cuenta con numerosos investigadores, pero sólo diez están investigando en Ciencias de la Tierra. Tienen 6 becarios y más de 40 técnicos y profesionales de apoyo. Las fortalezas principales son sus dos grupos de trabajo consolidados en el estudio de la geomorfología y geología del Cuaternario y en los estudios estratigráficos y estructurales del sistema andino. Son además referentes en el estudio de meteoritos y cráteres de meteoritos. Sus principales necesidades son el acceso a equipos para dataciones del Cuaternario. El centro tiene un grupo incipiente en el estudio de los recursos geológicos. El primer grupo es un referente

internacional en glaciología, en el análisis de los paleoclimas cuaternarios y el retroceso de los glaciares. Además, cuenta con un grupo de trabajo en sedimentología y geología estructural en la sede Río Grande de la UNTDF.

Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP, Santa Rosa)

Este instituto multidisciplinario de doble dependencia entre la Universidad Nacional de La Pampa y el CONICET fue creado en el año 2008. Tiene actualmente 6 investigadores en Ciencias de la Tierra y 4 becarios. Sus principales grupos de investigación son en geología del Cuaternario, sedimentología de unidades permotriásicas, geoquímica y petrología de los basaltos de la Payenia y otras provincias máficas y bioestratigrafía del Cenozoico marino de Patagonia. Sus publicaciones de mayor impacto están asociadas a la Geología del Cuaternario, tema en el que son referentes a nivel nacional. Sus necesidades más apremiantes son de infraestructura y movilidad para campaña.

Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto

Este departamento, si bien tiene más de 30 geólogos con dedicación exclusiva, presenta un fuerte acento profesionalista y en la aplicación de la geología a estudios de suelos y medio ambiente. Sin embargo, hay varios grupos de trabajo entre los que se destaca a nivel nacional uno de alto impacto en petrología y geoquímica del basamento metamórfico e ígneo de las Sierras Pampeanas. Otros grupos de investigación menores trabajan en Sedimentología de rocas clásticas y carbonatos.

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA, Mendoza)

Esta unidad ejecutora del CONICET cuenta con un grupo de investigación en Geología Estructural y Tectónica formado por 2 investigadores y 4 becarios. A pesar de lo reciente de su formación, este grupo tiene una intensa actividad científica con la organización de proyectos internacionales, simposios y transectas de campo. Sus publicaciones son de alto impacto y protagonismo, y están concentradas en diferentes aspectos estructurales de la Cordillera de los Andes. Cuentan además con investigadores destacados en el campo de la mineralogía. Sus principales debilidades son la falta de acceso a laboratorios de termocronología y geocronología por diversos métodos. La infraestructura que les brinda el IANIGLA es adecuada.

Instituto Nacional de Geología y Minería de Jujuy

En este instituto asociado a la Universidad Nacional de Jujuy participan varios grupos de investigación. Entre ellos se destaca un grupo de impacto en

Petrología y metalogénesis que es un referente nacional en estos temas y el de volcanología y geoquímica. Ambos son grupos activos con un buen impacto en sus publicaciones internacionales. Hay un grupo más reducido en sedimentología. Sus investigadores tienen una fuerte participación en las investigaciones del litio como importante recurso energético. Entre sus debilidades principales está la necesidad de vehículo para trabajo de campo y acceso a equipos de datación geocronológica.

Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología, UNRN, General Roca

Este Instituto de doble dependencia entre la Universidad y el CONICET está radicado en General Roca, provincia de Río Negro. Es un instituto de joven creación que ya cuenta con 11 investigadores y 12 becarios. Tiene tres grupos de investigación de incipiente formación y sugiere acciones que permitan incorporar investigadores extranjeros en áreas de vacancia. Si bien cuentan con adecuada infraestructura requieren equipamiento para investigar y hacer servicios a las empresas petroleras de la cuenca neuquina. Los grupos de investigación de mayor impacto están relacionados a la estratigrafía y sedimentología de la cuenca neuquina y a la tectónica del basamento nordpatagónico. Tienen publicaciones de buen impacto.

Departamento de Geología Universidad Nacional de San Luis

Este departamento cuenta con un fuerte grupo de investigación en Paleosismología y neotectónica, el cual es un referente nacional e internacional en esta temática. Este grupo está integrado por 2 investigadores formados y 2 jóvenes, con 4 becarios y ha desarrollado recursos humanos en estos temas; tiene numerosas publicaciones de buen impacto, a la vez que ha efectuado una importante tarea de asesoría sobre estas cuestiones a nivel nacional. Tiene además un grupo de investigación en petrología y en estudio de pegmatitas.

Instituto Geofísico-Sismológico Zonda (San Juan)

El Instituto Geofísico-Sismológico Fernando Séptimo Volponi, dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNSJ, tiene más de 50 años de antigüedad. Ha sido pionero en los estudios sismológicos en el país. Tiene en la actualidad 17 investigadores y personal de apoyo, donde se destaca un fuerte grupo de investigaciones geofísicas en gravimetría, tanto para sus aplicaciones geodinámicas como para la exploración y evaluación de hidrocarburos. Este grupo tiene publicaciones internacionales de buen impacto y son referentes nacionales en gravimetría y geodesia. Entre sus necesidades destacan el desarrollo de software específicos para correlación de diferentes métodos geofísicos y equipoamiento sismográfico para desarrollo de hidrocarburos no convencionales.

Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica de La Rioja (CRILAR, Anillaco)

Este centro de investigaciones del CONICET aloja un joven grupo de trabajo en petrología que consta de 2 investigadores y 3 becarios. Si bien el grupo aún no está consolidado, participa en importantes proyectos de investigación en el Paleozoico de las Sierras Pampeanas. Tiene publicaciones internacionales de incipiente impacto.

Departamento de Geología de la Universidad Nacional de La Patagonia, Comodoro Rivadavia

En este departamento hay un grupo de investigación en formación constituido por 2 investigadores y 3 becarios con especial énfasis en la Sedimentología y el análisis de cuencas sedimentarias. Este grupo tiene una producción científica incipiente y una fuerte componente en su aplicación a la exploración de hidrocarburos, en especial a la cuenca del Golfo San Jorge, cuyos diferentes aspectos son objeto de las principales publicaciones del equipo. Su principal debilidad para crecer es la falta de infraestructura y de vehículos para tareas de campo. Además hay un grupo de investigación en volcanología y petrología de rocas mesozoicas de la Patagonia compuesto por 2 investigadores y 2 becarios. Su principal necesidad es el acceso a equipos de geocronología en el país.

Museo Argentino de Ciencias Naturales (MACN, Buenos Aires)

El MACN cuenta con numerosos investigadores en Biología y Paleontología, pero además cuenta con un grupo consolidado en estudios estratigráficos y sedimentológicos. Está constituido por 2 investigadores formados y 2 jóvenes con un becario. Han colaborado con investigadores de instituciones de Estados Unidos, España y Chile.

Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (IGCC, Mar del Plata)

Este instituto dependiente de la Universidad Nacional de Mar del Plata cuenta con un grupo de trabajo consolidado en Sedimentología y Geología del Cuaternario que cuenta con 4 investigadores formados, uno joven y 7 becarios. Sus actividades se complementan con una fuerte participación en Geología Marina.

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, Salta)

En este Instituto de doble dependencia entre la Universidad Nacional de Salta y el CONICET hay un grupo de trabajo en volcanología y riesgo volcánico y en Petrología y Geoquímica. Están integrados por 3 investigadores formados

y 3 jóvenes y 8 becarios. Este grupo tiene fuerte impacto en estudios de Riesgo Volcánico y Geotermia. Tienen equipamiento necesario pero no cuentan con la infraestructura necesaria para poder crecer, a pesar de que la geotermia es un área de vacancia en el país.

Centro Nacional Patagónico (CENPAT, Puerto Madryn)

En esta institución existe un grupo de trabajo sobre petrología y volcanismo, que si bien tiene una larga trayectoria es reducido. Tiene numerosas publicaciones sobre el volcanismo de la Patagonia y sur de Mendoza.

Ubicación geográfica

Los diferentes grupos identificados a través de las encuestas y a partir de la información suministrada por los colaboradores se ilustran en el Gráfico 6.1. En su distribución se puede observar una fuerte concentración en el área metropolitana entre Buenos Aires y La Plata.

Otro rasgo característico que muestra la distribución es su concentración en la región central y norte del país, sin participación de grupos de trabajo activos en le región noreste. El sector sur tiene una concentración menor acorde en parte con su densidad poblacional.

Sobre la base de las encuestas y la información suministrada por los colaboradores se han identificado 289 investigadores en diferentes grupos de investigación distribuidos a lo largo del país. Este número debe ser considerado mínimo, dado que hay investigadores individuales de difícil ubicación o pequeños grupos no identificados que no han suministrado información a las encuestas. A su vez estos investigadores tienen actualmente 217 becarios, lo que da una relación investigador/becario de 0,75. La relación entre investigadores formados a jóvenes es aleatoria; hay grupos donde los jóvenes son mayoría y viceversa; no se ha podido encontrar cierta racionalidad entre ellos.

El número de investigadores en Geología no se ha podido desagregar de los investigadores de la Gran Área de Ciencias Exactas y Naturales del CONICET a partir de la información suministrada por esta institución. El número de investigadores en esta gran área se ha incrementado en los últimos años sostenidamente. Si se consideran los años 2003, 2007 y 2012, el número de investigadores creció de 1.172, a 1.458 y 1.862, respectivamente, y en cuanto a los becarios: 515, 1.053 y 1.794. En el área Ciencias de la Tierra no hay datos disponibles para desagregar a los geólogos, dado que en esta área, además de geólogos, geofísicos y geoquímicos objeto del presente informe, existen investigadores de Ciencias de la Atmósfera y el Mar, así como paleontólogos,

ambos objeto de informes independientes al presente. En el área Geología se ha podido estimar un mínimo de 290 investigadores activos sobre la base de las encuestas realizadas y por la información suministrada por los colaboradores. Sin embargo este número debe ser considerado como mínimo. (Gráfico 6.2).

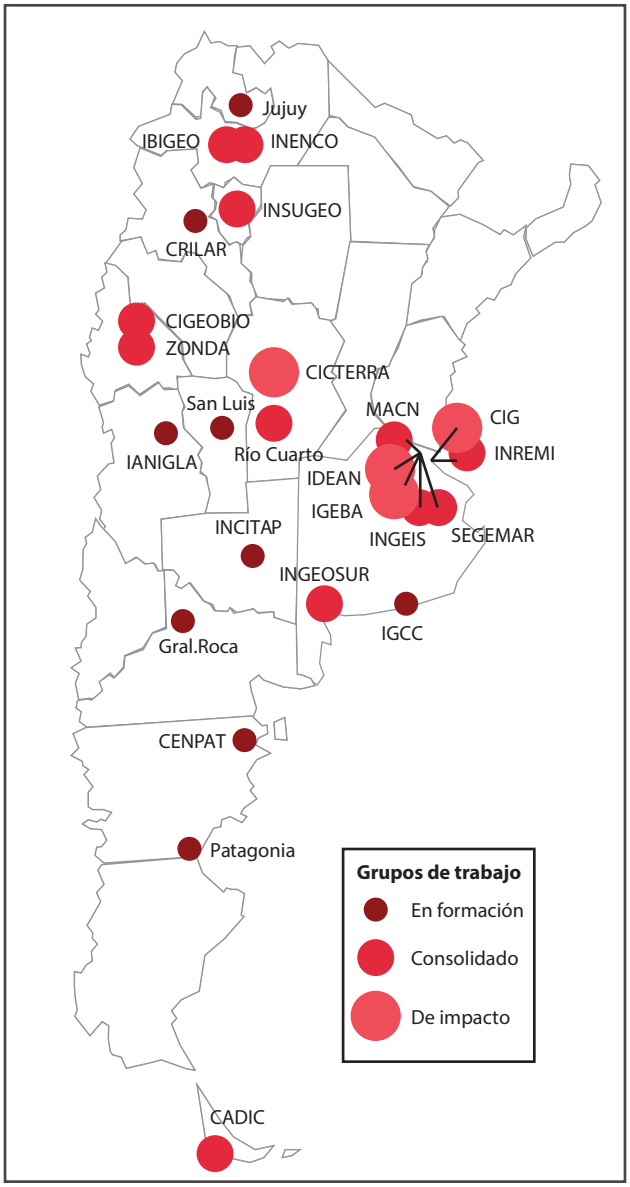


Gráfico 6.1. Distribución de los grupos de trabajo y ponderación de su importancia relativa.

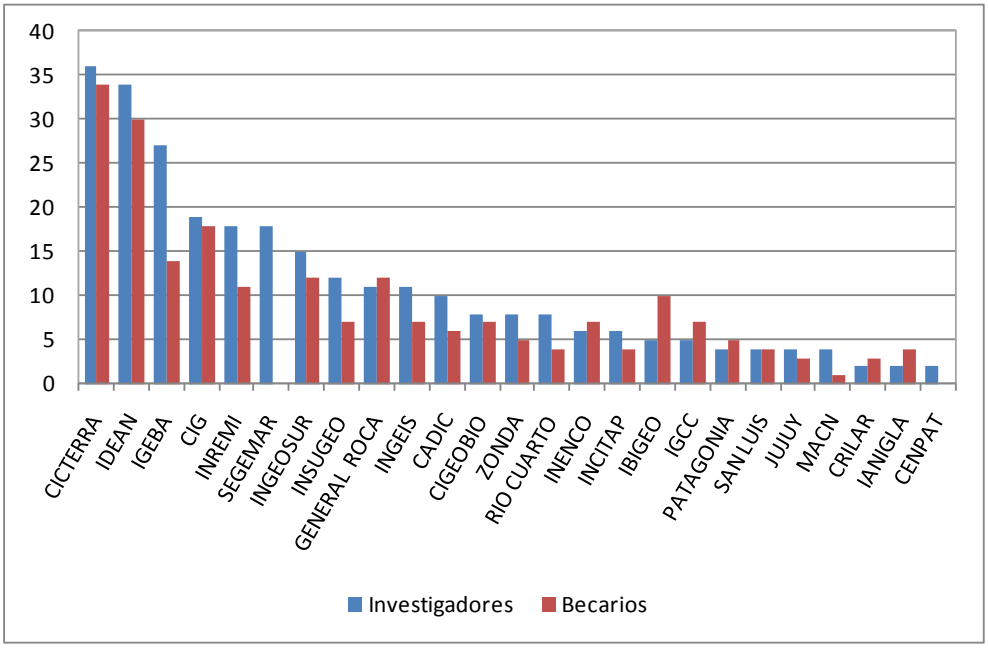


Gráfico 6.2. Número de Investigadores y Becarios de Geología en los diferentes Grupos de Trabajo. *Fuente*: Encuestas realizadas.

Infraestructura y financiación

En los últimos diez años se ha registrado un incremento sostenido en el mejoramiento de la infraestructura y la financiación de la investigación; el campo de la Geología no ha estado ausente en estas iniciativas. Ya sea a través del plan de infraestructura del MINCyT, del CONICET, de la acción directa del Ministerio de Planificación o a financiaciones locales, se han construido edificios acordes con las necesidades de los investigadores. Entre ellos, en el campo de la Geología se destacan el ya finalizado de CICTERRA en la Universidad Nacional de Córdoba y el pronto a finalizar del CIG en la Universidad Nacional de la Plata. Una completa remodelación de edificios existentes ha permitido al Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología de la Universidad Nacional de Río Negro, no solamente tener una adecuada infraestructura para oficinas y laboratorios de investigación, sino también adquirir los equipos necesarios. Además de estas obras, están prontos a iniciar su construcción los laboratorios del IDEAN en la Ciudad Universitaria de la Universidad de Buenos Aires y otros arreglos edilicios en diferentes partes del país. La Universidad de Río Cuarto está construyendo un nuevo y moderno edificio para el Departamento de Geología

donde habrá espacio suficiente para los grupos de trabajo activos. Otros grupos de trabajo como el CIGEOBIO tienen pendiente en el MINCyT la aprobación del nuevo edificio para el centro de investigaciones. Otra necesidad que plantean algunos grupos de trabajo es la falta de una sala para videoconferencias, que facilitaría la comunicación no sólo entre grupos de trabajo, sino una participación más activa en seminarios, simposios y cursos especializados dados en otras universidades o institutos.

Sin embargo, en las encuestas recibidas hay una fuerte preocupación por los problemas de infraestructura para alojar los laboratorios y las oficinas de investigación: se destacan marcados problemas de infraestructura para laboratorios, oficinas y repositorio de muestras en el INCITAP de la Universidad Nacional de La Pampa; para laboratorios en el INREMI de la Universidad Nacional de La Plata; para un laboratorio de Sedimentología en la Universidad Nacional de la Patagonia; una falta total de infraestructura en el grupo de trabajo del INENCO en la Universidad Nacional de Salta; y numerosas necesidades de mantenimiento edilicio en las instalaciones existentes en la mayoría de los grupos de investigación.

Equipos

La mayoría de los grupos de trabajo coincide en señalar este aspecto como una de las debilidades prioritarias del sistema. En especial mencionan la necesidad de equipamiento mayor, como por ejemplo espectrómetros para determinaciones isotópicas de U/Pb y para gases nobles, principalmente Ar/Ar, entre otros. Este equipamiento es necesario para datar las rocas, tanto sedimentarias como ígneas y metamórficas. Varios grupos de trabajo coinciden en la necesidad de tener un sistema nacional de Geocronología donde se puedan realizar este tipo de dataciones. Actualmente el MINCyT está gestionando la compra de equipamiento mayor con estos objetivos para ser instalados en el INGEIS (Instituto de Geocronología y Geología Isotópica), creado para producir edades isotópicas no solamente para investigación, sino también para realizar servicios en forma prioritaria para YPF, CNEA. Servicio Geológico Nacional y otras instituciones públicas y privadas. Sin embargo, si se apuesta a un desarrollo armónico del país habría que tener más equipos dedicados a la Geocronología, en especial en institutos donde ya se cuenta con personal preparado para su operación. Entre ellos se destacan el CIG en La Plata y el CICTERRA en Córdoba. Se deja constancia que Brasil tiene más de siete centros de Geocronología con un equipamiento de este tipo y aún más avanzado, como en el Centro de Geocronología de San Pablo, donde ya cuentan con un equipo para realizar dataciones por el método U/Pb SHRIMP. Este sistema es de última generación y muy costoso; el de Brasil es el único en Latinoamérica, a la par de centros de Australia, Estados Unidos, Europa, China y Rusia.

Además de este equipamiento diversos grupos de trabajo plantean la necesidad de contar con la tecnología de última generación necesaria para alcanzar la competitividad deseada a nivel internacional. Se carece de equipos necesarios para hacer isótopos estables e inestables, así como equipos para activación neutrónica y fluorescencia que permitan realizar análisis químicos de elementos mayoritarios, trazas y REE; microsondas electrónicas (EDS y WDS); equipos para dataciones OSL, entre otros. Si bien se cuenta con una microsonda electrónica en el CICTERRA, hace falta financiamiento para completar su instalación, de acuerdo con las necesidades planteadas por los grupos de trabajo. Otros, como el INENCO en Salta que cuenta con equipos de Difracción de Rayos X, Fluorescencia de Rayos X y Microscopia Electrónica, manifiestan su preocupación por la muy lenta y engorrosa tramitación de la contraparte universitaria para la reparación y remozamiento de los equipos que integran el sistema nacional. Todas estas necesidades de equipamiento tendrían que ser canalizadas por el Sistema Nacional de Espectrometría de Masas, a fin de seleccionar los centros más apropiados y garantizar el libre acceso a los investigadores que lo requieran.

Otra preocupación, quizás tan importante como la anterior, es la necesidad de contar con una flota de vehículos de doble tracción, para poder realizar los trabajos de campo tan necesarios en la investigación geológica. Muchos grupos de trabajo la plantean como necesidad principal, mientras otros que cuentan con vehículos manifiestan su preocupación por el envejecimiento de los vehículos, las dificultades de mantenimiento, así como lo reducido de su número, ante un plantel creciente de investigadores y becarios. Si bien el CONICET está tratando de generar sistemas que permitan una ágil adquisición de vehículos, la demanda supera ampliamente la disponibilidad de los mismos. A veces no se tiene conciencia de que un vehículo puede ser el equipamiento principal para realizar investigaciones científicas en ciertos grupos de trabajo donde el campo es el principal laboratorio de observación.

Financiación

La encuesta realizada informa que las investigaciones del área de Ciencias de la Tierra han sido financiadas principalmente mediante subsidios de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, los subsidios del CONICET y los específicos de las universidades nacionales.

La Agencia, principalmente a través de Proyectos de Investigación científica y Tecnológica (PICT), ha sido la fuente principal de financiación. Los valores suministrados por la Agencia para el último decenio, convertidos a dólares correspondientes al año del subsidio, se ilustran en el Gráfico 6.3. Los valores anuales corresponden a toda el área, que además de Geología incluye Paleontología y Ciencias del Mar y de la Atmósfera.

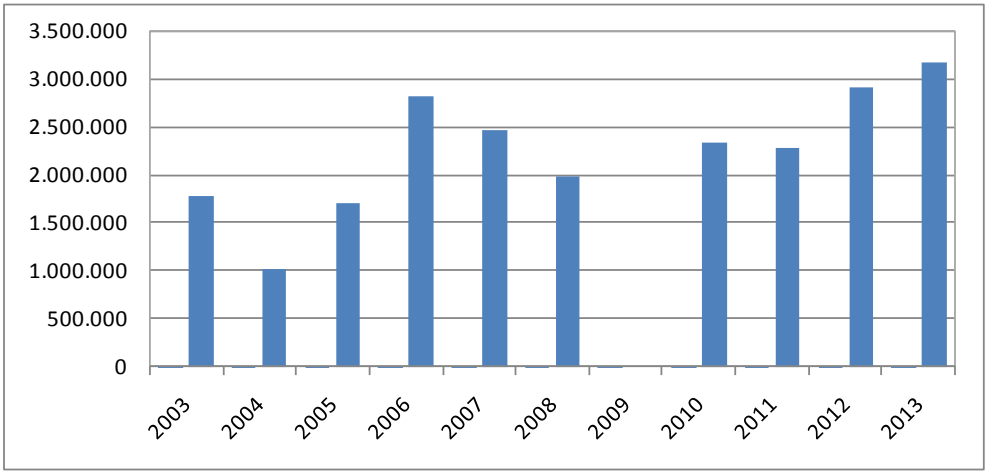


Gráfico 6.3. Evolución del financiamiento de la ANPCyT a través de los proyectos PICT en el área de Ciencias de la Tierra, expresado en dólares estadounidenses. *Fuente*: ANPCyT.

El análisis de estos datos muestra variaciones interanuales, las cuales evidencian un crecimiento sostenido, que a partir de 2,3 millones en 2010 supera los 3,1 millones en 2013. El total de subsidios en estos diez últimos años para el área alcanza 20.639.131 dólares.

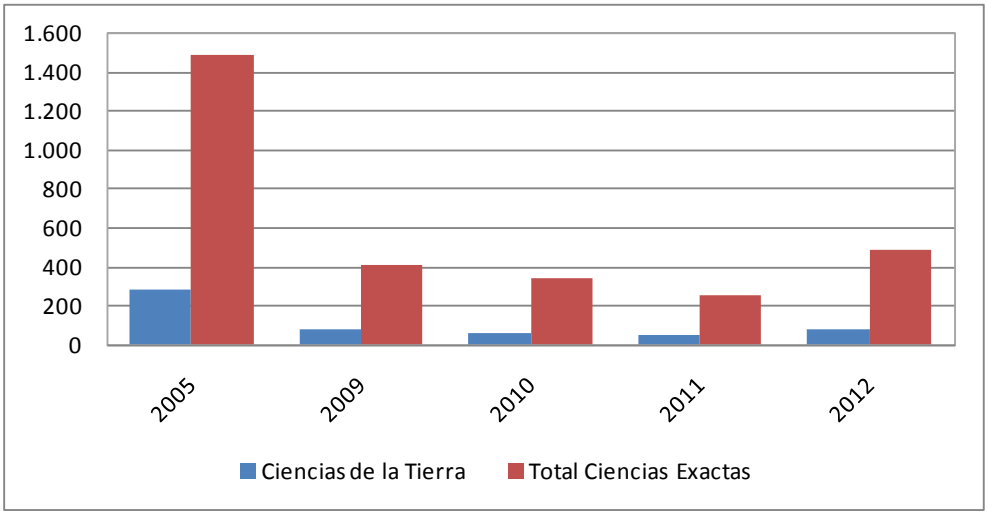


Gráfico 6.4. Total por año de proyectos plurianuales (PIP) del CONICET en el área de Ciencias de la Tierra entre los años 2005 y 2012 comparados con el total de la gran área Ciencias Exactas. *Fuente*: CONICET.

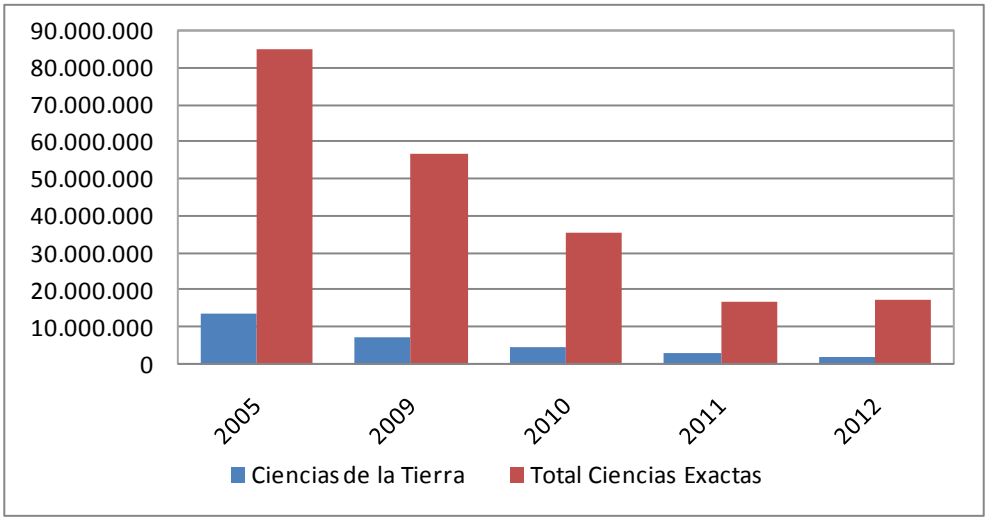


Gráfico 6.5. Evolución del financiamiento de los proyectos financiados en Ciencias de la Tierra (expresado en pesos argentinos) comparados con el total de la gran área. *Fuente*: CONICET.

La Agencia también ha financiado a través de los Proyectos de Modernización de Equipamientos (PME), la adquisición o mejora del equipamiento existente y la modernización de la infraestructura de Laboratorios o Centros de I+D pertenecientes a Instituciones públicas o privadas radicadas en el país. El área de Ciencias de la Tierra ha participado del PME 2006, con un monto de 2.149.120 dólares, los que no se pueden desagregar por las diferentes disciplinas que componen el área (Geología, Paleontología, Ciencias del Mar y de la Atmósfera).

La segunda fuente de financiamiento corresponde a los subsidios de los Proyectos de Investigación Plurianuales (PIP) que otorga el CONICET a sus investigadores. Estos proyectos estuvieron suspendidos entre 2000 y 2005, cuando se volvieron a financiar anualmente (Gráficos 6.4 y 6.5).

Cuando se analiza la financiación de estos proyectos a partir de 2005, se nota una caída en los montos otorgados, los cuales aún teniendo en cuenta lo excepcional de ese año luego de un período donde no se otorgaron subsidios, muestra una caída importante en sus valores nominales, a pesar de estar expresados en pesos argentinos. Es importante destacar que el número de proyectos aprobados se mantuvo dentro del mismo orden de magnitud, lo que indica una menor financiación por proyecto.

La tercera fuente de financiación está representada por los subsidios recibidos de los programas de ciencia y técnica de las universidades nacionales cuyo monto es marcadamente inferior a los anteriores. No se dispone de montos para evaluar la importancia cuantitativa de estos subsidios.

Con respecto a la recepción de subsidios internacionales, la mayoría de los grupos de trabajo activos han participado de programas de colaboración internacional, que cubren principalmente gastos de traslado o estadía, como los programas MINCyT- CAPES con Brasil, MINCyT-BMBF de Alemania, CONICyT de Chile, Ministerio de Ciencias de España, organismos italianos, entre otros. Algunos grupos de trabajo han tenido colaboración en proyectos de la NSF o han recibido subsidios de la *National Geographic Society*. No se cuenta con datos sobre los montos recibidos. El 44 % de los grupos de trabajo encuestados tiene o ha tenido subsidios para colaboración con grupos de trabajo del exterior.

En general, los grupos de trabajo han tenido una financiación razonable en estos últimos diez años y resulta lamentable que últimamente el flujo de fondos para esos subsidios ha sufrido notables retrasos y dificultades para acceder a los fondos de investigación concursados.

Producción científica argentina

El análisis de las publicaciones de esta disciplina sobre la base de los datos de SCImago, muestra un crecimiento sostenido en los últimos diez años. Es importante tener en cuenta que cuando se analizan las Ciencias de la Tierra, estas incluyen también las Ciencias de la Atmósfera y el Mar, además de la Paleontología. Las Ciencias Geológicas resultan de sumar a la Geología, la Estratigrafía, la Geología Aplicada, la Geofísica, la Geoquímica y la Petrología, la Geología Minera, la de Procesos Superficiales y otros.

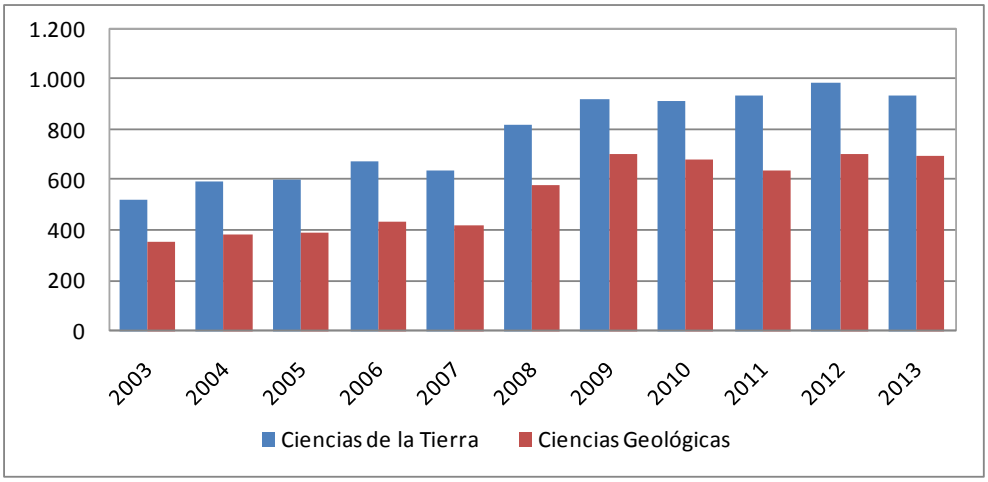


Gráfico 6.6. Cantidad de artículos de Ciencias de la Tierra de autores argentinos. *Fuente*: SCImago.

En el Gráfico 6.6 se observa que las disciplinas geológicas son mayoritarias dentro de las Ciencias de la Tierra. La cantidad de trabajos geológicos que se publicaron en 2003 de Argentina fue de 360, alcanzando en 2013 los 697 trabajos, lo que marca un incremento de 52% en los últimos años.

Cuando se desagrega por disciplina dentro de las Ciencias Geológicas, se puede observar que hay áreas de más crecimiento mientras que otras son más estacionarias. Entre las primeras tenemos la de Procesos Superficiales y la Tectónica (incluida en Geología), mientras que otras como Geología Minera no registran cambios (véase Gráfico 6.7). En todos estos gráficos se observa un fuerte crecimiento a partir del 2008, que podría correlacionarse con el fuerte incremento en los subsidios mostrado en el Gráfico 6.3.

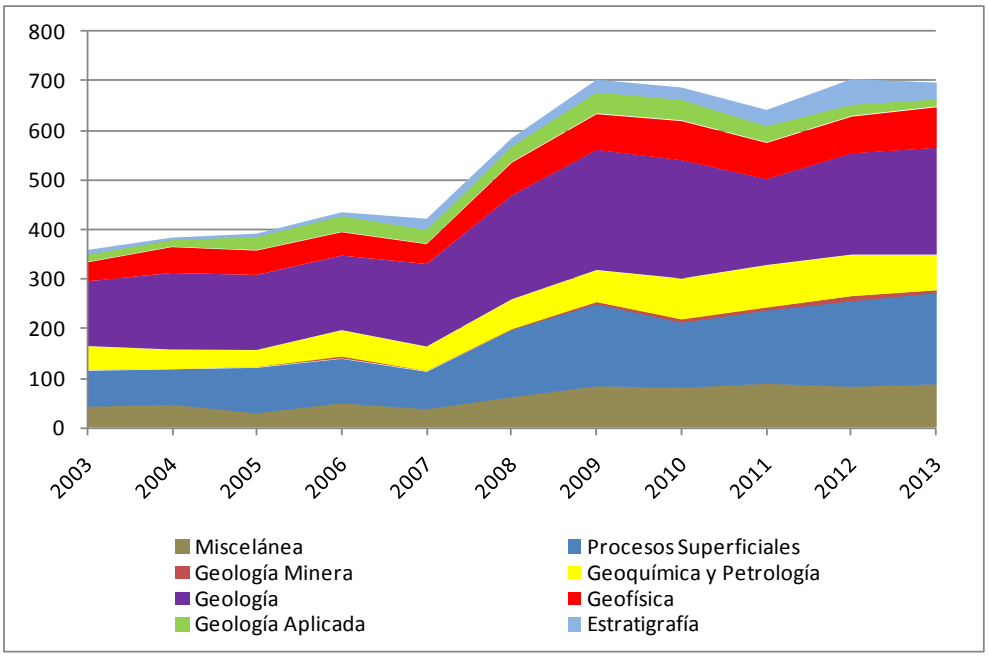


Gráfico 6.7. Cantidad total de artículos con autores argentinos en revistas indexadas, en diversas especialidades, para el lapso 2003-2012. *Fuente*: SCImago.

Con respecto a las publicaciones de Argentina en el campo de la Geología discriminadas por institución, calculada por la base de datos del RICyT, surgen algunas consideraciones interesantes. Las cuatro instituciones que producen la mayor parte de las publicaciones corresponden a la Universidad de Buenos Aires y la Universidad Nacional de La Plata, la Universidad Nacional de Córdoba y la Universidad Nacional del Sur, tanto durante el período 2004-2008 como en

el 2009-2012. En el período 2004-2008 la UNLP produjo el 57% de los trabajos de la UBA. Esta diferencia aumentó en el período 2009-2012 al 67%, véase el Gráfico 6.8.

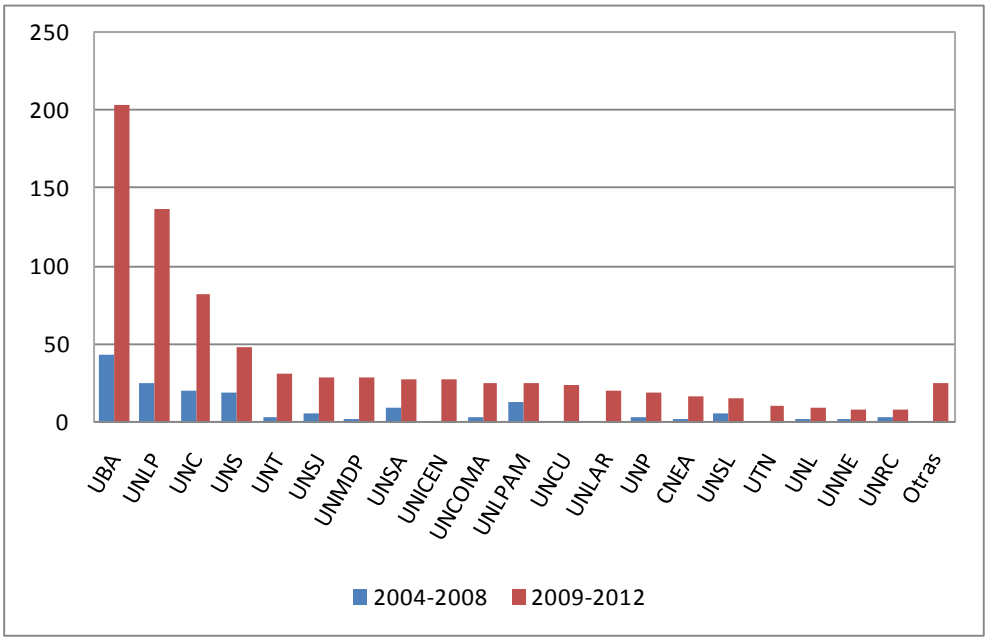


Gráfico 6.8. Número de publicaciones realizadas por institución. Períodos 2004-2008 y 2009-2012. *Fuente*: RICyT.

Hay un segundo grupo de instituciones entre la Universidad Nacional de Tucumán y la de San Luis, que comprende a unas 11 universidades y la CNEA, cuya productividad es menor acorde al tamaño de la institución.

Tanto entre las primeras cuatro como en las del segundo grupo se nota un importante salto en la cantidad de publicaciones, que varía entre dos a cinco veces más a partir de 2009. Este año coincide con el inicio de una cierta regularidad en el financiamiento por parte de la Agencia y el CONICET, junto con un importante incremento de la cantidad de investigadores y becarios.

Cuando se comparan las publicaciones argentinas con otros países sudamericanos se destaca una caída relativa de nuestra producción geológica con respecto a Brasil. Argentina contó siempre con una mayor trayectoria en Geología, más antigua y diversificada. Hasta la década del 90 tenía aún una mayor cantidad de publicaciones geológicas que Brasil; en el 2001 eran el 95% de sus publicaciones, relación que bajó a 65% en 2007 y a 55% en 2013 (véase Gráfico 6.9).

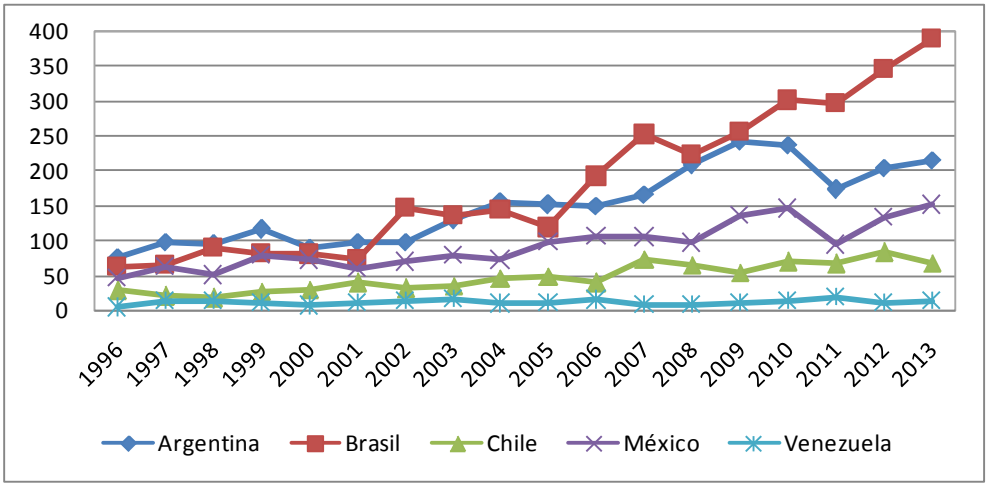


Gráfico 6.9. Cantidad de artículos geológicos de Argentina comparada a las de Brasil, Chile, México y Venezuela. *Fuente*: SCImago.

Es interesante observar que Argentina tiene actualmente una producción mayor que México, ponderando o no la población económicamente activa, a pesar de que esta es sólo el 36% de la mexicana (Gráfico 6.10).

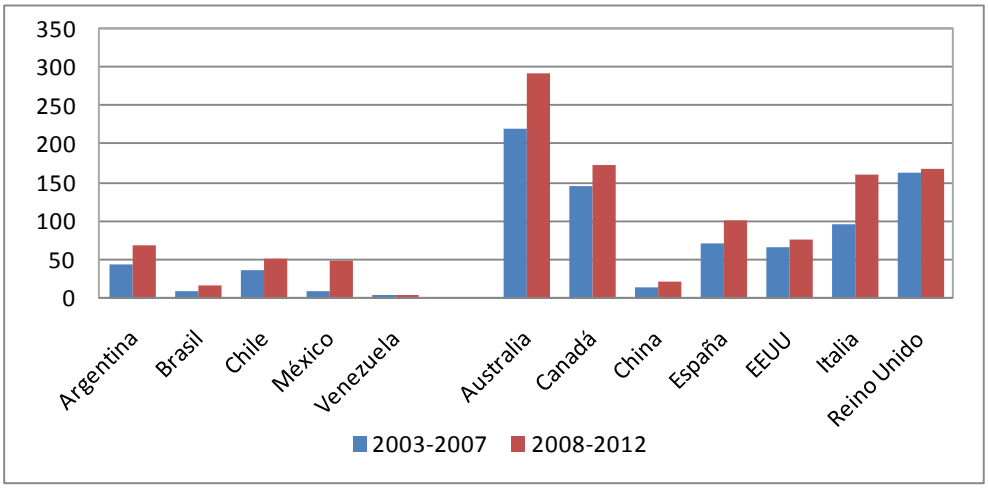
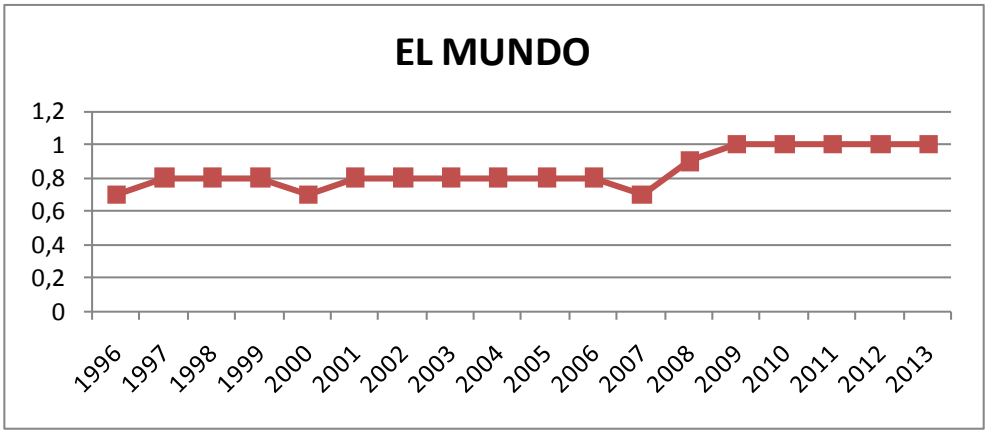
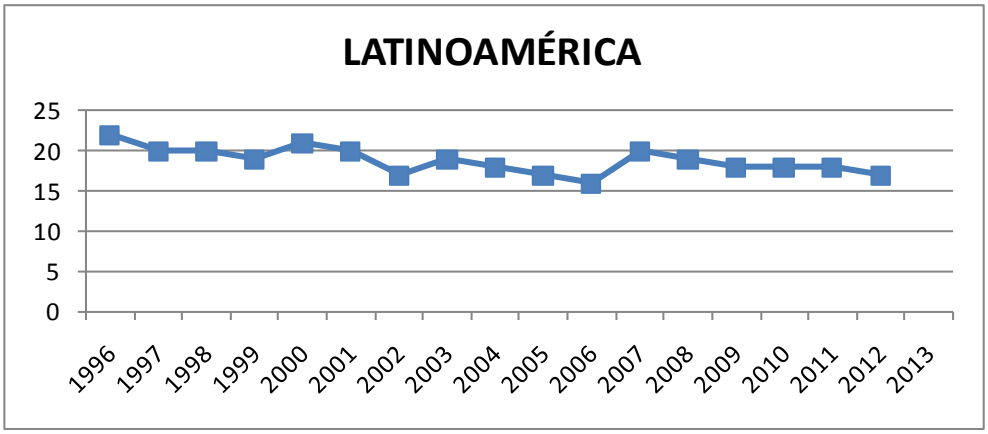


Gráfico 6.10. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuente*: SCImago y Banco Mundial.

Si la comparación se realiza por cantidad de artículos con países de mayor grado de desarrollo, aún ponderadas por poblacion económicamente activa (Gráfico 6.10) se nota una gran diferencia de productividad. Argentina tiene

actualmente 58 artículos ponderados por millón de habitantes de su población económicamente activa contra 77 de Estados Unidos. Sin embargo, cuando se compara con países de mayor tradición geológica debido a la fuerte movilización de sus recursos mineros, como son Australia y Canadá, las 58 de Argentina son superadas por las 292 y 175 de Australia y Canadá. La ponderación sólo sirve para destacarse de países como China que a pesar de su vigoroso desarrollo está aún por debajo de la productividad argentina. Los países europeos de mayor tradición geológica nos superan con y sin ponderación. Con respecto al impacto de las publicaciones argentinas de Geología en el mundo, este ha variado de 0,7% a 1% del total de las publicaciones realizadas, notándose un incremento en los últimos años. Con respecto a América Latina, ha ido descendiendo desde un 23% al actual 17%, principalmente debido al crecimiento de las publicaciones brasileras (compárese Gráfico 6.10 y Gráficos 6.11).





Gráficos 6.11. Porcentaje de artículos con autores argentinos con respecto al total mundial y latinoamericano en el período 2003-2012. *Fuente*: SCImago.

Con respecto al número de citas por artículo, como es de esperar hay una mayor citación de los trabajos del mundo más desarrrollado, que son en promedio un 50% mayor (Gráfico 6.12).

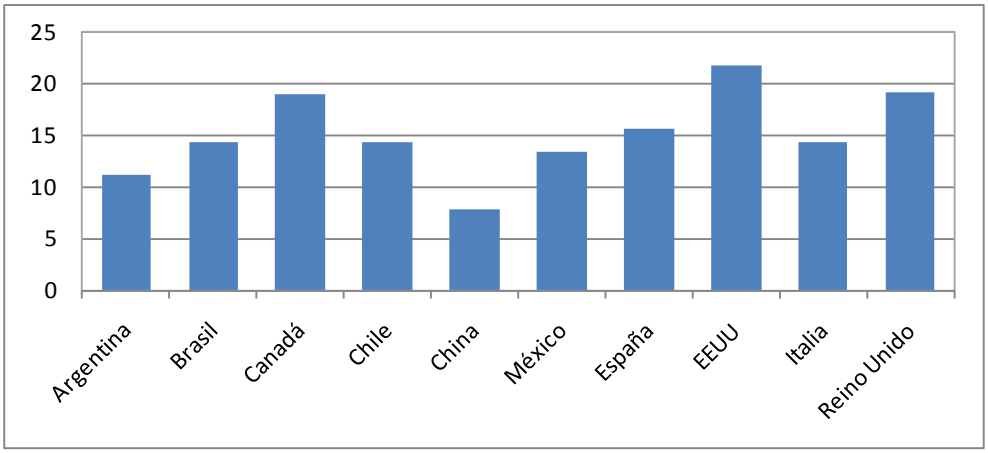


Gráfico 6.12. Número de citas promedio por artículo anual (excluidas autocitas) de cada país incluido en la comparación. Período analizado: 2003-2007. *Fuentes*: SCOPUS y SCImago.

Cuando se analiza la colaboración de diferentes países en los trabajos de Geología publicados en la Argentina, se observa que el país asociado de mayor frecuencia es Estados Unidos, seguido por España, Alemania, Brasil, Inglaterra e Italia, como los más importantes (véase Gráfico 6.13).

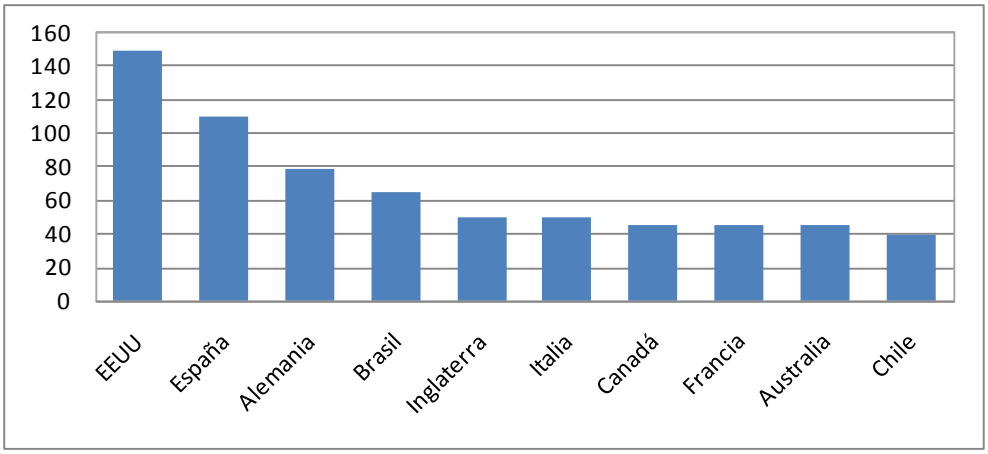


Gráfico 6.13. Cantidad de artículos en colaboración con los países con los cuales Argentina ha establecido mayores índices de colaboración, en el período 2003-2012. *Fuente*: RICyT.

Cuando se compara el porcentaje de trabajos geológicos en colaboración de Argentina, con los porcentajes de otras regiones del mundo, se observan que los valores medios son del mismo orden de magnitud, notándose dos variaciones importantes. Un incremento coincide con la crisis del 2001, y otro escalón importante a partir de 2007. Este último puede estar relacionado con la necesidad de suplir la falta de equipamiento con los disponibles en centros del exterior.

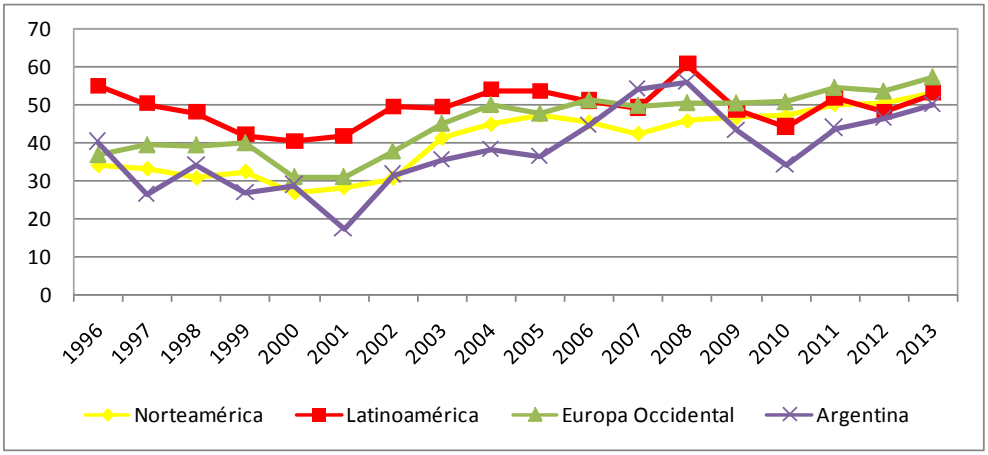


Gráfico 6.14. Porcentaje de artículos argentinos que incluyen autores de más de un país, comparado con las publicaciones latinoamericanas, norteamericanas y de Europa Occidental con más de un país. *Fuente*: SCImago.

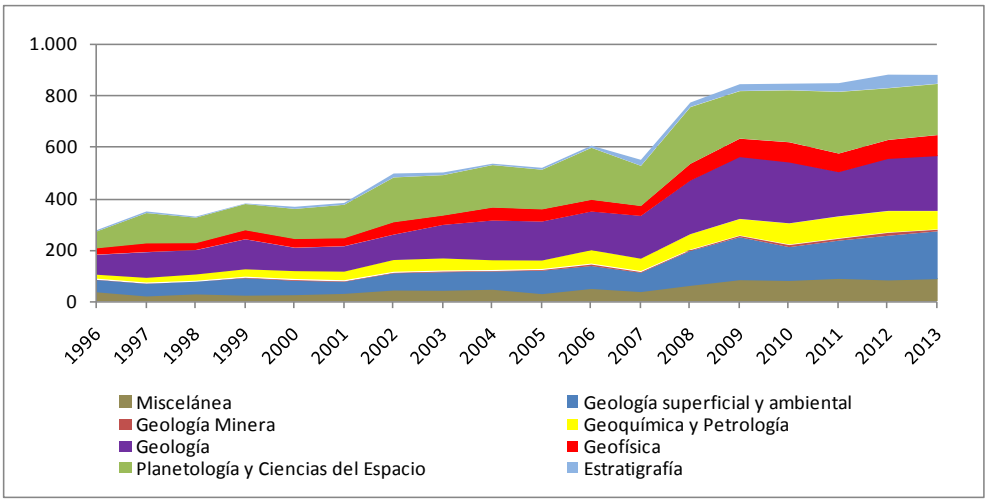


Gráfico 6.15. Número de citas por año en las diferentes disciplinas en los últimos 18 años. *Fuente*: SCImago.

Si bien las disciplinas desagregadas a nivel internacional no coinciden con las usadas en el presente informe se puede observar una interesante variación a través del tiempo. La subdisciplina de mayor crecimiento relativo en sus citas es la Geología superficial y ambiental, la cual se concentra en la Zona Crítica (véase definición en las áreas de frontera), lo que denota una mayor preocupación en resolver los problemas que afectan el medio ambiente. Una subdisciplina donde no se destaca ningún crecimiento relativo en sus citas es la Geología Minera. Otras áreas como Petrología, Estratigrafía y Geofísica muestran un crecimiento comparable. No se puede evaluar en este gráfico el robusto desarrollo que ha tenido la Tectónica en los últimos años porque ha sido incluida en Geología General sin desagregar.

Evaluación de la producción científica individual

Si bien el análisis cualitativo de la producción científica es la forma más correcta de evaluar a un investigador, ya sea para una promoción o para recomendar un subsidio, en nuestros días eso es casi imposible, dada la cantidad de investigadores a ser evaluados y el alto número de publicaciones.

El análisis que se realiza para evaluar la investigación científica por parte de los organismos que deciden los diferentes subsidios que otorgan la Agencia y el CONICET están fuertemente basados en una serie de datos bibliométricos. Entre ellos está la cantidad de trabajos publicados por el investigador, el protagonismo que tiene en trabajos de más de un autor y el impacto de las revistas donde los publica. Además se considera la trayectoria del investigador basada en el número de publicaciones y el impacto de las mismas, en cierta forma medida por su índice h. Esto que pareciera ser un sistema objetivo de evaluación cuantitativa ha traído una serie de respuestas negativas con respecto al valor de la evaluación.

En primer lugar, se ha desatado una competencia numérica a través del fraccionamiento de las investigaciones publicadas, que muestra cada día en forma más frecuente trabajos parciales, incompletos o con resultados preliminares, en contraste con trabajos más maduros y completos con desarrollos más reflexivos.

A su vez, en los últimos años se ha incrementado el número de autores en las publicaciones geológicas. Antes, las pequeñas colaboraciones a un trabajo constaban en los agradecimientos, mientras que ahora se incluyen dentro de la coautoría de la publicación. Por ello se hace necesario que en un trabajo multiautor se especifique la labor de cada uno de ellos, a fin de que se pueda evaluar correctamente el protagonismo de cada autor.

En los últimos años se ha logrado un incremento significativo en las publicaciones de acceso abierto en las revistas más importantes de la disciplina. Esto que parecería democratizar el acceso al conocimiento, ha conllevado a una mayor discriminación. Investigadores del primer mundo tienen capacidad para

pagar varios miles de dólares por un trabajo publicado para que tenga acceso abierto, en detrimento de los que no lo pueden pagar, con el concomitante menor número de accesos y citas, que produce un menor impacto de la publicación. Nuevamente el impacto del trabajo no se correlaciona con su calidad intrínseca.

Esto no tiene una solución simple dado que a nivel mundial la promoción, la selección de candidatos, el otorgamiento de premios y de subsidios están fuertemente controlados por los índices bibliométricos. La cienciometría elabora cada vez índices más complejos de citación y cocitación, define la participación del investigador en los núcleos básicos de cada subdisciplina definido por los autores que están en la frontera del conocimiento, el dinamismo relativo de cada disciplina o subdisciplina, y otros factores como los índices h_{10} y h_{100} para separar el éxito circunstancial de un trabajo y favorecer el impacto sostenido en el tiempo. Sin embargo, estamos aún lejos de tener un sistema de evaluación justo y equitativo.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

La formación de recursos humanos en el área Geología está dominada por instituciones públicas. No hay ninguna carrera de grado en Geología, Geofísica o Geoquímica que brinde una institución privada. En los últimos años se han abierto carreras de Geología en nuevas universidades nacionales como las de Tierra del Fuego, Río Negro y del Comahue; no hay egresados en el período 2002-2012.

Tradicionalmente, las cuatro universidades que realizan más investigación, tienen más publicaciones y mayor cuerpo docente, son las que producen mayor cantidad de egresados en Ciencias Geológicas. Encabeza la lista de egresados la Universidad Nacional de La Plata con 252 geólogos y 42 geofísicos, a la que siguen Buenos Aires, Nacional del Sur y Córdoba (véase Gráfico 6.16). Se deja constancia que la Universidad Nacional de Jujuy ha tenido ya un egresado, con posterioridad al período analizado.

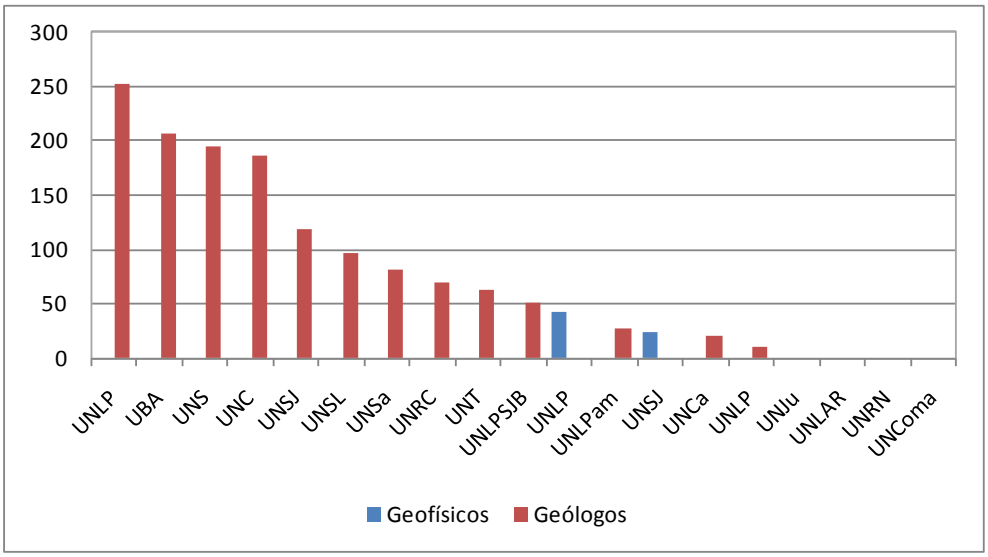


Gráfico 6.16. Total de egresados de grado de las principales universidades públicas y privadas en el período 2002-2012. *Fuente*: Ministerio de Educación.

Es interesante destacar que universidades más pequeñas como las de San Juan han producido 118 geólogos y 24 geofísicos egresados en Ciencias de la Tierra, los que tienen una fuerte salida laboral en la intensa actividad

minera que se registra en esa provincia. Un caso similar es el de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco con 51 egresados que se dedican a actividades petroleras y mineras. A pesar del alto número de universidades recientemente creadas en el conurbano bonaerense hay que destacar que ninguna de ellas tiene estudios de grado en Geología y Geofísica. La primera excepción es la recientemente creada Universidad Nacional de Florencio Varela, que aprovechando su proximidad al YTEC y la disponibilidad de profesionales altamente capacitados está abriendo en estos días esas carreras.

La mayor parte de los egresados obtienen trabajo en las compañías petroleras y sus empresas asociadas de servicios. En el caso de Buenos Aires, más del 75 por ciento de los geólogos egresados trabajan en la industria del petróleo. No hay estadísticas fehacientes de la ocupación del resto de los egresados. Además de la actividad mencionada ha crecido en los últimos años los dedicados a estudios ambientales, tanto para Municipios o estamentos provinciales. La actividad minera requiere localmente gran cantidad de geólogos. El resto se dedica principalmente a la actividad académica.

Con algunas variaciones menores se ha mantenido en los últimos años un promedio de 130 egresados, los que tienen un buen mercado laboral en la industria. Hay una fuerte competencia entre la carrera académica y la actividad privada, dándose casos en los cuales después del doctorado y aún ingresados en la carrera de investigador científico del CONICET son tentados a pasar a la industria, en especial la petrolera, que requiere profesionales altamente capacitados. Los egresados en sistema nacional se ilustran en el Gráfico 6.17.

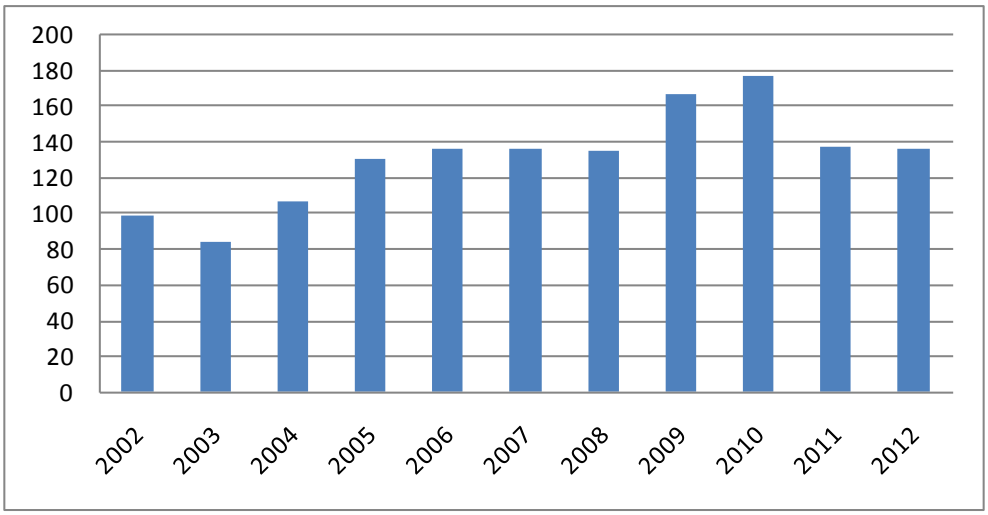


Gráfico 6.17. Evolución del número de egresados en carreras de grado en los últimos once años. *Fuente*: Ministerio de Educación.

La relación entre estudiantes ingresados y egresados es en general baja a nivel nacional, dado que hay una fuerte deserción en casi todas las carreras. Una excepción a esta premisa es la carrera de Geología en la Universidad de Buenos Aires. Dentro de las numerosas carreas que tiene la UBA es la que presenta menor deserción dado el fuerte acicate económico que tienen los egresados y la buena relación entre cantidad de docentes y alumnos.

Con respecto a los estudios de posgrado, hay once universidades que tienen un ciclo de doctorado activo. Entre ellas se destacan las de Buenos Aires y La Plata, que tienen la mayor parte de los doctorados. En el gráfico 6.18, se ilustran los del doctorado en Ciencias Naturales Orientación Geología, información brindada por la Secretaría de Posgrado de la UNLP, donde están discriminados entre geólogos y geofísicos.

Cuando se grafica la formación de doctores por año se puede observar el fuerte incremento que ha producido la reactivación de las becas doctorales y la apertura a la carrera de investigador científico del CONICET a partir del 2008. Se destaca nuevamente en el gráfico 6.19 el fuerte impulso que ha tenido a partir de 2008 la formación de doctores en los centros principales de Geología en el país.

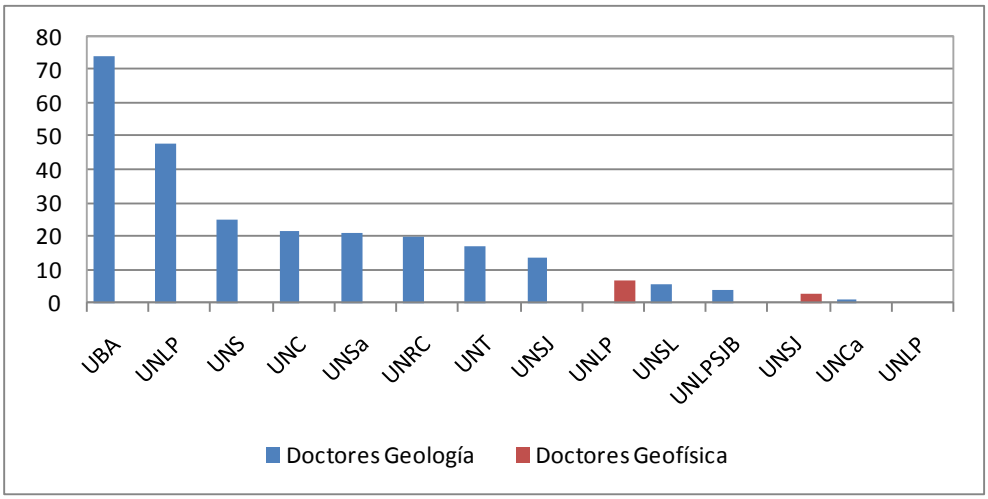


Gráfico 6.18. Doctorados en Ciencias Geológicas egresados entre 2002 y 2012 en las diferentes universidades. *Fuentes*: Ministerio de Educación y Secretaría de Posgrado de la UNLP.

La variaciones interanuales de la producción de doctores pueden reflejar las variaciones reflejadas en la cantidad de becas doctorales ofrecidas por el CONICET (compárense los Gráficos 6.19 con el 6.20).

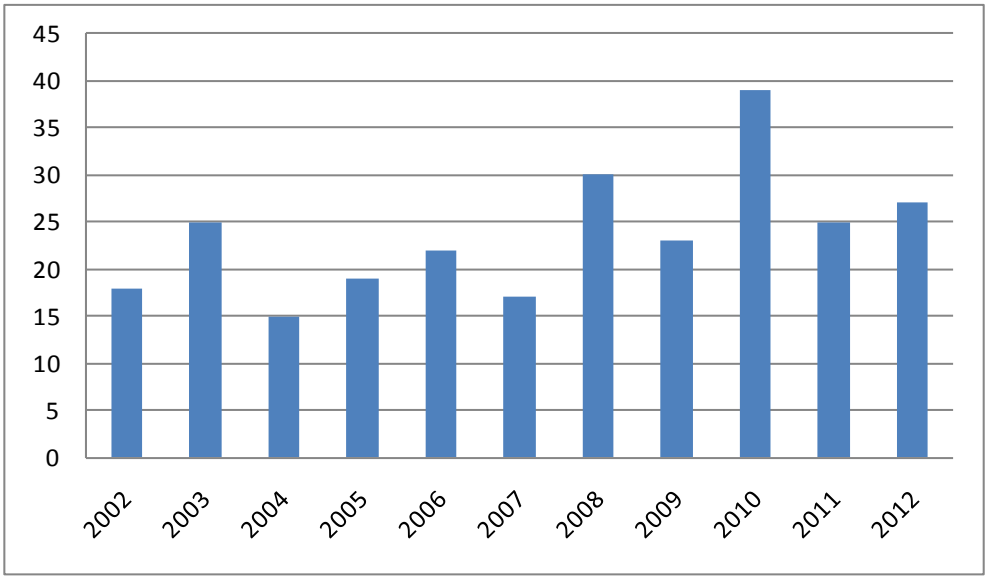


Gráfico 6.19. Cantidad anual de doctores egresados en Ciencias Geológicas y Geofísica en el período 2002-2012. *Fuente*: Ministerio de Educación.

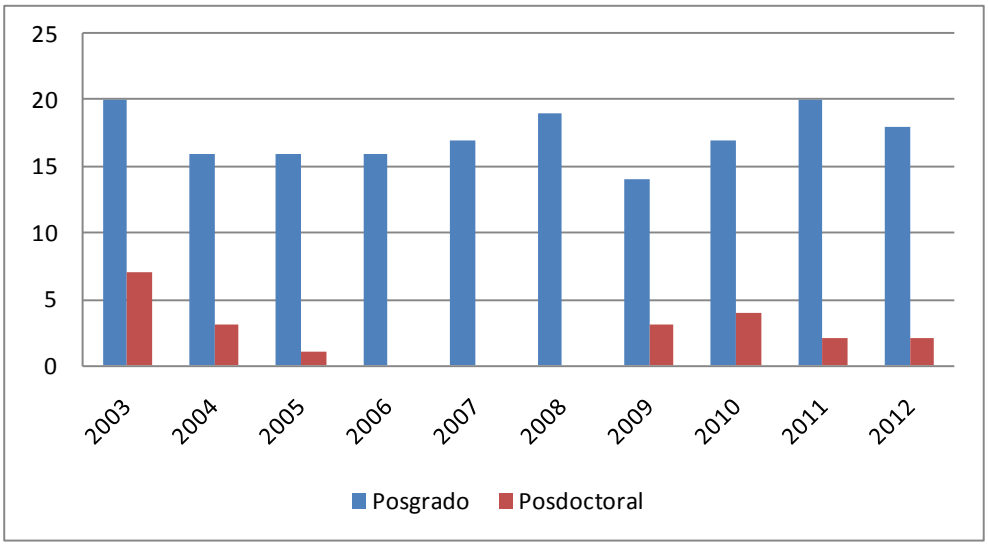


Gráfico 6.20. Número de becas doctorales y posdoctorales otorgadas por CONICET. *Fuente*: CONICET.

La falta de becas posdoctorales puede reflejar la fuerte demanda de la industria, en especial la petrolera, por los jóvenes doctorados.

SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS

Asociación Geológica Argentina

La institución rectora en el país que vela por el desarrollo, la difusión, la promoción y la enseñanza de la Geología es la Asociación Geológica Argentina fundada en 1945. Esta sociedad civil sin fines de lucro se ocupa de los problemas académicos y científicos, dado que existen otras instituciones que controlan el desarrollo profesional a través de la matriculación de los egresados como el Consejo Profesional de Geología, creado por una ley nacional y los respectivos consejos provinciales.

Desde su creación edita la *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, publicación trimestral que con sus 71 volúmenes publicados contiene gran parte del acervo geológico del país. Además, organiza los Congresos Geológicos Argentinos y edita sus actas, las que en sus 18 congresos trianuales contiene una gran cantidad de datos geológicos. En ocasión de cada congreso, organiza una puesta al día del conocimiento geológico y de los recursos naturales de las provincias donde se realiza, habiendo producido un texto actualizado de la mayor parte de las provincias argentinas. Estos libros o relatorios realizados para cada provincia por más de un centenar de los mejores especialistas en los distintos temas que contribuyen en forma desinteresada para producirlo, presentan con un alto nivel científico un moderno conocimiento de sus recursos.

Además de los congresos nacionales la asociación contiene a numerosas comisiones temáticas que organizan sus congresos o simposios más especializados en diferentes puntos de país. Entre ellos se cuenta con los congresos o simposios de tectónica, mineralogía, geología económica, historia de la geología, entre otras. Varias asociaciones temáticas tienen su sede en la Casa del Geólogo, sede que aglutina el quehacer geológico en sus diferentes especialidades. Como complemento de las reuniones argentinas, la Asociación Geológica Argentina ha organizado a través del tiempo simposios y congresos internacionales como el *Backbone of the Americas* con la *Geological Society of America* y el *Gondwana 12 Symposium* con la *International Association of Gondwana Research*, entre otros. Continuamente está apoyando la difusión de la geología en los más diversos ámbitos.

La Asociación Geológica Argentina tiene además relaciones de vinculación formal con la *Geological Society of America* y es la representante local de la *International Union of Geological Sciences*, dos entidades rectoras de la Geología en el mundo.

Asociación Argentina de Geólogos y Geofísicos Petroleros

Esta asociación, con sede en el Instituto Argentino del Petróleo y el Gas, se ocupa de publicar los Congresos Nacionales de Hidrocarburos a partir de 1989 y de editar una revista local de la especialidad de una periodicidad intermitente. Las actas y los libros preparados en esos eventos son una referencia obligada para el conocimiento de la Geología y Geofísica en la exploración de hidrocarburos. Son libros de alta calidad técnica y científica, usados local e internacionalmente por la comunidad dedicada a la exploración y evaluación de hidrocarburos.

Otras asociaciones

Existen además otras asociaciones científicas como la de Geología Aplicada a la Ingeniería, la Argentina de Mineralogía, la Argentina de Sedimentología, Argentina de Geodestas y Geofísicos, de Cuaternario y Geomorfología, entre otras, que editan los congresos locales y alguna de ellas tienen revistas periódicas con un razonable impacto.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS Y DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

Hay un reducido número de revistas que se publican en forma periódica en esta disciplina. La única de ellas que está en el ISI expandido es la *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Las revistas seleccionadas se publican tanto en papel como en forma digital.

Revista de la Asociación Geológica Argentina

Esta es la revista pionera en el campo de la geología publicada por la Asociación Geológica Argentina desde 1945. Tiene como objetivo publicar artículos científicos originales que versen sobre temas geológicos, especialmente los relacionados con Argentina y América del Sur. Ha publicado 71 volúmenes de los cuales los últimos quince se presentan con una frecuencia periódica trimestral en la plataforma Scielo con acceso abierto. Es la revista científica argentina con mayor frecuencia, mayor cantidad de números y una de las más antiguas en la plataforma Scielo Argentina. Está indizada en *Bibliography and Index of Geology, Georef Thesaurus and Guide to Indexing, Geo Abstracts, Mineralogical Abstracts, Zoological Record y Latindex.* Tiene un índice h de 34 según Scopus. La Revista Geológica de Chile tiene un índice h de 24, mientras que el *Journal of South American Earth Sciences* tiene un índice h de 54.

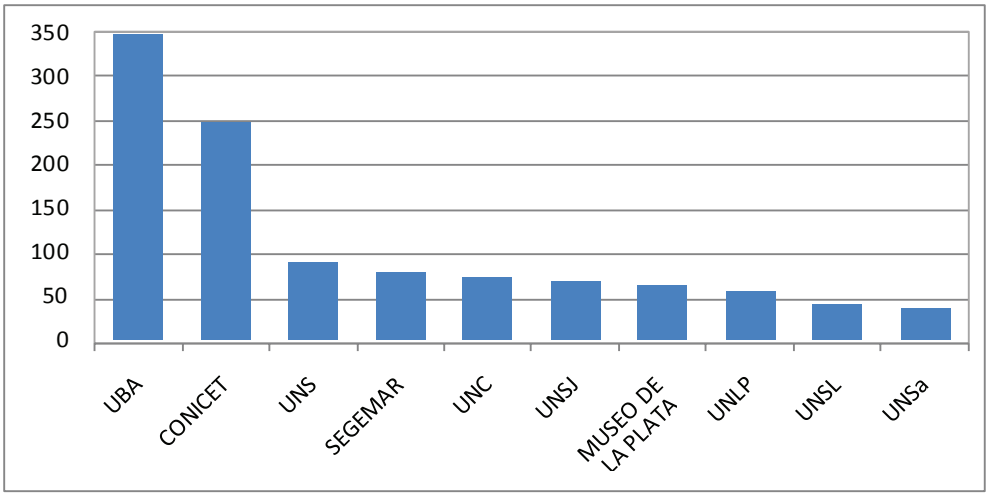


Gráfico 6.21. Cantidad de artículos científicos publicados en los 10 últimos años en la Revista de la Asociación Geológica Argentina por institución. *Fuente* Scopus.

Serie Correlación Geológica

Ésta es una revista semestral editada desde 1984 por el Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO), instituto de doble dependencia del CONICET y de la Universidad Nacional de Tucumán. Tiene por objeto publicar trabajos científicos relacionados a las Ciencias de la Tierra, incluyendo aspectos como la Estratigrafía, la Minería, la Hidrogeología, la Petrología y la Paleontología, entre otros. Ha publicado 30 volúmenes de los cuales los últimos ocho están en la plataforma Scielo con libre acceso. Está indizada en Latindex, *Directory of Open Access Journals* (DOAJ), *Master Journal List de Thomson Reuters ISI, Ulrich's International Periodical Directory, Zoological Record*, Informe Académico de Gale Cencage, GeoRef, Scirus y Geodoc.

Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis

Es una revista publicada por la Asociación Argentina de Sedimentología creada en 1992 para canalizar a través de la Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología las publicaciones referentes a esta disciplina, que comenzó en 1994. En el año 2005 adquiere el nombre actual y toma como objetivos difundir contribuciones originales, revisiones y notas técnicas relacionadas con todos los aspectos de la sedimentología, con temas principalmente de América del Sur. Lleva 20 volúmenes publicados con una frecuencia semestral, siendo los últimos ocho de acceso abierto en la plataforma Scielo. Publica investigaciones en castellano, portugués e inglés. Está indexada en Latindex.

Geoacta

Es una revista periódica semestral publicada por la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas fundada en 1959. Incluye artículos científicos originales e inéditos acerca de Geofísica, Geodesia, Oceanografía, Meteorología y temas relacionados con el medio ambiente. Tiene editados 39 volúmenes que se publican actualmente con una frecuencia semestral, de los cuales los últimos siete están en la plataforma Scielo con acceso abierto. Es un órgano de publicación frecuentemente usado por la comunidad geofísica local. Está indexada en Latindex. Tiene un índice h de 9.

Estas revistas argentinas cumplen con la importante misión de dar a conocer regionalmente los trabajos realizados en el país. Si bien no tienen el impacto de las revistas internacionales más especializadas, ni una revisión tan estricta de los trabajos como las buenas revistas indexadas, deben tenerse en cuenta en la evaluación de los investigadores. En especial la *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, la de mayor impacto en este campo.

LA GEOLOGÍA Y SU VINCULACIÓN CON EL PLAN ARGENTINA INNOVADORA 2020

La geología tiene un rol importante en la movilización y puesta en producción de nuestros recursos minerales y energéticos. Su actividad se articula con diversos Núcleos Socio-Productivos Estratégicos (NSPE) contemplados en el Plan Argentina Innovadora 2020 del MINCyT. Cabe destacar entre ellos, por orden de importancia, los siguientes.

Transformación de recursos naturales en productos industriales de alto valor agregado

Esta actividad comprende la exploración y el mejor aprovechamiento de los yacimientos de cobre, oro y plata como soporte de la industria eléctrico-electrónica. Cuando se analiza el aprovechamiento de esos recursos, la Geología pone de relieve la fuerte interrelación entre la evaluación de los yacimientos más convenientes del punto de vista económico, su explotación racional y el impacto socio-ambiental que estas actividades tienen para que el recurso sea sustentable a través del tiempo. Otra actividad estratégica para el desarrollo industrial es el aprovechamiento de los yacimientos de litio para la producción de material de base de alta pureza para fabricar baterías de litio. Esta importante fuente de energía para los nuevos desarrollos industriales deberá tener conciencia que la Argentina, junto a Chile y Bolivia, concentra los yacimientos más grandes del mundo de litio en salmueras, en unas ocurrencias altamente competitivas por su relativa facilidad de explotación. Nuevamente la Geología y la investigación de estos depósitos son una prioridad para el desarrollo de estas actividades.

El avance de la Nanotecnología intensificará la utilización de arcillas para el desarrollo de materiales nanocompuestos basados en nanoarcillas. Nuestro país cuenta con numerosos yacimientos de arcilla, pero es necesario desarrollar las investigaciones en este tipo de yacimientos para entender las claves que permitan seleccionar esas arcillas y evaluar su disponibilidad para la industria.

Tecnologías para petróleo y gas

La Argentina presenta un fuerte desafío para autoabastecerse de sus requerimientos energéticos. En ellos juegan un importante papel los recursos no convencionales de petróleo y gas. La movilización de estos recursos requiere el desarrollo de tecnologías, equipos y materiales para adquirir nuevas competencias en la producción de este tipo de hidrocarburos. Para obtener esos

fines es necesario atender los desafíos originados en los procesos extractivos innovadores de petróleo y gas. Estos procesos deberán estar sustentados en un correcto conocimiento de nuestros yacimientos no convencionales, de la disponibilidad de agua superficial y subterránea, de las técnicas extractivas y del ciclo completo de activación de fracturas y extracción para reducir al mínimo el impacto ambiental que tienen estos procesos. Además, las modernas técnicas de fracturamiento hidráulico requieren de algunos materiales especiales como arenas de *fracking*, además de baritina, bentonita y una serie de minerales no metalíferos. La Geología tiene mucho para decir en esta actividad, pero ello implica una mayor investigación específica en estos temas.

Reducción de las emisiones de gases con efecto invernadero

Los diferentes paneles internacionales sobre el cambio climático han alertado sobre la necesidad de reducción de las emisiones de gases con efecto invernadero como el CO_2, poniendo énfasis en la sustitución de las tecnologías actuales por otras con menores índices de emisión. Un complemento para esta reducción es el secuestro de CO_2 en ambientes subterráneos naturales. Existen actualmente varios procesos que se emplean con notable eficiencia al secuestro del CO_2 basados en las características del subsuelo geológico en las proximidades de plantas termoeléctricas, cuando están dadas las condiciones naturales para su aplicación. El país necesita investigación básica para detectar estas condiciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sobre la base de las encuestas realizadas, los datos estadísticos disponibles y el análisis de las diferentes condiciones de desarrollo relativo de la Geología en nuestro país, surge una serie de interesantes conclusiones y recomendaciones.

En primer lugar, se reconoce el esfuerzo financiero realizado por el estado nacional a través del Ministerio de Ciencia y Tecnología en el apoyo al desarrollo de las ciencias en general y de las Ciencias Geológicas en particular. Las consecuencias de este apoyo se observan directamente en la producción científica nacional, en la formación de recursos humanos a través de diferentes sistemas de becas, en el sostén dado especialmente en la etapa de posgrado para la formación de doctorado y en el ambiente científico generado en las instituciones que facilitaron la reinserción de numerosos investigadores argentinos procedentes del exterior.

También se tiene conciencia de que en los últimos años las condiciones económicas del país no han permitido disponer en tiempo y forma los estipendios de diferentes subsidios para apoyar la investigación y los planes de infraestructura. Los retrasos en los pagos y su falta de actualización frustran en ocasiones el cumplimiento de los objetivos.

El gobierno en estos años ha producido un fuerte cambio en la infraestructura disponible en varios centros de investigación geológica, que ahora cuentan con edificios acordes a la tarea a realizar. Sin embargo, quizás debido a largos años de descuido, estos no son suficientes para atender los requerimientos actuales, como surgen de las debilidades planteadas en las encuestas. En diversos sectores del país se plantean necesidades concretas de infraestructura, alguna de las cuales están siendo atendidas, mientras que otras no tienen aún respuesta.

En relación con el equipamiento de mayor porte surge un clamor de toda la comunidad geológica en la necesidad de tener un sistema nacional que cubra uno de los mayores déficits encontrados a través de las encuestas: la necesidad de poder datar las rocas en nuestro país como hacen otros países de Latinoamérica como Brasil, México y Chile. El fortalecimiento del Sistema Nacional de Espectrometría de Masas para estos fines, o la creación de un Sistema Nacional de Dataciones Isotópicas mediante espectrómetros modernos y específicos que sirvan para la datación de rocas, es ya impostergable. La disponibilidad de este sistema es un requerimiento que está estrangulando el desarrollo de las Ciencias Geológicas en Argentina. Una investigación geológica que no pueda determinar fehacientemente la edad de una roca no puede

cumplir con los requisitos mínimos de una investigación. Se tiene conciencia de los esfuerzos financieros que está realizando el MINCyT para equipar con estos equipamientos al Instituto Nacional de Geología Isotópica y apoyar la formación de recursos humanos en esta subdisciplina de la Geología. Sin embargo, el avance que tiene el país no solamente en la investigación geológica, sino también en levantamientos y evaluaciones de nuestros recursos naturales no renovables y su potencial petrolero y minero, requiere casi de rutina estas dataciones geocronológicas. Es por ello que es necesario planificar el desarrollo de más laboratorios de geocronología a los fines de cubrir esas necesidades. Para alcanzar esta meta es necesario también contar con un presupuesto para mantenimiento operativo de los equipos y recursos humanos de nivel. La experiencia previa en este tipo de actividades indica que no se puede tener un laboratorio que haga solamente servicios de rutina. Este tipo de técnicas necesitan continuamente de innovación, las cuales se pueden garantizar solamente si se complementa la actividad con una vigorosa investigación en temas isotópicos.

La otra insuficiencia de equipamiento, quizás no tan sofisticada, pero de necesidad tan acuciante como la anterior, es la necesidad de contar con una flota de vehículos de doble tracción para realizar los trabajos de campo. Por sus características específicas, los trabajos geológicos requieren de acceso a lugares inhóspitos, de pobre infraestructura vial o inexistente, en caminos de montaña precarios o abandonados, que demandan buenos vehículos de doble tracción. El parque automotor de los institutos de investigación, salvo algunas excepciones, es obsoleto e insuficiente. Es necesario hacer un programa para evaluar esas necesidades y proveer de vehículos adecuados a los investigadores. Los subsidios actuales no contemplan estas necesidades.

Como conclusión del programa de equipamiento necesario, el país precisa además otros equipamientos de menor envergadura como magnetómetros para paleomagnetismo, espectrómetros para isótopos estables e inestables y otros equipamientos menores.

Otro requerimiento a nivel nacional es la necesidad de realizar estadías postdoctorales en los mejores centros de investigación del mundo. Las cortas pasantías de los programas actuales no reemplazan los beneficios obtenidos para los jóvenes investigadores por estadías anuales en esos centros de investigación del exterior. Si deseemos tener un mayor protagonismo internacional y alcanzar las fronteras del conocimiento, se hace necesario tomar medidas para tener un vigoroso programa de capacitación exterior.

El país tiene fortalezas en diferentes subdisciplinas, pero tiene aún importantes áreas de vacancia, alguna de las cuales son de vital importancia para su desarrollo. Algunas de ellas están entroncadas en el Plan Argentina Innovadora 2020, como la necesidad de movilizar nuestros recursos minerales,

en particular nuestros yacimientos de litio. Es necesario focalizar nuestras investigaciones geológicas en los procesos de formación de estos yacimientos, en sus diferentes características de yacencia y en su génesis. Esta es una oportunidad única en estos momentos, dado lo vasto de estos yacimientos en el noroeste de nuestro país y su potencial energético futuro. Deben encaminarse investigaciones conjuntas con Bolivia y Chile para potenciar aún más su accesibilidad y su explotación sustentable.

Otra importante área de investigación geológica son las características físicas y su distribución espacial y temporal de los yacimientos de hidrocarburos no convencionales. Un punto crucial en estos desarrollos es el análisis de las fracturas y microfracturas, su activación y comportamiento hidrodinámico. Argentina tiene un gran potencial en estos recursos con yacimientos de clase mundial (por ejemplo, Vaca Muerta) y debe desarrollar investigaciones específicas y metodologías propias para su explotación racional y protección del medio ambiente.

Como corolario del presente informe y viendo las estadísticas de la investigación científica y las publicaciones generadas, se hace necesario establecer políticas robustas a fin de facilitar la radicación de jóvenes investigadores en centros del interior del país para fomentar su desarrollo armónico. Esta política debe estar acompañada de un financiamiento adecuado que permita las comunicaciones con los centros de mayor desarrollo relativo del país y del exterior.

CAPÍTULO 7
MATEMÁTICA

Coordinadora
Alicia Dickenstein
UBA, IMAS (CONICET-UBA), Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Colaboradores
Hugo Aimar, UNL, IMAL (CONICET-UNL), Santa Fe
Roberto Miatello, UNC, CIEM (CONICET-UNC), Córdoba
Pedro Morin, UNL, IMAL (CONICET-UNL), Santa Fe
Sonia Trepode, UNMdP, Mar del Plata
Víctor Yohai, UBA, IC (UBA), Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Agradecimientos

La Coordinadora y sus Colaboradores agradecen a los colegas de todo el país que completaron la encuesta y aportaron datos adicionales. En particular a la Dra. Ivana Gómez del IMAL por su ayuda con la recopilación de las publicaciones.

METODOLOGÍA

La información contenida en este documento ha sido obtenida de las fuentes mencionadas en el Capítulo 1 y la proporcionada por:

La encuesta a investigadores en todo el país.

Las facultades de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA; de Ciencias Exactas de la UNMdP; de Matemática, Astronomía y Física de la UNC; las Universidades Nacionales UNL, UNComa, UNS y otras.

Diversos informes previos sobre el estado de la matemática en el país. Por ejemplo, *200 años de la Matemática en la Argentina*, por el Magister Edgardo L. Fernández Stacco; Evolución de las ciencias en la República Argentina 1923-1972, por el Dr. Luis A. Santaló; informe sobre el avance de la matemática en la Argentina presentado por la Unión Matemática Argentina a la Unión Matemática Internacional, 2013.

Diversos informes sobre el estado de la matemática en las Américas, como: *Mathematics in Latin America and the Caribbean: Challenges and Oportunities, Report, International Mathematical Union, Commission for Developing Countries, 2013; The Mathematical Sciences in 2025, Committee on the Mathematical Sciences in 2025, National Research Council, USA, 2013.*

La base de datos *Mathematical Reviews, publicada por la American Mathematical Society.*

Para identificar a los investigadores destinatarios de la encuesta, hemos utilizado la nómina de investigadores en el área matemática del CONICET y hemos incorporado investigadores de distintas universidades del país que mantienen una activa participación en investigación.

Para su procesamiento, la información recogida por esta encuesta se dividió en seis partes, comprendiendo varias subáreas relacionadas con la especialidad del miembro del grupo de colaboradores a cargo. Todos los análisis globales fueron discutidos en conjunto de manera electrónica y también personalmente en dos reuniones generales presenciales llevadas a cabo en la ANCEFyN los días 27 de mayo y 4 de setiembre de 2014, que estimamos cruciales para el buen desarrollo de nuestra tarea.

DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

Este informe comprende las diversas temáticas de la matemática pura y aplicada, así como de la estadística.

Uno de los fines de la matemática es la comprensión de las profundas relaciones entre estructuras abstractas. Otro aspecto involucra capturar características del mundo por medio de estructuras abstractas a través del modelado, realizando un razonamiento formal sobre estas estructuras y cálculos que permiten predicciones acerca del proceso modelado. Muchos desarrollos clásicos de la matemática han sido inspirados por la física, pero a partir del siglo XX la Informática y más recientemente, la Biología, se han sumado como ciencias motivadoras de cuestiones matemáticas. A nivel internacional, el área está en expansión, no solo en sus aspectos aplicados sino también en sus aspectos más puros, donde ha habido una serie de avances notables en la resolución de problemas clásicos con herramientas matemáticas modernas. La disciplina está desplegando una gran unidad y coherencia, con crecientes puentes entre las distintas subdisciplinas de investigación.

El siguiente párrafo, extraído del documento *Acuerdo Nacional: oferta educativa universitaria de matemática 1997,* generado por la Unión Matemática Argentina, no ha perdido actualidad:

> *Con el correr de los siglos, la matemática ha desarrollado una rica y sofisticada cultura propia que nutre a las ciencias naturales y a la tecnología. La matemática ha logrado un espectacular grado de desarrollo intrínseco sin descuidar por ello sus conexiones con el mundo real, alcanzando sus aplicaciones no sólo a la física y a la ingeniería sino también a la medicina, a la economía, y a las ciencias sociales. Su influencia se expandió enormemente con el advenimiento de las modernas computadoras, cuyo uso en la resolución de problemas, simulación y toma de decisiones depende de poderosos algoritmos computacionales derivados del continuo desarrollo de distintas áreas de la matemática pura.*

Subdisciplinas incluidas

Para enmarcar las áreas de trabajo que abarca la matemática en nuestro país, con respecto al contexto internacional, se tuvieron en cuenta las subáreas

de las sesiones en la Reunión Anual que organiza la Unión Matemática Argentina así como las de las sesiones de los Congresos Internacionales ICM que organiza la *International Mathematical Union* (IMU) cada cuatro años y de la cual la Unión Matemática Argentina es una de las Organizaciones Adherentes.

La lista de las subdisciplinas por orden alfabético es la siguiente: Álgebra, Análisis numérico y cálculo científico, Análisis funcional y complejo, Análisis real y armónico y teoría de aproximación; Aspectos matemáticos de la Ciencia de la Computación; Combinatoria; Ecuaciones diferenciales parciales, Estadística, Física matemática, Geometría, Geometría algebraica y compleja, Lógica y fundamentos, Matemática en la ciencia y en la tecnología, Probabilidades, Sistemas dinámicos y ecuaciones diferenciales ordinarias, Teoría de control y optimización, Teoría de Lie y generalizaciones, Teoría de números, Topología.

Como se señala en varias partes del informe, las interacciones hacen difícil, y en algunos casos sin sentido, una división estanca de las investigaciones por subdisciplina.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

En general, un buen reflejo de las temáticas actuales de interés puede encontrarse en las conferencias de invitados a los congresos internacionales ICM que organiza la IMU cada cuatro años desde fines del siglo XIX (salvo interrupciones en épocas de guerra) o del Séminaire Bourbaki, que se desarrolla en París desde 1948. En particular, el último congreso internacional ICM2014 (Seúl, Corea), dejó muy clara una vez más la unidad de la disciplina, mostrando el carácter altamente interdisciplinario e integrado de la matemática actual. Por ejemplo, conferencias plenarias en temas diversos incluyeron aspectos probabilísticos, mientras que la conferencia sobre probabilidades incluyó el uso de estructuras algebraicas.

A continuación, señalamos las grandes áreas de la matemática, así como las conexiones y aplicaciones en otras disciplinas.

Álgebra: estudia las reglas con las que interactúan objetos simbólicos y provee una base común en matemática. Se ocupa desde el estudio de ecuaciones elementales a la comprensión de grandes estructuras abstractas, con distintas aplicaciones, notablemente en física teórica. Las principales áreas de interés actuales son: teoría de grupos; módulos sobre p-grupos elementales; formas cuadráticas; álgebras de Hopf de dimensión finita; representaciones de carcajes y álgebras de conglomerados (clusters) que han tenido gran impacto en los últimos años. También se estudian las categorías diferenciales graduadas y las categorías trianguladas que aparecen en álgebra y geometría. La geometría algebraica no conmutativa es de particular interés.

Análisis matemático: emergió del estudio de funciones a valores reales y complejos y sus procesos límite. Al igual que el álgebra, provee herramientas fundamentales para el desarrollo general de la matemática y sus aplicaciones, como derivadas, integrales y series. Hoy se extiende a una enorme diversidad de problemas desde la teoría geométrica de la medida hasta problemas modernos como los de muestreo, las ecuaciones diferenciales, la geometría de clases de operadores o la teoría de marcos (frames), dada la universalidad de las técnicas. A nivel mundial, el análisis está en el apogeo de un crecimiento sostenido desde la segunda mitad del Siglo XX.

Análisis numérico: se encarga del diseño y estudio de algoritmos para resolver, utilizando aproximación numérica y operaciones simples,

problemas enunciados en términos matemáticos. El objetivo es proveer métodos computacionales para la resolución de problemas y el estudio de sus propiedades. En general, estos métodos se aplican cuando se necesita un valor numérico como solución a un problema matemático, y los procedimientos exactos o analíticos son incapaces de dar una respuesta. Debido a ello, son procedimientos de uso frecuente por físicos e ingenieros, y cuyo desarrollo se ha visto favorecido por la necesidad de estos de obtener soluciones, aunque la precisión no sea completa.

Aspectos matemáticos de la Ciencia de la Computación: En la interfaz entre la matemática y las ciencias de la computación se encuentra el estudio de la teoría de complejidad, el diseño y el análisis de algoritmos, los lenguajes formales, la teoría algorítmica de juegos, el aprendizaje computacional (ligado al aprendizaje estadístico), la criptografía, la teoría de códigos, el cálculo simbólico, la computación cuántica, la geometría computacional y la visión computacional.

Combinatoria: la teoría de grafos es una de las partes más clásicas y accesibles en el área más general de combinatoria, que tiene numerosos desarrollos modernos y posee actualmente importantes conexiones con teoría ergódica, física estadística, teoría de códigos, sistemas dinámicos, álgebra, geometría y análisis. La teoría de grafos, así como la optimización combinatoria y la programación lineal entera, son esenciales para el análisis de algoritmos y estructuras en distintas áreas de la matemática y la informática y en numerosas aplicaciones. Es por lo tanto importante tanto el estudio de estrategias de modelización y resolución, como la determinación de propiedades estructurales. Otros temas de punta incluyen el estudio de estructuras combinatorias, combinatoria probabilística y extremal, geometrías finitas, relaciones con álgebra lineal, teoría de representaciones y álgebra conmutativa, métodos topológicos y analíticos en combinatoria, geometría combinatoria, teoría de números combinatoria y combinatoria aditiva.

Ecuaciones diferenciales: son ecuaciones en las que intervienen derivadas de una o más funciones desconocidas. Numerosos problemas de la física, química, biología, economía, etc., se modelan por medio de ecuaciones diferenciales. Su estudio comprende la existencia y unicidad de soluciones, como así también la regularidad o suavidad, que en general dependen de la regularidad de los datos y también de los dominios donde estén planteadas. Para la investigación en esta área se hace un uso intensivo de herramientas del Análisis Real, muchas de las cuales nacieron justamente para dar respuesta a problemas de ecuaciones diferenciales.

Estadística: su objetivo es el desarrollo de métodos para obtener, analizar e interpretar datos, de forma tal de medir, controlar y comunicar la incertidumbre presente en cada problema. Está basada en la teoría matemática de la probabilidad, pero sus métodos tienen como objetivo la aplicación a una amplia variedad de ámbitos científicos, sociales y tecnológicos en áreas tales como astronomía, biología, educación, economía, ingeniería, genética, etc. Los métodos estadísticos modernos involucran el diseño y análisis de experimentos y encuestas, la cuantificación de fenómenos biológicos, sociales y científicos, y la aplicación de principios estadísticos para comprender el mundo que nos rodea. La estadística puede considerarse como una ciencia independiente con una relación muy estrecha con la matemática, en particular con análisis funcional, análisis armónico, teoría de cuerpos finitos y geometría diferencial.

Cuatro áreas que están entre las más importantes y activas a nivel internacional son: análisis de datos funcionales, donde las observaciones son funciones de una o varias variables, medidas sobre un conjunto finito de puntos; análisis de causalidad, que se centra en la determinación de las relaciones de causa-efecto entre algunas variables observadas; *big data* y aprendizaje estadístico, dos temas de vacancia en el país. El término *big data* se refiere a los procedimientos diseñados para analizar conjuntos de datos en los que el número de variables y/o el número de observaciones son muy grandes.

Física matemática: nace como una rama de la ciencia basada fuertemente en la matemática y adquiere identidad propia a partir de las revoluciones cuántica y relativista de principios del siglo XX. El área está íntimamente relacionada con la parte teórica de la física, en la cual a partir de lo observado en los sistemas que se encuentran en el Universo a todas las escalas, se plantean modelos matemáticos que los describen. Este campo se ha concentrado mayormente en el análisis de Fourier, la teoría de la relatividad, mecánica cuántica, mecánica hamiltoniana y mecánica estadística; aunque, dada su naturaleza, la disciplina aparece también en cualquier área de la física, logrando un modelado más formal de la fenomenología observada.

Geometría algebraica: en ella se complementan el álgebra y la geometría, asimismo está relacionada con la geometría diferencial, la geometría compleja y la teoría de números, incluyendo métodos trascendentes. La geometría algebraica tiene conexiones con casi todos los aspectos de la matemática moderna y recientes aplicaciones a estadística, biología, química, física y teoría de la información. Muchas de estas aplicaciones no son tradicionales, sino que surgieron en la última década a nivel internacional y se encuentran en una etapa de gran desarrollo.

Geometría diferencial: es un área dedicada inicialmente al estudio de las propiedades geométricas de curvas, superficies y variedades en los espacios euclideanos o en sus subespacios, utilizando principalmente herramientas del análisis matemático. El estudio de geometría de superficies ya estuvo presente en los trabajos de Gauss (teorema egregium); sin embargo, la geometría diferencial moderna es una creación de Bernard Riemann (1826-1866). Las superficies de Rieman produjeron avances fundamentales en la comprensión de las funciones complejas y la noción de variedad riemanniana o subriemanniana está presente hoy en toda la matemática. En especial fue una herramienta clave en la formulación de la teoría de la relatividad de Einstein. El matemático alemán Felix Klein en su programa de Erlangen (1890) relacionó la geometría con los grupos continuos de transformaciones y la teoría de invariantes. Asimismo, Henri Poincaré hizo aportes fundamentales conectándola con los grupos hiperbólicos discretos, los sistemas dinámicos y la física matemática. En la actualidad, las ideas y métodos de la geometría diferencial están presentes en toda la matemática moderna y también en otras ciencias como la física y la economía.

Lógica matemática: explora las relaciones de la lógica formal con la matemática. Las principales áreas de interés actual son la teoría de modelos, que estudia básicamente la relación entre lenguajes lógicos y las correspondientes estructuras matemáticas que los interpretan; teoría de conjuntos, inaugurada por Cantor a finales del siglo XIX y que continúa viva, incluyendo el estudio de propiedades de los grandes cardinales y la topología conjuntista; teoría de la prueba, que surgió en respuesta a la tensión existente en matemática entre los desarrollos conceptuales y la capacidad de obtener información computacionalmente factible; distintos sistemas de lógicas no-clásicas, como la lógica intuicionista y las polivalentes.

Matemática en la Ciencia y en la Tecnología: Las aplicaciones de la matemática a las ciencias naturales, la ingeniería y la economía son cada vez más ubicuas e imprescindibles y se basan en la interacción entre el modelado matemático y su impacto en la comprensión y solución de distintos fenómenos.

Probabilidades: posee raíces en áreas clásicas de la matemática (fundamentos, teoría de la medida, probabilidad en estructuras algebraicas o topológicas, teoría de números) así como en otras más prácticas (combinatoria y probabilidad geométrica). En los últimos años ha habido una explosión del estudio de los procesos estocásticos. La modelización estocástica sirve para capturar la imprevisibilidad, real o resultante de ignorancia o imposibilidad de cálculo detallado, de los fenómenos complejos que nos circundan. Los modelos permiten una gran flexibilidad: la aleatoriedad puede manifestarse en la

condición inicial y/o en la dinámica, y la evolución puede efectuarse en tiempo continuo o discreto.

Sistemas dinámicos: incorpora aspectos geométricos, cualitativos, topológicos y simbólicos. Incluye la teoría de singularidades y bifurcaciones, el estudio de sistemas hamiltonianos y otros sistemas dinámicos de origen geométrico, la existencia de atractores extraños y dinámica caótica, el estudio de acciones multidimensionales y rigidez, dinámica holomorfa, teoría ergódica con aplicaciones a combinatoria y teoría combinatoria de números, así como sistemas dinámicos de dimensión infinita y ecuaciones en derivadas parciales. La dinámica simbólica permite estudiar autómatas celulares vistos como objetos matemáticos; las aplicaciones a otras ciencias son bastante amplias: simulaciones en informática, criptografía, modelación de flujos en dinámica de fluidos, modelos de evolución de sistemas de tráfico, propagaciones de especies biológicas, etc., incluyendo componentes probabilísticas.

Teoría de control y optimización: la investigación operativa puede definirse como la ciencia de la toma de decisiones. Consiste en el desarrollo de métodos y algoritmos capaces de analizar simultáneamente todas las variables y escenarios posibles, a fin de decidir políticas óptimas para un problema dado. Es decir, optimizar implica hallar el mejor elemento, con respecto a algún criterio, de un conjunto de elementos disponibles. Algunas de las posibles aplicaciones son: problemas de logística y transporte, planificación de la producción, distribución eficiente de recursos humanos, diseño de redes, planificación de horarios, diseño de fixtures deportivos, gestión de licitaciones. La optimización matemática continua consiste en minimizar una función real que representa un "costo", sobre un dominio de posibles valores permitidos. La investigación dentro de esta área se enfoca en el desarrollo de métodos computacionales que permitan aproximar el óptimo en un número reducido de pasos.

Teoría de Lie: tiene sus orígenes en el trabajo del matemático Sophus Lie (1849-1899). Lie inició el estudio de grupos de transformaciones continuas al descubrir que muchos de los métodos especiales de resolución de ecuaciones diferenciales son casos particulares de un procedimiento general de integración, basado en la invariancia de los sistemas de ecuaciones diferenciales ante un grupo continuo de simetrías. El método de Lie de la transformación infinitesimal proporciona una técnica aplicable para hallar soluciones en forma analítica a ecuaciones diferenciales ordinarias. Aplicados a ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, el método de Lie proporciona soluciones invariantes y leyes de conservación; además explotando las simetrías de las ecuaciones se pueden obtener nuevas soluciones a partir de las ya conocidas. La teoría de Lie tiene

modernamente diversas generalizaciones en las que se trabaja activamente; en particular, la noción de álgebra de Hopf y el descubrimiento por Drinfeld y Jimbo de los grupos cuánticos en 1983.

Teoría de números: su objetivo inicial fue la comprensión de la aritmética de los números enteros, la determinación de las soluciones enteras de ecuaciones a coeficientes enteros, la distribución de los números primos y la combinatoria. Es una de las áreas más antiguas de la matemática, por lo simple y accesible de los enunciados y preguntas, a menudo muy difíciles, cuya resolución requiere el uso profundo de técnicas de distintas áreas de la matemática (álgebra, análisis, probabilidades, geometría algebraica). Por ejemplo, el llamado Programa de Langlands exhibe un sinfín de complejas conexiones de la teoría algebraica de números con la geometría algebraica, representaciones de grupos de Lie y grupos p-ádicos, álgebra homológica y la topología algebraica. El área tiene hoy un gran auge. Se han resuelto varios problemas clásicos fundamentales en años recientes, en particular el teorema de Fermat (Wiles-Taylor, 1998), grandes avances en la *twin prime conjecture* por Zhang (2014), las conjeturas de Sato-Tate (Harris-Soudry-Taylor) y las conjeturas de Serre (Khare-Winterberger) y se presentan cada vez más frecuentes aplicaciones a teoría de comunicaciones, criptografía y códigos autocorrectores.

Topología: es la rama de la matemática dedicada al estudio de aquellas propiedades de los cuerpos geométricos que permanecen inalteradas por deformaciones continuas. Es una disciplina que estudia las propiedades de los espacios topológicos y las funciones continuas. Se interesa por conceptos como proximidad, número de agujeros de una superficie, comparación de distintos espacios topológicos y estudiar atributos como conectividad, compacidad, metrizabilidad, entre otros. Incluye la topología algebraica, la topología diferencial y la topología geométrica.

La cantidad de temas de frontera que pueden enumerarse en la disciplina es muy grande, dada la especialización y el desarrollo del área a nivel mundial, en contraste con las dimensiones de la comunidad matemática argentina y las posibilidades reales de crecimiento. Por lo tanto, no es posible sugerir una cantidad pequeña de temas de frontera para su desarrollo en el país. Una acción importante a seguir es la de incorporar al sistema matemáticos jóvenes con vocación de liderazgo académico, quienes naturalmente orientarán la investigación hacia áreas de vacancia. Las visitas de destacados investigadores del exterior por períodos de cierta extensión también contribuirían a esos desarrollos.

ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

Para comprender el estado actual del área es conveniente explicar brevemente su evolución en los últimos años. En la Argentina y para la Matemática, en el período comprendido entre ambas guerras mundiales, se dio el arranque de algo nuevo y diferente. En 1917 llegó Julio Rey Pastor y se encontró con un medio atrasado en siglos frente a la matemática mundial. Poco más de veinte años después, ese mismo medio había producido suficiente matemática nueva como para albergar una institución como la Unión Matemática Argentina fundada en 1936, una publicación como la Revista de la UMA creada en 1937 y un centro de investigación como el actual instituto Beppo Levi que funciona en Rosario desde 1939. Todos estos logros tuvieron que ver con la labor de Julio Rey Pastor.

Durante casi toda la década del 30 la principal investigación matemática se hacía en el Seminario Matemático de la Universidad de Buenos Aires; allí Rey Pastor iba formando a los futuros matemáticos y dando posiciones de responsabilidad a los más adelantados. Entre sus discípulos destacados, cabe mencionar a Alberto González Domínguez y a Alberto Calderón quien siendo aún estudiante de ingeniería se sintió atraído por los cursos y seminarios de Rey Pastor, y en la década de los 60 llegó a estar entre los cincuenta matemáticos más famosos del mundo. Se destacan también como pioneros de la investigación matemática argentina Luis Santaló, Mischa Cotlar, Antonio Monteiro, Orlando Villamayor, Eduardo Zarantonello, Beppo Levi, José Babini, Rodolfo Ricabarra y Alberto Sagastume Berra, entre otros.

Entre 1954 y 1956 tuvo lugar en Mendoza un hecho inédito: se creó en la Universidad Nacional de Cuyo un Instituto de Matemática, dependiente del Departamento de Investigaciones Científicas, que reunió a algunos de los mejores matemáticos del momento, fundó la Revista Matemática Cuyana y realizó un importante Congreso Latinoamericano financiado por la UNESCO.

El 5 de enero de 1956 se creó la Universidad Nacional del Sur, y en ella el Departamento de Matemática y el Instituto de Matemática, como entidades separadas. Entre los primeros docentes e investigadores se incorporó a los doctores Antonio A. Monteiro y Oscar Varsavsky. El 17 de noviembre de 1956 se creó el Instituto de Matemática, Astronomía y Físca de la Universidad Nacional de Córdoba, cuyo departamento de matemática tuvo un peso significativo en el pais. En 1958, la creación del CONICET dio un apoyo importante y sostenido al desarrollo científico en el país, en particular, con la introducción de la Dedicación Exclusiva para los profesores universitarios. Este desarrollo se vio trágicamente interrumpido por los vaivenes políticos.

Desde 1959 tuvo gran influencia en el desarrollo de la matemática argentina el Centro Regional de Matemática para América Latina, que funcionó en el Departamento de Matemática de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. En poco tiempo egresaron numerosos licenciados en matemática que adquirieron renombre internacional, pero que en su mayoría emigraron.

En el año 1961, en el transcurso de algunos meses egresaron de la Facultad de Ciencias una generación de Licenciados en Matemática verdaderamente excepcional, quienes llevaron al área a ocupar un alto lugar en el ámbito académico internacional, durante la época de la UBA que recibió el nombre de dorada.

A partir de la década del 70 se produce el retorno de grupos de matemáticos jóvenes recientemente doctorados en el exterior. En particular, se abrió un nuevo centro en Santa Fe y se fortalecieron los grupos de Córdoba y Buenos Aires, junto con el inicio de nuevos programas de Doctorado en Matemática. En las décadas del 70 y el 80, se desarrollaron en Córdoba los Seminarios Nacionales Bianuales de Matemática conocidos como los Seminarios de Vaquerías (Vaquerías, Sierras de Córdoba), organizados por matemáticos de la UBA, de la UNS y de la UNC. Tuvieron un gran impacto en el desarrollo de las licenciaturas y de los doctorados en el país. Con el paso del tiempo esto ha ido dando sus frutos, gracias al moderado pero sostenido apoyo del CONICET, a los ingentes esfuerzos de los iniciadores y de los jóvenes doctores por ellos formados. Los programas de doctorado permitieron crear una masa crítica interesante de doctores que gozaron de estadas posdoctorales en centros importantes del exterior. Puede decirse que ellos son actualmente los líderes de la matemática en el país.

En la actualidad se cuenta con matemáticos activos trabajando en distintos centros, donde se ofrecen programas de doctorado: Bahía Blanca, Buenos Aires, Córdoba, La Plata, Mar del Plata, Rosario, San Luis, Santa Fe y Tandil. Asimismo, hay centros como Corrientes, Mendoza, Neuquén, Puerto Madryn, Salta, San Juan y Tucumán, algunos con programas de magíster, cuyos licenciados acuden a los centros antes mencionados para realizar estudios de doctorado.

La mejora progresiva de la producción científica ha sido reconocida por la International Mathematical Union (IMU), quien ha promovido a la Argentina del grupo 2 al grupo 3 en 2014. En la IMU existen cinco grupos de países según su grado de desarrollo matemático, que comprende no sólo la cantidad sino la calidad de la producción y la formación de doctores en la especialidad. Hay 10 países en el grupo 5; 10 en el grupo 4; 8 en el grupo 3; y 44 entre los grupos 1 y 2. Observamos que, dentro de Latinoamérica, Brasil está en el grupo 4, México y Argentina en el 3, Chile en el 2, mientras que Colombia, Uruguay, Perú, Bolivia, Paraguay, Venezuela y Ecuador están en el 1.

La comunidad matemática argentina es pequeña en valores absolutos, ya que hay menos de 400 investigadores formados e investigadores jóvenes, y un

número similar de doctorandos y posdoctorandos. Recientemente, la Argentina ha tenido la satisfacción de contar con dos expositores que trabajan en el país, como invitados a la reunión ICM2014 y además una matemática argentina fue designada como Vicepresidente de la IMU para el período 2015-2018. Señalamos también que una investigadora argentina dictó una de las siete conferencias plenarias en el *International Congress of Women Mathematicians 2014*. Como antecedente previo, recordamos que en el ICM2006 en España hubo un conferencista invitado del país. Asimismo, dos de los recientes Premios Ramanujan para jóvenes matemáticos de países en vías de desarrollo, otorgados por el *International Centre for Theoretical Physics de Trieste*, Italia y la IMU, fueron entregados a matemáticos argentinos.

Grupos de Trabajo

La información concerniente a los grupos de trabajo (ubicación geográfica, evolución histórica en los últimos veinte años, principales temas de investigación, número y categoría de sus investigadores, grado de asociación a universidades, institutos u otros organismos públicos o privados) ha sido mayoritariamente extraída de la encuesta realizada a nuestros colegas de distintos centros de investigación del país. El primer inconveniente, planteado por varios investigadores, es que los grupos de trabajo no están claramente determinados en nuestra disciplina sino que son dinámicos y basados en colaboraciones que van evolucionando. Tampoco los temas de trabajo se circunscriben en general a una sola de las áreas consideradas, por lo cual hay cierta superposición de información, pero que no afecta las consideraciones que emitimos en este informe.

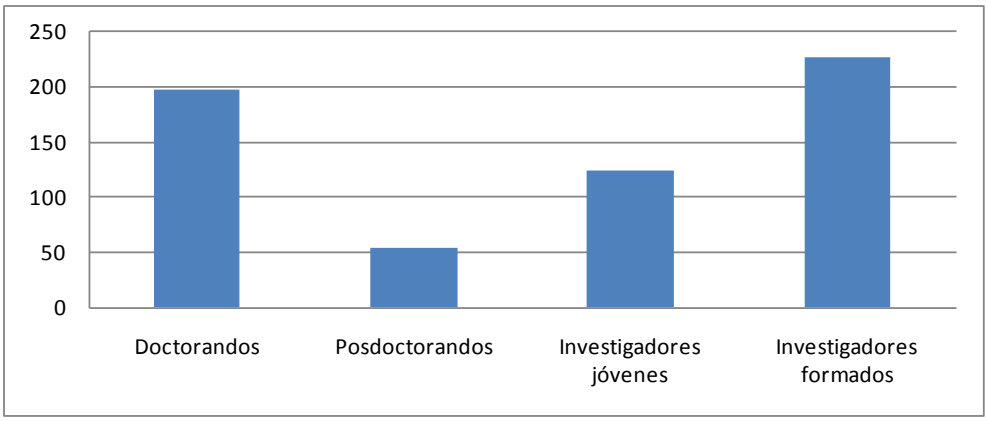


Gráfico 7.1. Número total de matemáticos (2014). *Fuente*: Encuesta.

La encuesta fue enviada a alrededor de noventa investigadores y fue respondida por 87 de ellos. Si bien no hemos realizado un censo, creemos que el número real total de matemáticos en el país (entre investigadores, posdosctorandos y doctorandos) no es superior en un 10% a las cifras indicadas en el gráfico 7.1. Hay en total en la muestra 406 doctores en matemática (352 investigadores más 54 posdoctorandos). La razón entre el número de doctorandos y posdoctorandos por investigador formado es de 1,11.

Los investigadores trabajan en más de un tema en la mayoría de los casos, pero hemos logrado armar una tabla aproximada del número de matemáticos por disciplina, que se refleja en el gráfico 7.2. No hemos incluido el personal de apoyo ya que solo se trata de personal administrativo, que no está asignado a un grupo. Este personal es escaso y gran parte de las tareas burocráticas reposan en general en los investigadores, entorpeciendo el trabajo de investigación.

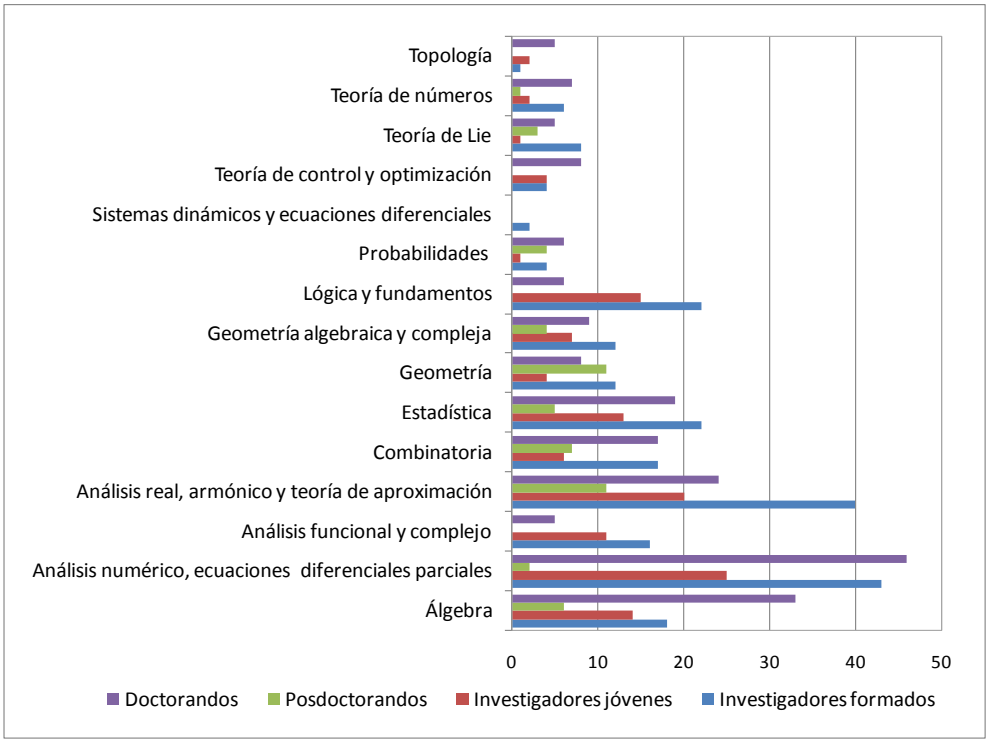


Gráfico 7.2. Cantidad de matemáticos por sus temas de investigación. *Fuente*: Encuesta.

La distribución geográfica de los investigadores en el país no es buena, lo cual también influye en la poca distribución temática que se observa en la siguiente tabla que resume los temas estudiados por las instituciones de cada

una de las siguientes regiones: Gran Buenos Aires (FCEN-UBA, FI-UBA, IAM, IMAS, UNGS, UTDT, Universidad de San Andrés, UNSAM, CAECE), Provincia de Buenos Aires (UNLP, UNS, UNCPBA, UNMDP, INMABB), Provincia de Santa Fe (UNL, UNR, U. Austral (Rosario), IMAL), Córdoba (UNC, CIEM, UNRC), Patagonia y Cuyo (UNSL, IMASL, UNCU (Mendoza), UNP, I.Balseiro, CNEA (Bariloche), UNComa) y finalmente la región Norte (UNNE, UNT, UNSA).

Aclaramos que esta visualización no incluye evaluación de calidad de los grupos. La tabla 7.1 muestra la escasa distribución geográfica de los matemáticos en la Argentina, así como la poca representación de la mayoría de los temas, salvo en general los de análisis, que son de mayor tradición en el país.

	GBA	Córdoba	Santa Fe	Prov. de Buenos Aires (sin GBA)	Patagonia y cuyo	Región norte
Álgebra						
Análisis numérico y cálculo científico						
Análisis funcional y complejo						
Análisis real, armónico y teoría de aproximación						
Aspectos matemáticos de la Computación						
Combinatoria						
Ecuaciones diferenciales parciales						
Estadística						
Física matemática						
Geometría						
Geometría algebraica y compleja						
Lógica y fundamentos						
Matemática en la ciencia y en la tecnología						
Probabilidades						
Sistemas dinámicos y ecuaciones diferenciales						
Teoría de control y optimización						
Teoría de Lie						
Teoría de números						
Topología						

Tabla 7.1. Distribución geográfica de los investigadores en el país por sus temas de investigación. Morado: indica mayor desarrollo en el área, celeste: desarrollo medio, anaranjado: al menos un investigador en el área. *Fuente*: Encuesta.

El desarrollo del análisis numérico y de las ecuaciones diferenciales parciales, así como el álgebra y la geometría algebraica computacionales y el análisis de algoritmos, temas cercanos a las aplicaciones, es de buena calidad pero principalmente teórico en el país, si bien hay unos pocos grupos intentando establecer conexiones con otros científicos o usuarios de los desarrollos matemáticos. Los que trabajan sobre análisis de señales o imágenes realizan algunas aplicaciones relacionadas con las ciencias de la salud y la bio-ingeniería. Los grupos que trabajan en estadística realizan un destacado trabajo teórico y también colaboran de manera sistemática tanto con investigadores del ámbito científico-académico como con empresas y organismos públicos cuyas actividades requieren el uso de procedimientos estadísticos.

No podemos estimar el número total de investigadores argentinos en el exterior, porque los datos obtenidos del MINCyT no son claros (si un investigador visitó la Argentina por el Programa Raíces tres veces, está contado tres veces por ejemplo) y de todos modos no son exhaustivos. A partir de las encuestas hemos identificado 60 matemáticos argentinos en el exterior, que colaboran o están en contacto con matemáticos residentes en el país:18 de Instituciones de Latinoamérica (12 de Brasil, 4 de Chile, 1 de México y 1 de Venezuela), 22 de EEUU, 6 de Canadá y 14 de Europa e Israel (5 de España, 2 de Italia, 2 de Francia, 2 de Inglaterra, 1 de los Países Bajos y 2 de Israel).

Infraestructura y Financiación

Muchos de los investigadores que trabajan en Argentina tienen una fuerte conexión internacional, son invitados a conferencias internacionales o coorganizan eventos internacionales de primera línea. Para la mayoría de estas actividades es preciso contar con apoyo económico del exterior, vía convenios de cooperación (Ecos Sud o MathAmSud, por ejemplo) o vía contactos e invitaciones personales. Es imposible organizar eventos internacionales de envergadura en la Argentina sin un importante financiamiento externo, tanto por los montos reducidos como por la incertidumbre de fecha de cobro de los subsidios nacionales. Cabe señalar que en este momento y claramente cada vez más en el futuro, la ayuda internacional para países en vías de desarrollo, se concentra en el continente africano o en países de América Central.

Uno de los problemas más serios de la disciplina en el país es la falta de recursos económicos para movilidad que permita la asistencia a congresos o a realizar estadías en otros centros de investigación. La escasez de recursos económicos también dificulta la invitación a investigadores extranjeros para realizar estadías en los distintos centros de investigación en Argentina y la interacción de los investigadores en el país.

El problema de falta de espacio físico para albergar a los investigadores y becarios es grave en la mayoría de las universidades nacionales y es especialmente crítico por ejemplo en la UNMdP, la UNComa o la UBA (que cuenta con un instituto UBA-CONICET, pero que a los efectos de espacio es virtual), a diferencia en general de los institutos dependientes del CONICET que tienen espacio adicional al de los departamentos docentes.

El equipamiento es en general adecuado, salvo algunos casos puntuales. Un problema central se da en la adquisición de libros que requieren importación y cuya compra se vuelve muy difícil. La Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología provista por el MINCyT y el Consorcio de Institutos de Matemática Argentinos (AMIC), con dependencia total o parcial del CONICET, proveen un acceso a publicaciones periódicas razonable, pero las publicaciones vía el consorcio AMIC no llegan a todas las instituciones. Este Consorcio está constituido por los siguientes institutos de Matemática: el Centro de Investigación y Estudios de Matemática (CIEM), el Instituto Argentino de Matemática (IAM), el Instituto de Matemática Aplicada del Litoral (IMAL), el Instituto de Matemática Aplicada de San Luis (IMASL), el Instituto de Matemática de Bahía Blanca (INMABB) y el Instituto de Investigaciones Matemáticas (IMAS).

Las principales fuentes de financiación en el país son el CONICET, la ANPCyT y las secretarías de Ciencia y Técnica de las universidades nacionales. También se informan aportes de la Secretaría de Estado Ciencia, Tecnología e Innovación de la Provincia de Santa Fe.

El 60 % de los investigadores encuestados ha participado en subsidios de la ANPCyT, el 80%, en subsidios del CONICET y el 90%, en subsidios de las universidades. Es necesario observar que el número total de subsidios es menor, ya que hay información duplicada dado que varios investigadores participan del mismo subsidio; los integrantes de estos subsidios van variando y no corresponden necesariamente a un grupo claramente definido.

Los grupos consolidados pueden obtener financiamiento de las tres fuentes mencionadas. Los grupos más pequeños sólo lo tienen a través de sus respectivos recursos universitarios que son muy escasos. Los montos de los subsidios son un problema a la hora de planear una participación en un congreso o una estadía de investigación en el exterior. Por ejemplo, en el área de Análisis, el orden de magnitud de la totalidad de los financiamientos que recibe el área de las tres fuentes más algunos proyectos de cooperación internacional es de 1.000.000 de pesos anuales, lo que arroja un promedio de unos 7.800 pesos de promedio por integrante de los grupos. La participación en un congreso nacional cuesta alrededor de 4.000 pesos. Según este esquema, son escasos los recursos para que los jóvenes puedan presentar sus trabajos en congresos internacionales y realizar estadías breves en reconocidos centros del exterior.

La mayoría de los investigadores e incluso doctorandos y posdoctorandos

ha recibido apoyo de diversas instituciones del exterior para participar de eventos internacionales o realizar estadías de investigación. Por otro lado, los investigadores encuestados han participado de 36 proyectos de cooperación u otro tipo de subsidios internacionales, 26 de ellos de menos de 10.000 dólares, 10 de ellos entre 10.000 y 50.000 dólares y 2 de más de 50.000 dólares. Estos dos últimos proyectos fueron financiados por USArmyResearch y Air Force Office for Scientific Research, EEUU. Las fuentes de financiación de los demás proyectos de montos inferiores a los 50.000 dólares han sido: diversos proyectos ECOS y MathAmSud de colaboración con Francia y otros países de la región, así como proyectos financiados por NIH, EEUU; DAAD, Alemania; CONACyT, México; NSF-CONICET; CNRS, Francia; CAPES, Brasil y distintos fondos de la Comunidad Económica Europea.

Lamentablemente, no se nos proporcionó la información de todos los años; en particular, sería importante contar con la correspondiente a los años intermedios entre 2000 y 2005 y entre 2005 y 2009 para comprender de manera más adecuada la evolución de la inversión. Las oscilaciones en los financiamientos del CONICET que se visualizan están relacionadas también con el carácter trienal de los proyectos.

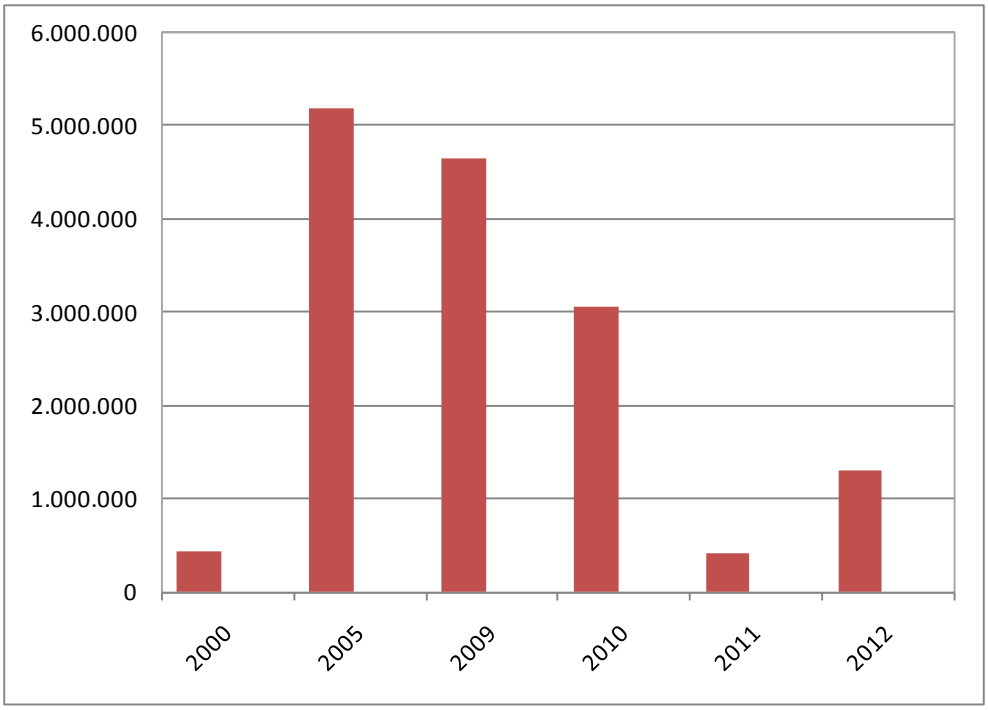


Gráfico 7.3. Subsidios otorgados por CONICET, en Matemática. Monto total en pesos. *Fuente*: CONICET.

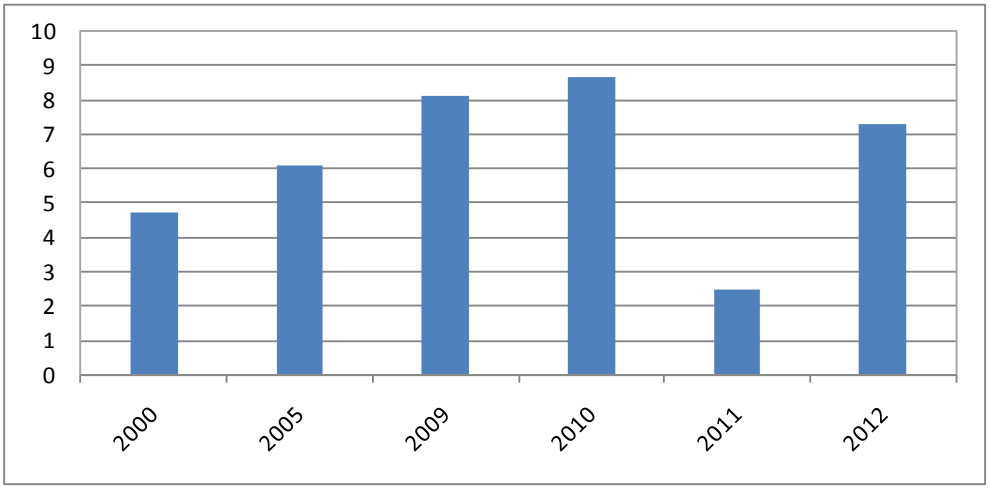


Gráfico 7.4. Porcentaje PIP en Matemática entre las Ciencias. *Fuente*: CONICET.

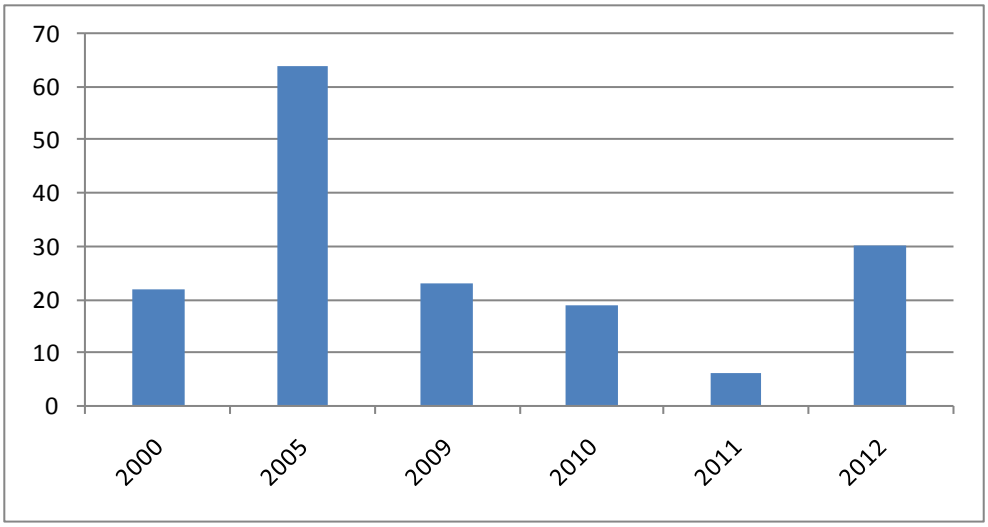


Gráfico 7.5. Cantidad de subsidios de Matemática. *Fuente*: CONICET.

Producción científica argentina

La producción científica en general es sólida y miembros de nuestra comunidad están publicando en las revistas de más alto impacto de cada disciplina, además de que varios investigadores argentinos han logrado

publicar artículos en *Annals of Mathematics*, probablemente la revista más prestigiosa en el área. Aún en las disciplinas tradicionales en el país, los temas de investigación en matemática se han ido diversificando. En los últimos diez años, se han comenzado investigaciones en áreas nuevas como Probabilidades y Topología, pero en muchos temas de interés hay en el país un solo investigador activo, lo cual ciertamente no constituye una garantía de supervivencia del tema y aún de la disciplina dentro de nuestra comunidad.

Según los datos aportados por el RICyT, el número total de publicaciones indexadas del área entre 2003 y 2012 ha sido de 2.091 artículos. Estimamos que este número está subvaluado. Por ejemplo, no constan de manera evidente los artículos de Estadística de los últimos años. En los *Mathematical Reviews*, publicados por la *American Mathematical Society*, donde aparecen resúmenes de todos los artículos, volúmenes y libros publicados, el número de ítems que aparece al buscar Argentina en esos años, supera los 3.000. Es posible conseguir el número preciso de publicaciones, más todos los datos de cada publicación, con una búsqueda exhaustiva por autor. El acceso es posible, ya que esta base de datos entra dentro de la Biblioteca Digital que ofrece el MINCyT. Sin embargo, sistematizar esta información de manera fehaciente requeriría soporte técnico con el que no contamos para hacer este informe. Según SCImago, el número total de documentos publicados en el período 2003-2012 fue 4.833.

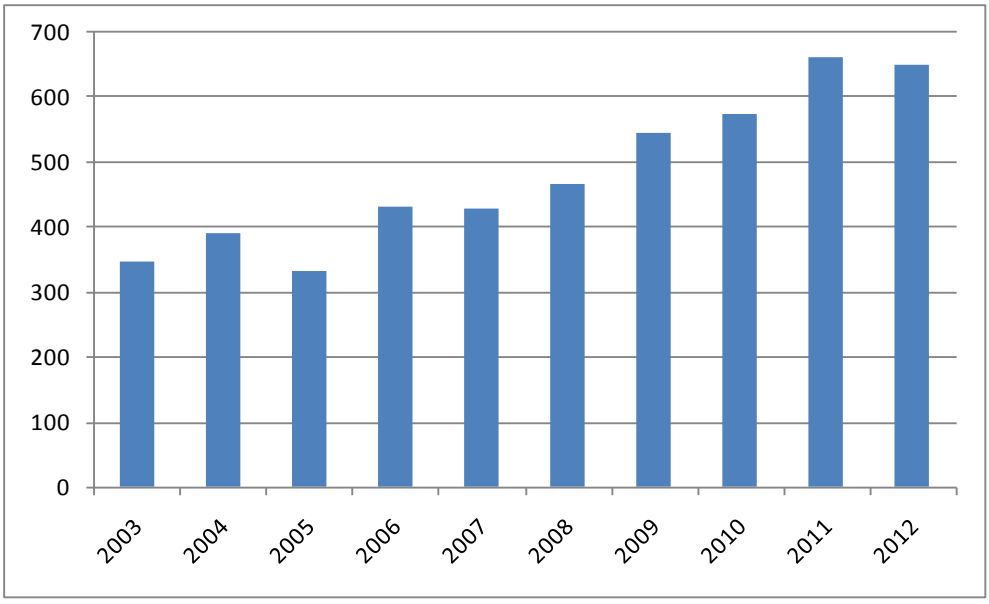


Gráfico 7.5. Número de artículos del área publicados en revistas indexadas en los últimos diez años. *Fuente*: SCImago.

También según SCImago, el número de publicaciones por subdisciplina ha sido el siguiente entre 2003 y 2012, pero no parece tener datos confiables:

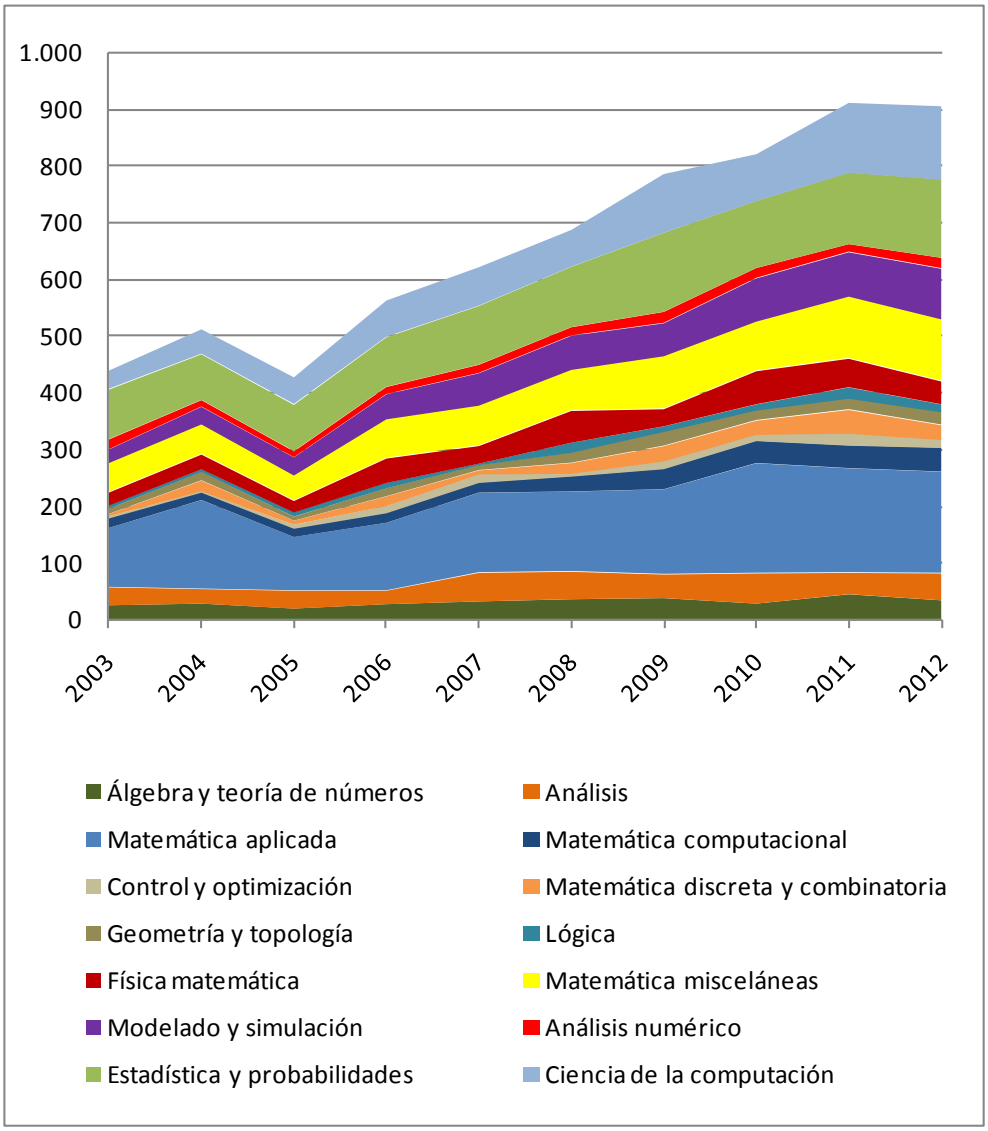
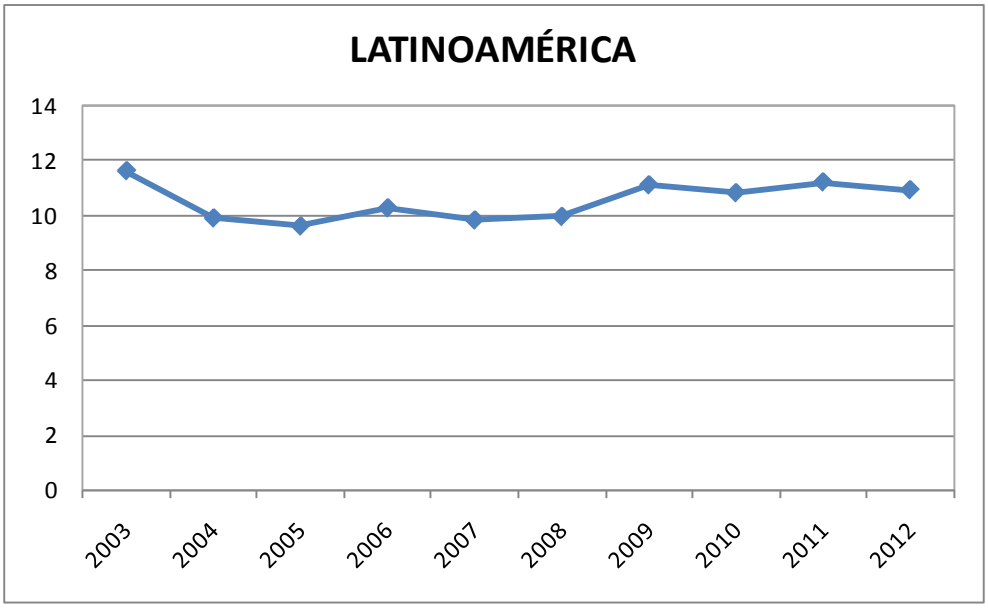


Gráfico 7.5. Cantidad total de artículos con autores argentinos en revistas indexadas, en diversas especialidades, para el lapso 2003-2012. *Fuente*: SCImago.

En el mismo período, el porcentaje de las publicaciones argentinas en matemática con respecto a toda Latinoamérica se mantiene alrededor del 10%,

y respecto de todo el mundo se mantiene alrededor del 0,35%, como se aprecia en los siguientes gráficos:



Gráficos 7.6. Porcentaje de artículos con autores argentinos con respecto al total mundial y latinoamericano en el período 2003-2012. *Fuente*: SCImago.

El siguiente gráfico muestra el porcentaje de publicaciones en los períodos 2004-2008 y 2008-2012 por institución, de acuerdo con la información suministrada por el RICyT:

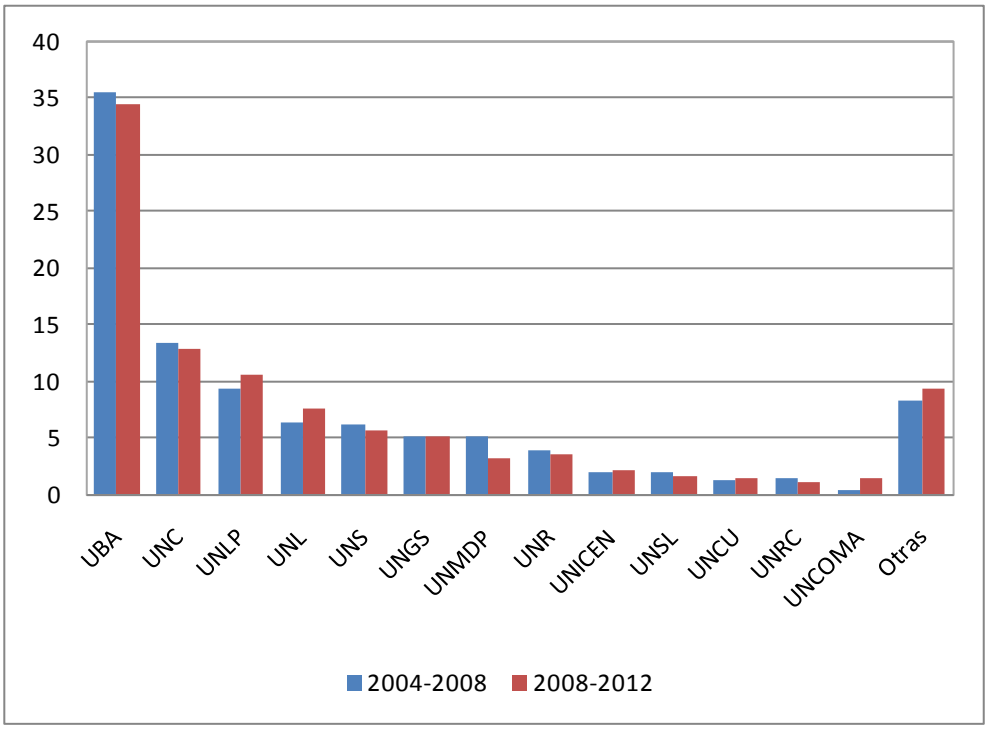


Gráfico 7.7. Producción científica discriminada por afiliación institucional de los autores para los períodos 2004-2008 y 2008-2012. *Fuente*: RICyT.

A los efectos de realizar un análisis comparativo de la situación de la disciplina en cuanto a producción científica, se seleccionaron países pertenecientes a Latinoamérica (México, Venezuela, Brasil y Chile), la Comunidad Europea (España, Italia y Reino Unido), Norteamérica (Canadá y Estados Unidos), Asia (China) y Oceanía (Australia).

La siguiente tabla compara en los quinquenios 2003-2007 y 2008-2012, el número de artículos del área por millón de habitantes de los países seleccionados. Se observa que la evolución Argentina es buena y acorde a la región, sólo destacándose Chile sobre los demás países.

Si comparamos con el resto de los países de todo el mundo, si bien la producción ha crecido en el segundo quinquenio, la situación global es por supuesto muy diferente a la de los países más desarrollados con una mayor inversión en ciencia.

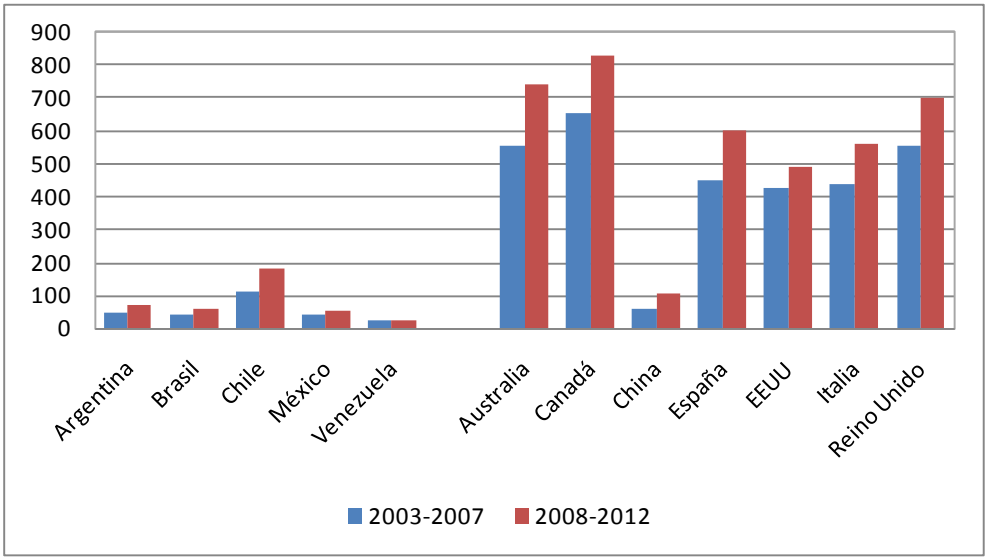


Gráfico 7.8. Número total de artículos por millón de habitantes económicamente activos, período 2003-2007 y 2008-2012. *Fuentes*: SCImago y Banco Mundial.

El número de citas promedio por artículo, sin embargo, es similar:

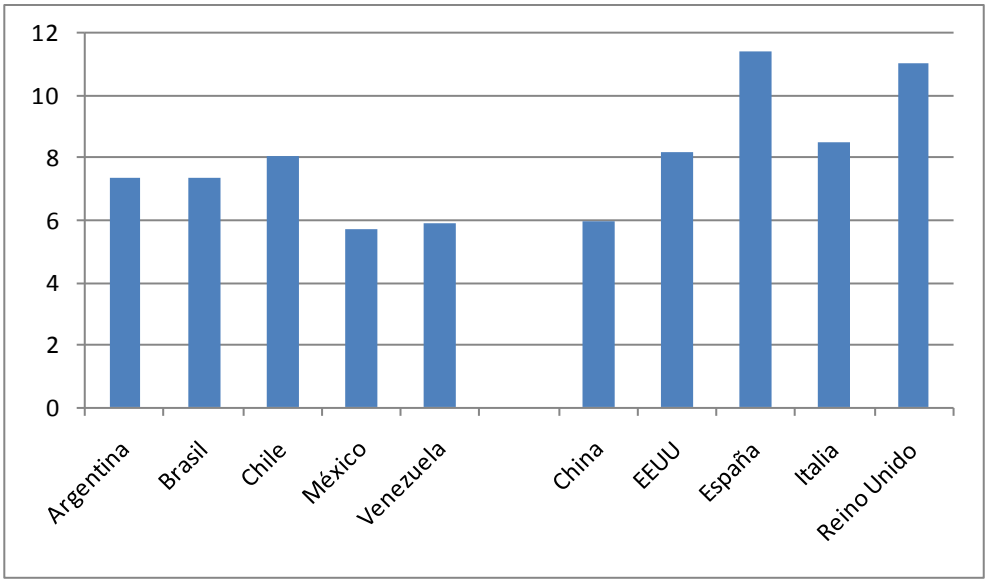


Gráfico 7.9. Número de citas promedio por artículo anual (excluidas autocitas) de cada país incluido en la comparación. Período analizado: 2003-2007. *Fuente*: SCImago.

El siguiente gráfico muestra la evolución de los porcentajes de publicaciones realizadas por investigadores residentes en la Argentina con investigadores de otros países del exterior. El número total de publicaciones en colaboración casi se duplicó, pasando de 420 artículos en el período 2003-2007 a 820 artículos en el período 2008-2012; también aumentó el porcentaje de publicaciones en colaboración internacional.

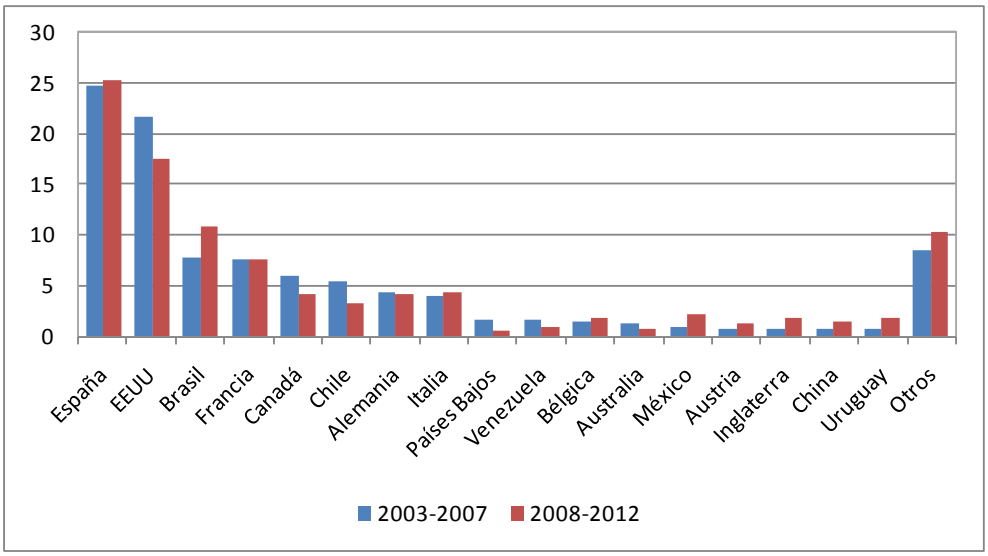


Gráfico 7.10. Porcentaje de artículos en colaboración con los países con los cuales Argentina ha establecido mayores índices de colaboración, en los períodos 2003-2007 y 2008-2012. *Fuente*: RICyT.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

La formación de recursos humanos de nivel superior en el país es en general de buen nivel. Prácticamente todos los investigadores participan activamente en la docencia universitaria de grado y posgrado.

El siguiente gráfico indica el número de egresados de grado sólo de algunas de las universidades con mayor número de egresados de licenciaturas en Matemática o Matemática Aplicada de 2003 a 2012. Los datos fueron recogidos uno a uno a través de contactos en las universidades y con el propósito de cotejar los datos de la SPU, pero claramente no son exhaustivos.

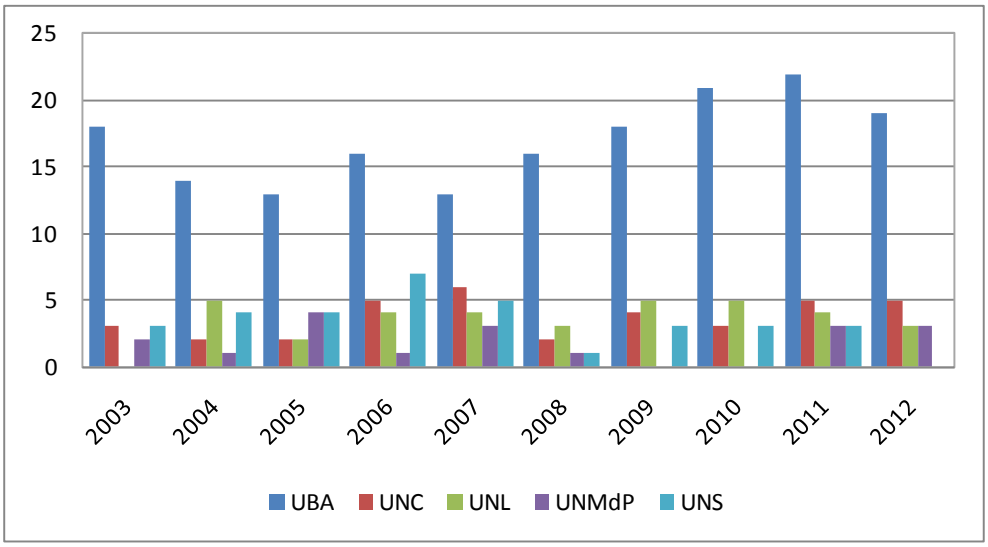


Gráfico 7.11. Número de egresados de Licenciatura en Matemática por institución. Período 2003-2012. *Fuente*: Universidades.

El número total de egresados de estas instituciones se ha mantenido relativamente constante a lo largo del período, yendo de 26 egresados por año a 30 egresados en 2013, con un pico de 37 en 2011; desde 2012 se mantiene en un nivel superior a 30. Faltan datos significativos de varias universidades (UNR, UNLP, etc.). La única institución privada que ofrece, desde hace muchos años, una Licenciatura en Ciencias Matemáticas es el Centro de Altos Estudios en Ciencias Exactas (CAECE).

El nivel de deserción es grande, pero no tenemos un diagnóstico general de la situación. Probablemente sea similar a los de las demás áreas. Sería muy

bueno contar con becas de grado para incentivar las vocaciones científicas, lo que asimismo paliaría en parte el problema de la deserción.

Los datos aportados por la SPU del Ministerio de Educación son poco útiles, porque en general agregan los datos de egresados de las licenciaturas con egresados de los profesorados en Matemática, como en el caso de la UNC o la UNMdP. En el caso de la UBA y del Litoral, por ejemplo, no podemos comprender los datos aportados por el Ministerio de Educación.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
UBA (SPU)	11	11	23	9	20	13	19	26	29	31	192
UBA Licenciatura	18	14	13	16	13	16	18	21	22	19	170
UBA Profesorado	3	5	3	4	3	4	5	11	7	6	51
UNC (SPU)	15	13	9	24	19	13	18	16	17	14	158
UNC Licenciatura	3	2	2	5	6	2	4	3	5	5	37
UNC Profesorado	13	11	8	19	13	11	14	13	12	11	125
UNL(SPU)	3	6	8	13	9	10	11	13	15	6	94
UNL Licenciatura	0	5	2	4	4	3	5	5	4	3	35
UNMdP (SPU)	18	1	7	7	4	13	15	6	9	11	91
UNMdP Licenciatura	2	1	4	1	3	1	0	0	3	3	18
UNMdP Profesorado	16	0	3	6	1	12	14	6	7	8	73
UNS (SPU)	5	10	8	9	7	9	6	10	13	17	94
UNS Licenciatura	3	4	4	7	5	1	3	3	3	0	33
UNS Profesorado	2	6	4	2	2	8	3	7	10	17	61

Tabla 7.2. Egresados de grado en Matemática. *Fuentes*: SPU (amarillo) y universidades (verde).

Como los datos de la SPU no distinguen Licenciaturas de Profesorados en Matemática, los datos de muchas provincias son desmesurados con respecto al tamaño de las licenciaturas, cuando las hay. Nos permitimos sugerir que en futuras ediciones de esta información, se distinguiera la carrera de grado, no sólo la universidad.

En cuanto a la formación de posgrado, los datos aportados por la CONEAU informan de la existencia de 8 doctorados acreditados en la disciplina (UBA, UNC, UNMdP, UNR, UNSL, UNCPBA, UNL y UNS). No figura el doctorado de la UNLP, que fue acreditado en 2014. Los datos son aproximados a los datos que recogimos de distintas universidades. Según la CONEAU, el número total de egresados en los últimos 10 años es de 173 doctores. Por otro lado, hubo 27 doctores en Matemática egresados de la UNLP, con lo que la cifra total sería de 200.

Se informan 7 maestrías en Matemática, Matemática Aplicada o Estadística (UBA, UNS, UNSA, UNT, UNComa, UNL, UNR), con un total de 53 magisters y una carrera de Especialización en Estadística en la UBA (con un total de 14 egresados). No figura la Maestría en Ingeniería Matemática, que se dicta en la Facultad de Ingeniería de la UBA, que fue acreditada por la CONEAU en 2011, ni la Maestría en Matemática Aplicada de la UNRC.

El siguiente gráfico refleja el número total de egresados en los últimos diez años en programas de Magister en Estadística y Doctorados con tesis en temas de Estadística.

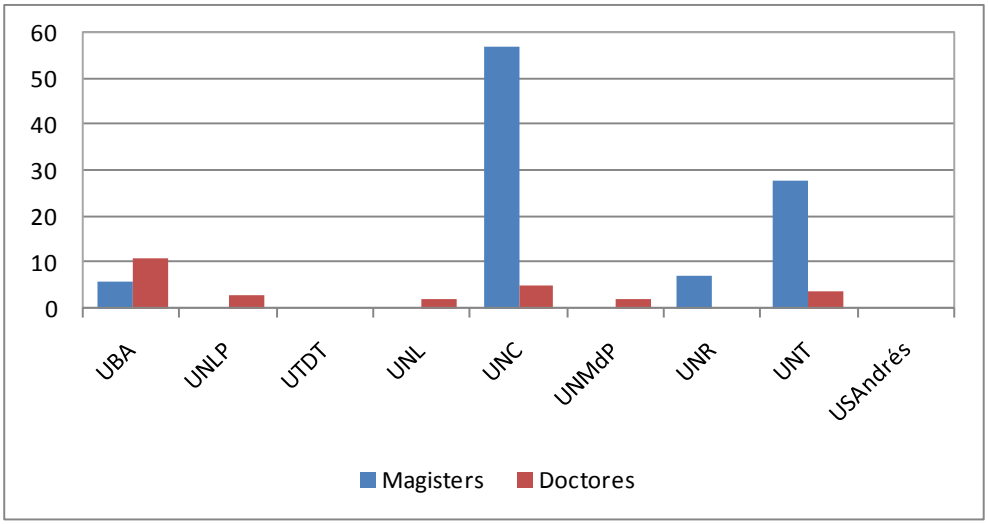


Gráfico 7.12. Número de magisters y doctores en Estadística por institución en los últimos diez años. *Fuente*: universidades e investigadores.

Sólo contamos con información desglosada de las becas en Matemática otorgadas por el CONICET, pero entendemos que estos datos son los más significativos aunque la UBA y otras Universidades Nacionales ofrecen becas doctorales, al menos de inicio, así como la ANPCyT a través de los proyectos ganados por los investigadores. Este número se ha triplicado en la última década, pasando de 57 becas doctorales y 14 posdoctorales en 2003 a 156 becas doctorales y 41 becas posdoctorales en 2013. Esperamos que esta tendencia creciente continúe en el futuro.

Se grafica a continuación el número de becas doctorales y posdoctorales en Matemática otorgadas por el CONICET de 2003 a 2013. Entendemos que el número de becas posdoctorales no ha crecido similarmente a las doctorales ante la falta de presentaciones:

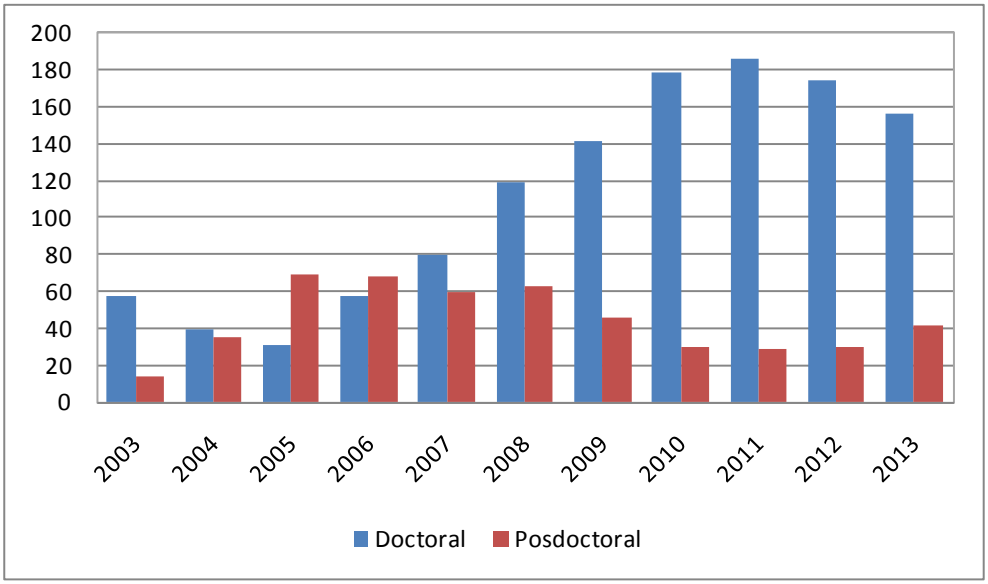


Gráfico 7.13. Número de becas doctorales y posdoctorales otorgadas por CONICET. *Fuente*: CONICET.

SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS

En el país existen tres asociaciones civiles de carácter científico en el área de la Matemática y la Estadística: la Unión Matemática Argentina (UMA), la Asociación Argentina de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial (ASAMACI) y la Sociedad Argentina de Estadística (SAE), cuyas comisiones directivas nos han enviado gentilmente información adicional además de toda la información que está disponible en las correspondientes páginas web.

La UMA cuenta con 677 socios titulares y 28 socios adherentes; la ASAMACI tiene 134 socios y la SAE tiene 280 socios titulares más unos 70 adherentes, incluyendo profesionales de la estadística además de investigadores. Las actividades de las tres instituciones son en principio apropiadas y suficientes para el cumplimiento de sus objetivos, con autoridades activas.

La más importante y de más larga trayectoria es la Unión Matemática Argentina, asociación civil de carácter técnico científico sin fines de lucro, que promueve el desarrollo de la Matemática en el país. Su accionar se remonta a 1936, aunque su fundación formal y su inscripción como persona jurídica, se realizó en el año 1978. Forma parte de la International Mathematical Union, de la Unión Matemática de América Latina y el Caribe y del Mathematical Council of the Americas.

Las actividades principales de la UMA son la publicación de su revista y la organización del Congreso Anual, rotativamente en distintos centros del país. Está dirigida por una Comisión Directiva que se elige bianualmente en asamblea de asociados y cuenta con secretarios locales en todo el país. Sus objetivos fundamentales son los de fomentar la investigación y el estudio de las matemática pura y aplicada en todos sus niveles mediante reuniones científicas, cursos, becas, premios, concursos, publicaciones y otros medios adecuados, así como la transferencia de la matemática a las distintas áreas del saber científico y tecnológico.

Una característica de la UMA es la pluralidad de las áreas y de la cultura matemática, que abarca la investigación disciplinar y las estrategias de enseñanza. Además de representar a la comunidad matemática argentina en distintos organismos internacionales la UMA auspicia, frente a los organismos de financiación nacionales, los congresos de la disciplina que considera relevantes; apoya económicamente a sus socios para que participen activamente de los congresos anuales; otorga becas a los estudiantes para que participen de cursos específicos y complementarios, que representan a toda las disciplinas, y que son organizados y financiados por la UMA; patrocina los Festivales de Matemática para acercar la Matemática a un público amplio; y genera los espacios

necesarios de socialización asociados a las reuniones anuales. Asimismo, financia y gestiona recursos de YPF para la realización de la Competencia Interuniversitaria Matemática Argentina (CIMA) y para el Concurso Anual de Monografías. Consideramos que los objetivos se cumplen en buena medida.

La AR-SIAM (*The Argentinean Section of Society for Industrial and Applied Mathematics*, EEUU) fue creada por iniciativa de un grupo de profesionales de la matemática aplicada argentina con el objetivo de contribuir al desarrollo de la matemática en relación con sus aplicaciones. Su creación fue aprobada por el *Board of Trustees* de SIAM en julio de 2006, sus estatutos en diciembre de 2006, y comenzó a funcionar en enero de 2007. El 31 de octubre de 2008, durante la segunda asamblea anual de AR-SIAM, se aceptó la constitución de Asociación Argentina de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial (ASAMACI) , y el 19 de mayo de 2009 obtuvo la personería jurídica. Esta asociación tiene por finalidad agrupar a todas aquellas personas interesadas en debatir, profundizar, elaborar y difundir estudios y programas sobre problemáticas e importancia de la Matemática Aplicada. A tal fin fomenta entre sus asociados reuniones científicas, sociales, recreativas, educativas y de divulgación científica. Desde 2011, ASAMACI es considerada *Full Member* en la categoría *Small* por el *International Council for Industrial and Applied Mathematics*.

ASAMACI organiza anualmente el Congreso de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial, con la idea de contribuir al avance de las aplicaciones de la Matemática en la ciencia y la tecnología, la ingeniería, la industria y la sociedad en general. Los destinatarios son investigadores, profesionales, graduados y estudiantes de Matemática, Física, Química, Biología y ciencias afines: Economía, Finanzas e Ingeniería. Interesados en aplicaciones de la matemática en general. Estos eventos no incluyen ninguna sesión sobre álgebra computacional, informática teórica o análisis de algoritmos, por ejemplo, es decir, sobre áreas de la matemática aplicada que utilicen herramientas algebraicas, combinatorias o lógicas, alejadas de las herramientas analíticas históricas en las aplicaciones de la matemática. Además, auspicia los Talleres de Matemática Industrial, realizados desde 2010 cada dos años en la UBA.

La Sociedad Argentina de Estadística (SAE), creada en 1952, es una asociación civil de carácter técnico científico sin fines de lucro, que promueve el desarrollo de la Estadística en el país. La SAE concentra a profesionales que desempeñan actividades en el área de la Estadística en todas sus formas (docencia, producción, servicios, asesoramiento). En los últimos años, su actividad más importante y casi exclusiva ha sido la realización de un Coloquio de Estadística anual, actividad en la que participan investigadores y profesionales del área. Cada dos años esta actividad se realiza en el marco del Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística en conjunto con las Sociedades de Estadística de Chile y Uruguay.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS Y DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

La UMA cuenta con la *Revista de la Unión Matemática Argentina*, de larga tradición, ya que data desde 1936. Más tarde, desde 1945, fue también órgano de difusión de la Asociación Física Argentina (AFA) y desde 1951 fue la revista conjunta de ambas asociaciones. En 1968, en vista del desarrollo que tuvieron la Matemática y la Física en el país, se decidió separarla de la AFA y volvió a ser, como en los primeros tiempos, únicamente revista de la UMA. La revista ha sido notablemente renovada a partir de 2011, con el cambio del Comité Editorial (que incluye destacados matemáticos argentinos en el país y en el exterior, más algunos matemáticos extranjeros), el nombramiento de un nuevo Editor en Jefe y cuatro Subdirectores. Se obtuvo la inclusión de la revista en el índice de Publicaciones de Thomson Reuters (*Science Citation Index-Expanded and Journal Citation Reports-Science Edition*), con un índice de impacto superior a 0,343 en 2012, que es muy bueno, dado que la mediana del índice de impacto de las publicaciones de matemática es inferior a 0.6.

La *Revista de la Unión Matemática Argentina* es una revista de acceso libre disponible gratuitamente en Internet, cualquier usuario puede utilizar sus artículos para cualquier propósito legal, sin barreras financieras, legales o técnicas. Los artículos publicados son comentados tanto en los *Mathematical Reviews* como en el *Zentralblatt für Mathematik*. La revista ha sido incorporada al Latindex y los artículos son también publicados en SciELO Argentina. Desde 2002 se edita un volúmen por año.

La UMA cuenta también con la *Revista de Educación Matemática* (REM), de larga tradición y mantenida con mucho esfuerzo personal, pero que sería bueno reimpulsar. La REM también publica un volúmen por año. El Director y la Vicedirectora, así como la gran parte del Comité Editorial y los colaboradores, se desempeñan en la UNC. La publicación de la REM se inició en el año 1982 con la finalidad de difundir temas de matemática y su enseñanza. Está dirigida a docentes de nivel medio y terciario, como así también a estudiantes de profesorados y licenciaturas.

ASAMACI publica la *Revista Matemática Aplicada, Computacional e Industrial* con los trabajos aceptados para su presentación en los congresos MACI. La publicación tiene por ahora esta periodicidad y este único objetivo.

La SAE cuenta con una revista electrónica, la *Revista de la Sociedad Argentina de Estadística*, en la cual se publican artículos de investigación y de

aplicación de la disciplina. Consideramos que la calidad de los trabajos no alcanza el nivel que sería deseable. En parte debido a que los investigadores prefieren publicar en revistas de circulación internacional. Las principales razones de esta preferencia son: para que sus trabajos sean más conocidos en el ámbito internacional y tengan mayor impacto; dado que esta revista no está indexada y tiene un arbitraje no muy estricto, el peso que se le da a los artículos publicados en esta revista por los organismos de ciencia y universidades, en el momento de evaluar a los investigadores, es muy bajo. Sería importante crear un Comité Editorial en el cual participen conocidos investigadores con prestigio internacional, realizando arbitrajes más estrictos para elevar la calidad de los artículos publicados

No existen publicaciones periódicas de divulgación exclusivamente en el área de la matemática. Los matemáticos no suelen escribir colaboraciones para las revistas generales, como *Ciencia e Investigación* (editada por la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias) o *Ciencia Hoy* (Asociación Civil Ciencia Hoy). Sin embargo, hay muchas actividades periódicas de divulgación de la matemática y en la cual participan muchos investigadores formados, además de jóvenes matemáticos: los Festivales de Matemática organizados por la UMA durante la Reunión Anual; la Semana de la Matemática organizada anualmente en Buenos Aires en la FCEyN-UBA; el Festival Animate organizado por la UNL, Santa Fe; los Festivales de Matemática organizados por el Ciclo Básico Común de la UBA y por la UNC. Además, hay múltiples actividades individuales a cargo de distintos investigadores como charlas de divulgación o talleres en escuelas primarias y secundarias. Un ejemplo de estas actividades es el proyecto *Moebius* del departamento de Matemática de la FCEyN-UBA, financiado por un subsidio UBA-TIC, mediante el cual se han visitado en 2012 y 2013 distintas escuelas medias públicas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires con una actvidad matemática mediada por computadoras en la que se conjuga la matemática con el arte. Estimamos que las actividades de divulgación y de desarrollo del pensamiento matemático son de gran importancia e incluimos una recomendación sobre este aspecto en las conclusiones del documento.

LA MATEMÁTICA Y SU VINCULACIÓN CON EL PLAN ARGENTINA INNOVADORA 2020

La matemática ha adquirido un nivel de penetración en la ciencia y la tecnología en que es preciso, más que nunca, detectar los parámetros y cualidades que la definen y permitan distinguir entre el uso de la matemática hecha y la matemática como objeto de investigación. Es decir, distinguir la herramienta del objeto. Por cierto que toda herramienta es un objeto y que la ciencia está acostumbrada a que muchos objetos de estudio devengan en herramientas. Y quienes la financian esperan esta mutación como una etapa necesaria del proceso científico. Es entonces importante no perder de vista esta expectativa que la sociedad a través de las instituciones pone en los desarrollos científicos y en particular en los correspondientes a la matemática. Pero este aspecto por sí solo, es insuficiente para que la actividad pueda ser considerada investigación en matemática. Es imperioso que el resultado de la investigación mueva las fronteras del conocimiento básico. La ciencia, y en particular, la matemática, puede verse como un ecosistema, no sólo porque la supresión de cualquiera de sus partes comprometería la existencia de la totalidad, sino porque la coexistencia sólo puede darse en proporciones bien determinadas de cada una de las especies que lo conforman. Por un lado, es por lo tanto crucial incentivar las aplicaciones de la matemática y el trabajo interdisciplinario, desde las ciencias sociales a las ingenierías y la computación, pasando por las ciencias biológicas, en las que la matemática aporte tanto herramientas como desarrollos teóricos, especialmente en las áreas contempladas en el Plan Argentina Innovadora 2020 del MINCyT. La ubicuidad de la matemática hace previsible una inserción amplia en muchos de los 34 Núcleos Socio Productivos Estratégicos (NSPE) del Plan. En particular en los Núcleos 9, 15, 20, 23, 33. Por otro lado, nos permitimos citar un párrafo extraído del documento *The Mathematical Sciences in 2025, National Reseach Council, USA, 2013*:

Support for basic science is always fragile, and this may be especially true of the core mathematical sciences. In order for the whole mathematical sciences enterprise to flourish long term, the core must flourish. This requires investment by universities and by the government in the core of the subject. These investments are repaid not immediately and directly in applications but rather over the long term as the subject grows and retains its vitality. From this ever-increasing store of fundamental theoretical knowledge many innovative future applications will be drawn.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los datos precisos aportados a lo largo del documento han permitido corroborar que la comunidad matemática argentina es pequeña en valores absolutos, pero que sin embargo cuenta con visibilidad y presencia internacional.

La mayor inversión en ciencia en el país en los últimos años y la creación del MINCyT, se manifestaron en matemática esencialmente en el crecimiento del número de becas doctorales y posdoctorales, en el mayor número de ingresos a la CIC del CONICET y en la oferta de una Biblioteca Digital básica a nivel nacional.

Fortalezas

Un avance fundamental en el desarrollo de la matemática en la Argentina se debió al establecimiento progresivo de programas de doctorado de sólido nivel, con tesis publicadas en revistas internacionales y con candidatos becados por instituciones estatales, por lo general el CONICET.

Creemos que el crecimiento experimentado es consecuencia del trabajo regular y sostenido puesto en la formación sistemática de matemáticos con grado de doctor que actualmente en su gran mayoría trabajan en el país y continúan siendo investigadores activos. Un buen número de estos ha hecho estudios posdoctorales en el exterior, lo que les permitió acceder a nuevos temas de trabajo y actualizar sus investigaciones.

Se ha producido una ampliación de los centros del país donde hay matemáticos, una diversificación de las áreas que se investigan y hay una afluencia de estudiantes de otros países de Latinoamérica (Colombia, Brasil) para realizar estudios de doctorado en Argentina.

En este proceso de crecimiento, la Argentina ha producido varios matemáticos destacados a nivel mundial, referentes en sus áreas, que son regularmente invitados a dictar conferencias en congresos internacionales.

En la consecución de los logros antes mencionados debe destacarse el rol fundamental de la Unión Matemática Argentina que, desde 1936 lidera el desarrollo matemático en el país. La UMA genera iniciativas innovadoras, organiza las Reuniones Anuales alternadas geográficamente, publica una revista de investigación, otra dedicada a la educación de profesores y un Noticiero Matemático. Debe destacarse como una práctica saludable que la presidencia de la UMA rote cada dos años entre distintos centros del país. Por ejemplo, actualmente reside en Santa Fe (2011-2015) y en los períodos

anteriores estuvo en Bahía Blanca (2009-2011), Buenos Aires (2005-2009), La Plata (2001-2005), San Luis (1997-2001) y Córdoba (1993-1997).

Otro aporte de valor ha sido el accionar de la Asociación Argentina de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial fundada el 31 de octubre de 2008, que desde el 23 de julio de 2011 es *Full Member* en la categoría *Small* del *International Council for Industrial and Applied Mathematics*. Asimismo la Sociedad Argentina de Estadística promueve el desarrollo de la estadística y desde 1991 organiza los Congresos Latinoamericanos de Sociedades de Estadística.

Debilidades

El encuentro con otros investigadores es la principal fuente de ideas para el desarrollo de la matemática, que se logran con la interacción personal. Esto es especialmente importante para entender el proceso de generación de algunos descubrimientos matemáticos, ya que frecuentemente esto no se encuentra explicitado en las publicaciones donde esos descubrimientos son expuestos por el método tradicional axiomático-deductivo. Por lo tanto, en la labor matemática es fundamental concurrir a reuniones científicas, por la posibilidad de discutir los propios resultados y por las interacciones que se generan. Creemos que la importancia de estas reuniones para los matemáticos no es debidamente comprendida en el ámbito de las otras ciencias. Nuestra participación está dificultada por la insuficiencia de fondos destinados a este fin en los subsidios del CONICET o de la ANPCyT.

Paralelamente al problema anterior, a los matemáticos argentinos nos resulta difícil organizar reuniones científicas debido a la escasez de los subsidios que se otorgan y a la dificultad para disponer de los fondos hasta la semana misma de la reunión, lo que suma muchas dudas e incertidumbres.

En la mayoría de los centros matemáticos del país hay serios problemas de infraestructura edilicia, en lo que hace a oficinas, aulas, salas, bibliotecas, medios audiovisuales. Debemos destacar que los matemáticos necesitamos elementos que nos diferencian de otras disciplinas, por ejemplo, hemerotecas actualizadas con retroceso en el tiempo (no solamente acceso a las publicaciones de los últimos cinco años) y un caudal de libros especializados que aún falta en la mayoría de los centros del país.

Se percibe que en los años más recientes hubo un decrecimiento de las estadas posdoctorales prolongadas en el exterior, causado en parte por el cambio en la modalidad de las becas externas del CONICET. Como consecuencia hay un número significativo de miembros de carrera (CIC) que continúan trabajando en temas muy cercanos a los de sus tesis doctorales y en los mismos ámbitos donde se formaron, lo cual no los ayuda a enriquecer sus líneas de trabajo.

Otro problema relacionado es la dificultad para contratar investigadores extranjeros, tanto por períodos cortos como de modo permanente. En Argentina muy pocos matemáticos provienen del hemisferio norte, en comparación con países como Chile, Brasil o Colombia, por ejemplo. Los programas de cooperación existentes funcionan, pero son insuficientes y no de rápida implementación. Esta situación contribuye al aislamiento y genera una tendencia a la endogamia en las investigaciones. Si bien han prosperado los programas de doctorado de buen nivel, falta legislación nacional o ministerial para poder insertar a los doctores que concluyen sus estudios en la docencia universitaria, dado que su título doctoral no es debidamente valorado.

Pese al crecimiento logrado, la comunidad matemática es aún muy pequeña y la situación de muchos grupos es inestable al depender principalmente de un solo investigador. Asimismo, aunque hay grupos de investigación que trabajan en temas actuales, hay muchos temas de gran interés que aún no se cultivan en el país.

Recomendaciones

Habría que mejorar sensiblemente el financiamiento para visitas a centros del exterior y para la organización de reuniones científicas. En este sentido sería fundamental que en las solicitudes de subsidios no se impusieran topes de porcentajes entre gastos de viáticos y equipamiento e insumos, sino que el equilibrio entre los distintos tipos de gastos se base en la racionalidad de la solicitud.

Creemos que antes de ingresar a la CIC los candidatos deberían hacer un posdoctorado genuino, con cambio de director y de lugar de trabajo, por un período prolongado. Para asegurar los objetivos de esta propuesta, se debe complementar este esfuerzo con algún mecanismo para la reinserción a su regreso de los jóvenes investigadores que realicen su posdoctorado en el exterior.

Habría que atender efectivamente los graves problemas de infraestructura, dotando de espacio físico adecuado a los departamentos e institutos de matemática.

Sería fundamental facilitar la incorporación de los jóvenes doctores en la docencia universitaria. Poseer grado de doctor en el área específica del concurso debería ser un antecedente de mayor peso que el actual en los concursos docentes a lo largo del país.

Sería muy importante facilitar y simplificar los trámites para las visitas de investigadores del exterior al país por períodos limitados o incluso de modo permanente si se trata de un especialista que interesa contratar.

Debería profundizarse el programa nacional de mejoramiento de

bibliotecas y hemerotecas digitales y no digitales y simplificarse la compra de los libros en el exterior.

Dado que ya se ha establecido una base mínima de investigadores, para lograr un mejoramiento a partir del estado presente, creemos conveniente poner énfasis en los temas de máxima actualidad. En particular, en los temas vacantes de mucho interés, deberían otorgarse becas para realizar doctorados en el exterior, previéndose al mismo tiempo un mecanismo confiable para la reinserción de estos jóvenes en el país.

Sería muy útil para mejorar los conocimientos básicos y el interés de los estudiantes la organización sistemática de actividades de promoción de la matemática apuntando tanto a estudiantes de varios niveles como a los profesores de enseñanza secundaria. La utilización de medios audiovisuales y las videoconferencias, si bien no sustituye el contacto personal, puede ser de gran ayuda y permitir ahorros considerables. Como posibles propuestas concretas, mencionamos la organización de un Seminario Nacional Integrado de Matemática (con actividades presenciales en distintos lugares del país, complementadas por conexiones audiovisuales) y reuniones intensivas a lo largo de un fin de semana de profesores de enseñanza media con investigadores (mayormente presenciales, pero con actividades que se graben y permanezcan disponibles).

Sería importante para la consolidación de todas las ciencias exactas, físicas y naturales en el país contar con un instituto dedicado a la organización de talleres científicos en las distintas disciplinas a nivel internacional para cuyo programa se realicen llamados internacionales a presentación de propuestas. Este instituto debería ser financiado por distintas organizaciones, lo que permita prever actividades con dos años de anticipación, aproximadamente. Nuestra propuesta se basa en modelos como el Instituto de Matemática de Oberwolfach, Alemania y el *Banff International Research Station for Mathematical Innovation and Discovery*, Canadá, que tendrá desde mediados de 2015 un sitio adicional en Oaxaca, México.

Consideramos que tanto los temas de matemática aplicada, que están focalizados en resolver problemas prácticos de otras ciencias o de la tecnología, como los temas de matemática pura son igualmente importantes y están estrechamente vinculados. Así como en un sistema ecológico la desaparición de una especie puede afectar de una manera no previsible la supervivencia de las otras, la desaparición de áreas de investigación de la matemática pura puede tener consecuencias por demás negativas sobre ramas aplicadas.

CAPÍTULO 8

OCEANOGRAFÍA

Coordinador
Gerardo Perillo
UNS, IADO (CONICET-UNS), Bahía Blanca)

Colaboradores
José Esteves, CENPAT (CONICET), Puerto Madryn
Federico Isla, UNMdP, IIMyC (CONICET), Mar del Plata
Gustavo Lovrich, CADIC (CONICET), Ushuaia
M. Cintia Piccolo, UNS, IADO (CONICET-UNS), Bahía Blanca
Martín Saraceno, UBA, CIMA (CONICET-UBA),
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Paula Costilla, Proyecto UNS, IAI-SAFER, IADO (CONICET-UNS), Bahía Blanca

Agradecimientos

Se agradecen las informaciones y aportes brindados por los organismos e individuos que contribuyeron en forma desinteresada al presente informe, tanto en forma personal como a través de las encuestas. En particular, el coordinador desea expresar su agradecimiento a la empresa Investigación Aplicada Sociedad del Estado, Provincia del Río Negro (INVAP) y al Dr Mario Mariscotti por permitir emplear información contenida en un informe interno de la institución.

Por último, se desea agradecer a los evaluadores por sus importantes aportes que permitieron mejorar sensiblemente el presente informe.

METODOLOGÍA

El informe se basa en el aporte individual de los colaboradores como así también en los resultados de las encuestas realizadas durante el período de trabajo. Se empleó también información aportada por los organismos nacionales mencionados en el Capítulo 1 y provinciales (por ejemplo, Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires - CIC).

DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

Los océanos son la última frontera de nuestro planeta. A pesar de cubrir la mayor parte de su superficie, existen amplias regiones que permanecen inexploradas o cuyo conocimiento sólo alcanza niveles muy preliminares. Lo que es verdad para la totalidad de los océanos, lo es aún mucho más para el Mar Argentino, sus costas y estuarios. La carencia de profesionales adecuadamente formados para su estudio ha sido la causa principal de esta escasez de conocimiento que pone en peligro la propia soberanía argentina sobre su mar epicontinental. Por otro lado, existe la tendencia a homologar, en un carácter genérico, Ciencias del Océano con Ciencias del Mar. En algunos casos pueden suponerse como sinónimos, pero en realidad no lo son en sentido estricto. Se debería hacer una discriminación basada en la formación de los investigadores, entre aquellos que tienen un entrenamiento en alguna de las ciencias exactas y naturales clásicas (por ejemplo, Biología, Física, Geología o Química) y los oceanógrafos. Especialmente en Argentina, excepto por el caso de un número significativo de carreras en Biología que tiene materias relacionadas con el ámbito marino, las otras no forman a sus egresados adecuadamente para el trabajo en el mar y sus costas e, incluso, están más dirigidas a un esquema profesional diferente del necesario para trabajar en el mar.

Oceanografía es el conjunto de ciencias que estudian los procesos naturales que se verifican en el océano y sus límites, así como la influencia que esos procesos ejercen sobre los medios que le son adyacentes; y procura comprender esos fenómenos, describirlos y establecer las causas que los originan, los alteran o les ponen fin. Sin embargo, en la actualidad, la Oceanografía puede entenderse como una ciencia mucho más integrada donde el trabajo inter y transdiciplinario es una necesidad para estudiar los procesos que ocurren en los océanos y sus costas. Concretamente, la Oceanografía estudia un ambiente: el marino, donde todos los procesos están fuertemente interrelacionados; a tal punto que el investigador no puede especializarse en una sola de las ramas de esta ciencia, sino que debe conocerlas en su conjunto y tenerlas presentes continuamente[1]. Existen numerosas disciplinas que se pueden involucrar en el estudio de los océanos, desde las más teóricas como Física y Matemática, pasando por aquellas que tratan de resolver problemas prácticos como las ingenierías, hasta aquellas que tienen un carácter eminentemente socioeconómico y/o legal como Geografía, Economía y Derecho de Mar.

1 Perillo, G.M.E., 1982. Oceanografía: un desafío para la juventud y una herramienta para la soberanía y el desarrollo. Quid 1(7):523-528.

Disciplinas

Una forma de describir esta ciencia es emplear la clásica división de la Oceanografía en sus cuatro orientaciones: física, geológica, biológica y química lo que nos lleva a considerar las siguientes disciplinas:

Oceanografía Física o Física Marina

Se dedica principalmente al estudio de la distribución de las propiedades físicas del mar y su dinámica. Entre los temas más significativos se encuentran: propagación de la luz y el sonido, origen, distribución y circulación de masas de agua, generación y propagación de ondas, efectos de olas y mareas sobre costas y estuarios, corrientes litorales y oceánicas y la interacción entre el mar, el continente y la atmósfera. Esta orientación estudia también los procesos físicos que inciden en la distribución de la vida y los elementos químicos.

Oceanografía Geológica o Geología Marina

Analiza los procesos dinámicos y cómo estos afectan a las formas del fondo marino y a los márgenes de los océanos. Incluye la descripción morfológica del material superficial y subsuperficial que los compone, la interacción entre los sedimentos y rocas con el agua de mar, y la acción que sobre ellos ejercen las olas y corrientes, el origen de las cuencas oceánicas, las formaciones geomorfológicas como montañas y colinas submarinas, dorsales, cañones, conos abisales. La Geología Marina ha logrado comprobar las teorías sobre la tectónica de placas y su comparación con otros planetas.

Oceanografía Química o Química Marina

Se concentra en el estudio de las propiedades del agua de mar y de los procesos químicos que ocurren en ella. Busca entender el funcionamiento del océano como un sistema químico y cómo los procesos físicos, biológicos y geológicos interactúan para controlar las propiedades químicas del agua y sedimentos. Dentro de la amplia gama de temas que interesan a esta orientación se incluyen el origen y distribución de nutrientes (C, N, P, Si, O, etc.), el carácter químico de las productividades primarias y secundarias, los materiales radioactivos en agua y sedimentos, tiempos de residencia de elementos químicos y masas de agua, lo que conlleva al problema crucial del control de la contaminación, especialmente en ambientes costeros.

Oceanografía Biológica o Biología Marina

Se interesa en el desarrollo de un mejor conocimiento de cómo los seres vivos influyen y son condicionados por la estructura y funcionamiento de los

sistemas marinos. En particular, es clave conocer los cambios que se producen sobre la biota por alteraciones en los parámetros físicos y químicos o en los propios organismos. La pesca ha condicionado las economías de algunos países y, por lo tanto, son vulnerables a la sobre explotación de algunas especies o a cambios significativos en la trama trófica.

Ingeniería Costera y Oceánica

Se especializan en el desarrollo e implementación de estructuras portuarias, boyas, plataformas y sistemas de protección costera (por ejemplo, espigones, rompeolas, etc.) y cómo estas afectan las condiciones del ambiente. Existen países que han priorizado generar energía del océano a partir de olas o mareas. Asimismo, se pueden considerar otras ramas que se dedican al desarrollo de instrumental para el sensoramiento de ambientes marinos.

Consecuentemente es necesario, para la comprensión adecuada del presente informe, considerar que la Oceanografía en general y para Argentina en particular, presenta una fuerte superposición de disciplinas con diferentes criterios de base. Ello puede constatarse en las respuestas a la encuesta realizada como parte del presente estudio.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

EI comienzo de la Oceanografía como ciencia quedó marcado definitivamente por el viaje del buque británico *Challenger* alrededor del mundo. Los resultados del periplo de algo más de tres años (1872-1876) están reunidos en 50 volúmenes con abundante información biológica, geológica, química y física del mar[2]. No obstante, con anterioridad existían trabajos significativos como los de Darwin que establecían teorías sobre el origen de los atolones submarinos, y los de Benjamín Franklin y Louis Antoine de Bougainville, que habían prestado atención a las corrientes marinas en el Atlántico Norte y Sur, respectivamente. A partir de entonces las expediciones oceanográficas se fueron sucediendo con frecuencia cada vez mayor. Sin embargo, las dos guerras mundiales, sobre todo la segunda, promovieron una toma de conciencia, por parte de los gobiernos beligerantes, sobre el conocimiento adecuado del mar como clave para las acciones de defensa y ataque. De ello surgió la importancia táctica de estudiar las olas, la propagación del sonido en el mar, la morfología y dinámica de las playas, entre otros aspectos. Por ejemplo, los pronósticos de olas de Svedrup y Munk (los padres de la Oceanografía Física) fueron claves para los desembarcos aliados en Sicilia y Normandía. Por lo tanto, el flujo de financiación para investigaciones marinas creció sustancialmente, en especial en los países más desarrollados de Europa (Alemania, Inglaterra), Norteamérica (EEUU y Canadá) y Oceanía (Australia y Nueva Zelanda), aunque más tarde se incorporaron países asiáticos como Japón, Corea del Sur e India.

A partir de 1945 y, en especial, luego del Año Geofísico Internacional (AGI) de 1957, los avances teóricos y aplicados de la Oceanografía, al igual que la mayor parte de las demás ciencias, fueron significativos. El AGI estableció claramente la idea de que la investigación del océano no podía ser obra individual de un país, sino que debía existir una fuerte cooperación entre las naciones. La organización de expediciones internacionales es hoy una práctica común, como así también el intercambio libre y amplio de información. Evidentemente, se ha llegado a la comprensión de que el océano es uno solo y que los continentes son solo barreras a la libre circulación de sus aguas.

El grado de conocimiento de los océanos ha avanzado significativamente en los últimos 50 años, producto del continuo aumento de investigadores e instituciones dedicadas a su estudio. Esto se evidencia en dos áreas dispares. Previo a la segunda guerra mundial, el conocimiento sobre las playas y estuarios era muy escaso. A partir de la explosión turística que significó el cambio de las

2 Perillo, G.M.E., 1982. Oceanografía: un desafío para la juventud y una herramienta para la soberanía y el desarrollo. Quid 1(7):523-528.

condiciones de trabajo (por ejemplo, reducción de los días laborables, vacaciones anuales, mejores salarios) se produjo un acercamiento masivo hacia las playas, incluyendo una fuerte migración de las poblaciones hacia las regiones costeras. Los efectos de grandes tormentas e inundaciones provocaron la destrucción de casas de alto valor económico como pérdidas significativas en las zonas urbanas y obligaron a una fuerte financiación de los gobiernos para entender y mitigar estos eventos. En la actualidad, un porcentaje significativo de la investigación oceanográfica mundial se desarrolla en las costas y plataforma interior.

A ello debe sumarse el incremento del comercio marítimo que implicó el empleo de buques cada vez de mayor porte y calado. El resultado fue que los puertos, la mayoría de los cuales se encuentran en estuarios, debieron adecuarse a esta situación implicando el extensivo dragado de rutas de navegación y sitios portuarios para acomodar las nuevas embarcaciones. Los canales de Suez y de Panamá son resultado de esta necesidad de mejorar el comercio internacional. Más allá del desarrollo de nuevas ramas de la ingeniería costera y portuaria, los dragados significaron cambios importantes en la dinámica de los estuarios que, en muchos casos, eran contrarios a los deseados por las autoridades portuarias[3]. A partir de las investigaciones pioneras de Pritchard en los años 50, los estuarios y humedales costeros comenzaron a estar en la mira de la investigación oceanográfica mundial, y actualmente constituye una de las áreas que mayor número de publicaciones aporta en el contexto mundial. Si bien esto afecta a todas las costas en general, los humedales costeros resultan muy sensibles a los cambios del nivel medio del mar. El aporte de sedimentos por parte de los ríos ha disminuido sustancialmente a partir de la construcción de más de 2 millones de represas desde mitad del siglo XIX[4]. Los ambientes costeros, que son sistemas buffer entre el mar y el continente, dependen para su supervivencia justamente de los materiales aportados por el continente[5].

La oceanografía de aguas azules (como se la denomina en contraposición de la oceanografía de aguas marrones o costera), fue considerada por muchos años como la clásica investigación de las plataformas continentales y, principalmente, del océano profundo. La financiación tanto de organismos de promoción de las ciencias como militares, permitió el desarrollo de flotas de buques oceanográficos cada vez más avanzados por su equipamiento y facilidades a bordo para campañas

3 Perillo, G.M.E., 1995. Definition and geomorphologic classifications of estuaries. En: Perillo, G.M.E. (ed.): Geomorphology and Sedimentology of Estuaries, Development in Sedimentology Vol. 53, Elsevier Science BV, Amsterdam, 17-47.

4 Syvistki, J.M.P., et al., 2005. Dynamics of the coastal zone. En:Crossland, C. J., Kremer, H.H., Lindeboom, H.J., Crossland, J. I. M. y Le Tissier, M.D.A. (eds.) Coastal Fluxes in the Anthropocene. Springer-Verlag, Berlín 39-94.

5 Wolanski, E. et al., 2009. Coastal wetlands: A synthesis. En: Perillo, G.M.E., Wolanski, E., Cahoon, D.R. y Brinson, M.M., (eds.). Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach. Elsevier, Amsterdam. 1-61.

prolongadas. Estos buques permiten en la actualidad operar indistintamente en el océano como en áreas con predominancia de hielo, tales como las aguas antárticas y árticas. Las investigaciones sobre la circulación oceánica global, las corrientes oceánicas incluyendo las áreas de convergencia, y los procesos de interacción mar-atmósfera han probado ser esenciales para conocer los efectos del cambio climático y su influencia en los modelos globales de predicción de la evolución de esos cambios. La interacción entre las corrientes oceánicas y el talud continental o los procesos de surgencia, significan una importante fuente de nutrientes que origina las principales zonas de producción primaria y secundaria resultando en las pesquerías más importantes del planeta. Los trabajos realizados con el buque *Glomar Challenger* muestran que, a través de la perforación de los océanos (*Deep Sea Drilling Project*), se podrían probar las teorías sobre la evolución del planeta. Los estudios sobre los fondos oceánicos avanzan hacia la predicción de terremotos y los devastadores tsunami como así también en la exploración de yacimientos minerales y el descubrimiento de nuevas formas de vida, tanto a partir de observaciones indirectas como por el empleo de submarinos especialmente adaptados para grandes profundidades. Si bien los satélites permiten monitorear el comportamiento del planeta y sus cambios, la oceanografía profunda todavía guarda secretos.

La pesca, como una de las principales actividades económicas desarrolladas en el mar, fue también responsable del avance en la investigación marina. La distribución de las principales especies y los patrones y procesos que las condicionan han sido objeto de estudio en el último medio siglo. A partir de las campañas internacionales que se realizaron entre 1960 y 1980, las investigaciones pesqueras fueron impulsadas hasta la actualidad. La biología pesquera no solo tiene como objetivo el estudio de las especies comerciales, sino que también pretende conocer los patrones oceanográficos y procesos biológicos que determinan su abundancia. Los stocks pesqueros han sido históricamente variables, ya sea por causas naturales o por explotación comercial, y esto ha impulsado una continua investigación en esta temática. No obstante, las pesquerías a gran escala se encuentran en una situación compleja que requiere de acciones significativas para poder superar problemas tales como la sobreexplotación y, su principal consecuencia, la desaparición de especies tanto comerciales como las que se recolectan de ocasión.

Resumiendo, en la actualidad, la Oceanografía en todas sus especialidades cumple un rol clave en la mitigación de los cambios que se prevén en un futuro cercano, pero también es esencial para la búsqueda de nuevas fuentes de energía renovable y alimentos. Todos los países con fronteras marinas, y aun muchos mediterráneos, han entendido que la investigación del océano es esencial para sus economías, pero más importante para la supervivencia de la humanidad y la dinámica planetaria.

ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

La Argentina posee un amplio litoral marítimo de más de 4.000 km y espacios sumergidos que superan largamente el área emergida (Figura 8.1.).

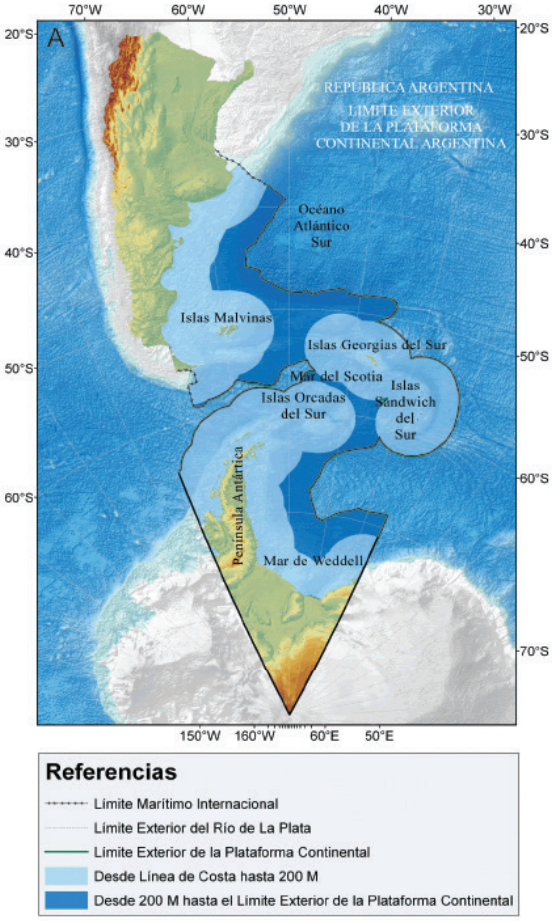


Figura 8.1. Mapa del mar territorial argentino y las zonas limitadas por las leyes internacionales. *Fuente*: COPLA.

A partir de las últimas estimaciones realizadas por la Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental Argentina (COPLA), ese margen se ha ampliado aún más. El adecuado conocimiento de todos esos ambientes requiere de un plan estratégico, y de significativa y constante formación de recursos humanos.

Históricamente, la investigación oceanográfica en Argentina estuvo dividida en dos grupos. Por un lado, la oceanografía de aguas abiertas -plataforma continental y océano profundo- y, por otro lado, la oceanografía costera -plataforma interior, costas y estuarios. La primera institución que encaró esas investigaciones fue el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), seguido por organismos civiles como el Instituto Biología Marina (IBM) de Mar del Plata, antecedente del Instituto Nacional de Investigaciones y Desarrollo Pesquero (INIDEP) y el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) que se iniciaron hacia finales de la década de 1950. La mayor parte de la investigación en aguas profundas se realizó en buques de la Armada y buques extranjeros. En 1979 se incorporó el buque oceanográfico Puerto Deseado, que realizó su primera campaña oceanográfica multidisciplinaria en 1984. Diversos problemas de motorización hicieron difícil mantener un programa activo de mediciones. La incorporación por parte del INIDEP de buques pesqueros como el Oca Balda, el Holmberg y el Capitán Cánepa permitió realizar numerosas campañas de muestreos, focalizadas a la determinación del stock pesquero. Las últimas modificaciones que se realizaron en el Puerto Deseado han permitido realizar un número significativo de campañas en la plataforma continental y talud a partir de 2010.

Por otro lado, en 1966 el CONICET, a través del IADO, recibió en donación (por un valor simbólico) por parte de *Woods Hole Oceanographic Institution* de EEUU el motovelero Atlantis (el primer buque diseñado para trabajos oceanográficos), que fuera rebautizado El Austral. Este buque operó en el IADO hasta 1982 realizando campañas en plataforma interior. El buque fue luego operado indistintamente por la provincia de Río Negro y el Centro Nacional Patagónico (CENPAT) hasta que fue raleado en 1995. En 1999, por un convenio con la Prefectura Naval Argentina (PNA), el buque fue reacondicionado y puesto nuevamente en operación por la PNA bajo el nombre de Dr. Bernardo Houssay, con el compromiso de permitir campañas oceanográficas por un total de 210 días al año. Hasta el momento de este informe, se han realizado dos campañas oceanográficas preliminares con participación del IADO y del CENPAT, respectivamente, así como una navegación a la Antártida y al Atlántico Sudoccidental.

Si bien el estudio de costas y estuarios siempre fue muy activo, la falta de buques que operaran eficientemente volcó a muchos de los investigadores a trabajar en ambientes costeros. De hecho, la mayor producción científica que se realiza en el país se basa en trabajos relacionados con esos ámbitos. A partir de la implementación por parte del CONICET y, más tarde, las universidades, de un sistema de subsidios dirigidos a financiar proyectos a cargo de los investigadores, el desarrollo de las investigaciones en el ámbito marino creció exponencialmente. El programa BID-CONICET a fines de los años 70 y principios

de los 80 fue un importante punto de partida porque permitió además la formación de investigadores en el exterior, como así también un número importante de becarios y doctorandos que hoy son los líderes de grupos en el país. En la actualidad, muchos de los proyectos marinos están subsidiados por el FONCyT a través de los PICTs en las convocatorias regulares anuales o por PIPs del CONICET.

Actualmente, existe una intensa actividad en el ámbito oceanográfico tanto en las zonas costeras como en el mar abierto. Un aspecto importante fue el lanzamiento por parte del MINCyT del Sistema Nacional de Bases de Datos del Mar (SNBDM) que, a partir de la incorporación de las diferentes instituciones al programa, les permite ir ampliando su potencial en equipamiento para adquisición de datos, así como contribuir a la racionalización y análisis de sus bases de datos. Sin embargo, una deficiencia constante en Oceanografía en el país, es la falta de un plan integrado de investigación de nuestros mares y costas. A lo largo de los años se han intentando numerosas propuestas que fueron fracasando una tras otra por diferentes motivos. Dado que la investigación en este ámbito es un aspecto esencial para la soberanía del país, resulta imperativo un plan integral que implique no solo definir y priorizar zonas de vacancia sino programas de monitoreo a lo largo de toda la región marítima. Una reciente iniciativa por parte del MINCyT es el Programa *Pampa Azul*.

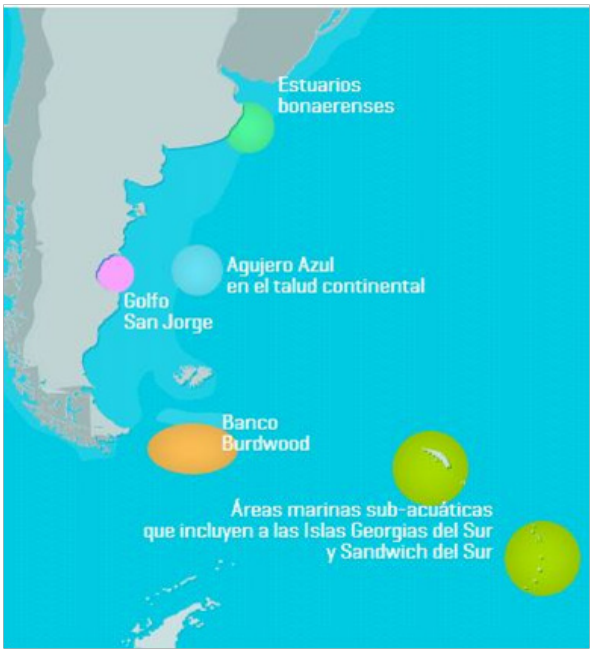


Figura 8.2. Áreas prioritarias del Programa *Pampa Azul*. *Fuente*: MINCyT .

Este programa tiene definidas cinco áreas de investigación (Figura 8.2): estuarios bonaerenses; Golfo San Jorge; Agujero Azul en el talud continental; Banco Burdwood; áreas marinas subantárticas que incluyen a las islas Georgias del Sur y Sandwich del Sur.

Los objetivos de *Pampa Azul* son: contribuir a profundizar el conocimiento científico como fundamento de las políticas de conservación y manejo de los recursos naturales; promover innovaciones tecnológicas aplicables a la explotación sustentable de los recursos naturales y al desarrollo de las industrias vinculadas al mar; fortalecer la conciencia marítima de la sociedad argentina; y respaldar con información y presencia científica la soberanía de nuestro país en el área

Grupos de Trabajo

Los principales grupos de investigación en la Argentina se concentran en las zonas costeras (Gráfico 8.1) con la mayor densidad en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), incluyendo el Gran Buenos Aires, y la provincia de Buenos Aires.

En cada una de las provincias patagónicas existe al menos un centro de investigación y/o universidad que alberga grupos de trabajo que realizan estudios relacionados con el ámbito marino. La distribución mostrada es independiente de la información recibida de la encuesta y se basa, fundamentalmente, en el conocimiento personal de los autores del informe.

Debido al número relativamente reducido de instituciones y grupos de trabajo, se consideró que este tipo de descripción es más completa, aunque menos cuantitativa, que la aportada por la encuesta. Donde existía, fue recabada información adicional de las páginas web de las instituciones.

A partir de los datos de la encuesta se pudo establecer que, en los últimos 5 años, el 28% de los grupos de trabajo tienen una activa cooperación internacional y además, el 48% han recibido subsidios importantes desde el exterior.

Grupos de Trabajo en CABA y Gran Buenos Aires

En la CABA las principales actividades se concentran en el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA-CONICET/UBA), adyacente al Departamento de Ciencias de la Atmósfera y del Océano (DCAO-UBA), y el Servicio de Hidrografía Naval (SHN). La mayoría de los investigadores que trabajan en el área de Oceanografía Física del SHN son docentes del DCAO y sus investigaciones se concentran en el CIMA. El CIMA concentra sus investigaciones principalmente en la plataforma continental, Atlántico Sudoccidental y en el

estuario del Río de la Plata. Si bien su trabajo está dirigido en su mayoría a las observaciones en buques y modelado numérico, existen líneas de trabajo en donde interacciona la Oceanografía Física con la Oceanografía Biológica, especialmente en el Río de la Plata y en el borde de plataforma, y con procesos de interacción mar-atmósfera, en particular a través del modelado. En menor medida existe un grupo que trabaja en ondas y corrientes en zonas costeras.

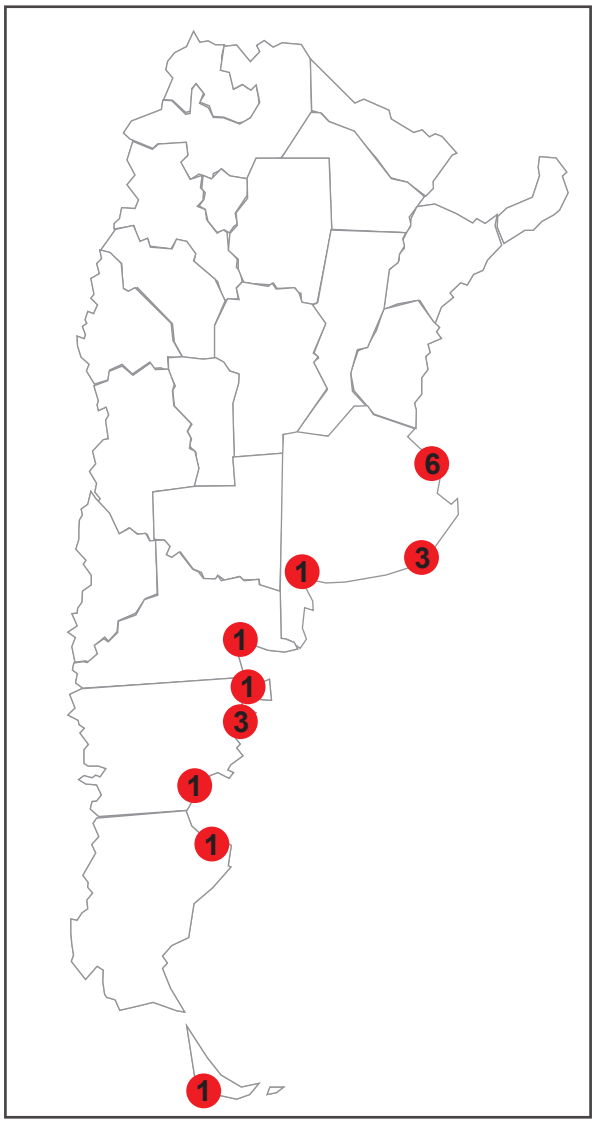


Gráfico 8.1. Distribución y número de instituciones a lo largo del país.

En el siguente gráfico se da la composición de las instituciones donde se realizan estudios oceanográficos.

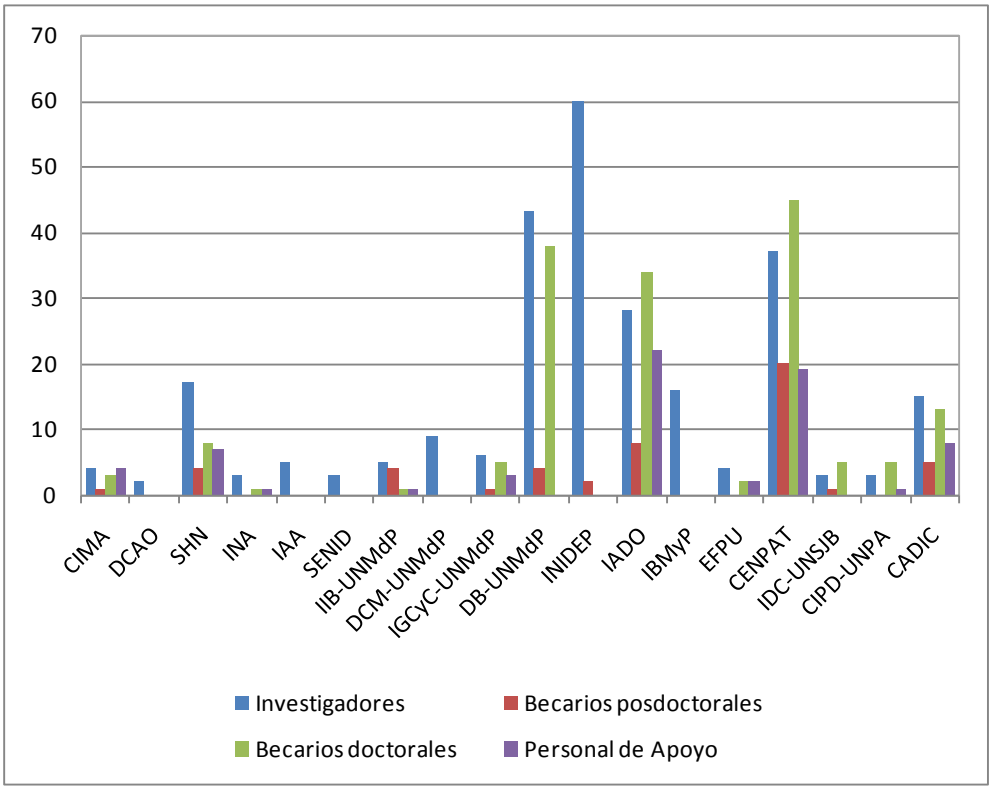


Gráfico 8.2. Instituciones donde se realizan estudios oceanográficos. La ausencia de barra indica en general sin datos o cero. *Fuentes*: encuesta o estimaciones propias.

Otra área significativa del SHN está basada en la Oceanografía Geológica. Si bien en sus comienzos, en los años 60-70, la investigación se centró principalmente en el Río de la Plata y la plataforma interior frente a la provincia de Buenos Aires, en los últimos quince o veinte años se ha enfocado en la Geología y Geofísica del borde de plataforma y talud continental. Este grupo de trabajo ha sido clave en la interpretación del límite inferior del talud continental con el objetivo de marcar la Zona Económica Exclusiva del país establecida a través de la COPLA. Por otro lado, el SHN coordina la red de estaciones mareográficas del país, lo que significa un servicio significativo para todas las investigaciones costeras que requieren esa información esencial. A partir de los datos de mareas se han realizado estudios sobre ondas largas, variaciones y tendencias del nivel medio del mar y ondas de tormenta a lo largo de toda la costa.

Tanto el CIMA-DCAO como el SHN tienen fuertes lazos con investigadores e instituciones del exterior, en particular con Estados Unidos, Brasil, Uruguay, Chile y varios países de Europa. En la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA existen grupos relativamente aislados que realizan trabajos en Geología Marina de playas y diversas investigaciones en Biología Marina. Similarmente hay grupos de investigación en el Museo Argentino de Ciencias Naturales, mayoritariamente estudiando taxonomía de animales.

Por otro lado, los grupos de investigación del Instituto Antártico Argentino (IAA) se concentran principalmente en temas biológicos (por ejemplo, mamíferos, aves, plancton) y químicos (por ejemplo, contaminación). El IAA posee una particularidad y es que la investigación antártica, en general, y la marina, en particular, se realizan en colaboración con investigadores y estudiantes de otras instituciones del país y del exterior. La actividad científica antártica debe estar aprobada por la Dirección Nacional del Antártico (dependiente del Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto) e incluida en el Plan Anual Antártico.

Mientras tanto, en Vicente López se ubica uno de los centros del Servicio Naval de Investigaciones y Desarrollo (SENID) donde, dado el carácter de sus investigaciones, solo se conoce un grupo que trabaja en acústica marina incluyendo temas relacionados con las respuestas acústicas del fondo, e identificación de fito y zooplancton por medios acústicos

Por último, cabe destacar el Instituto Nacional del Agua (INA) ubicado en Ezeiza que, en la actualidad, posee dos grupos de ingeniería costera con énfasis en modelado numérico en playas y ambientes estuariales relacionados a zonas portuarias y protección de costas.

Provincia de Buenos Aires

En la provincia de Buenos Aires los principales centros de investigación se concentran en Mar del Plata y Bahía Blanca, aunque existen grupos o laboratorios asociados con la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) (especialmente ingeniería costera), en Quequén y en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). En Mar del Plata los principales organismos son el Instituto Nacional de Investigaciones y Desarrollo Pesquero (INIDEP) y los institutos y departamentos ubicados en la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP). El principal foco del INIDEP es la evaluación del recurso pesquero marino nacional, incluyendo la determinación y control de las zonas de pesca, definición y control de zonas, y períodos de veda y salud de los recursos. No obstante, existen grupos de trabajo que simultáneamente desarrollan proyectos de investigación en Oceanografía Física y Biológica, en muchos casos en relación directa con investigadores del CIMA-DCAO y el SHN en plataforma y talud, zona de convergencia subtropical y Río de la Plata.

Hasta 2012, la UNMdP incluía solamente los departamentos de Ciencias Marinas y Biología como así también el Centro de Geología de Costas y Cuaternario -actualmente el Instituto de Geología de Costas y Cuaternario (IGCyC). En todos ellos se hacen investigaciones marinas. En el primero, los grupos se concentran en investigaciones en biología marina, especialmente en zonas costeras (humedales, estuarios, playas) y plataforma interior, aunque se han realizado investigaciones en plataforma media y exterior y en la Antártida. En el segundo, solo hay dos grupos que trabajan en Geología Marina de ambientes costeros (playas, estuarios, deltas y, en menor medida en plataforma interior). En el año 2012, La UNMdP y el CONICET crean el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC) nucleando investigadores del Departamento Ciencias Marinas, IGCyC y el Departamento Biología.

El Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) es el único del país que cuenta con grupos de trabajo en todas las disciplinas de las Ciencias del Océano, incluyendo Ingeniería Oceánica y desarrollo de sensores. Los temas de investigación, en consecuencia, abarcan un amplio espectro de temáticas que se concentran principalmente en áreas costeras (estuarios, humedales, playas, plataforma interior), pero que en la actualidad se han expandido a diversas zonas de la plataforma continental. Los programas de monitoreo de múltiples variables marinas del IADO son los de mayor duración en el país (algunas estaciones tienen más de 50 años de observaciones ininterrumpidas) como así también de la mayor distribución espacial.

Provincia de Río Negro

La principal institución dedicada a la investigación marina en esta provincia es el Instituto de Biología Marina Almirante Storni (IBM) ubicado en San Antonio Oeste. Como su nombre lo indica, su principal actividad es el estudio biológico de pesquerías, incluyendo acuicultura, fundamentalmente en el golfo San Matías y bahía San Antonio. Tanto en la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN) como en la del Comahue (UNComa) hay grupos aislados que realizan estudios relacionados con ambientes marinos, en su mayoría de Biología y Química Marina, incluyendo contaminación dentro del ámbito del estuario del Río Negro.

Provincia del Chubut

La provincia del Chubut posee otro de los centros de mayor actividad en investigación marina, con tres instituciones con una larga trayectoria y un cuarto instituto de reciente creación. El más destacado es el Centro Nacional Patagónico (CENPAT) en Puerto Madryn, que posee numerosos grupos de

investigación en todas las áreas de Biología Marina, un grupo en Oceanografía Física (corrientes y modelado numérico) y otro en Oceanografía Química y Contaminación Marina. Las investigaciones se concentran en toda la costa patagónica, con especial énfasis en los golfos nordpatagónicos y la plataforma continental. La provincia del Chubut, juntamente con la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB) y el CENPAT, mantienen desde el año 1975, un Programa de Monitoreo de Floraciones Algales Nocivas (FANs) y Marea Roja. Este permite a la Provincia establecer vedas transitorias cuando existen problemas de toxinas en moluscos.

La UNPSJB posee sedes en Puerto Madryn, Trelew y Comodoro Rivadavia donde se realizan estudios de grado en Biología Marina. La mayor parte de los profesores son investigadores del CENPAT por lo que existe una estrecha relación entre ambas instituciones. La Universidad Tecnológica Nacional en su Facultad Regional Chubut de Puerto Madryn imparte la carrera de Ingeniería Pesquera y hay grupos que realizan estudios relacionados con su especialidad.

La Estación Fotobiológica Playa Unión (EFPU), ubicada en la localidad homónima, se especializa en estudios de radiación y sus efectos sobre el plancton, tanto en el estuario del río Chubut como en la plataforma interior. Recientemente se creó un nuevo instituto en Comodoro Rivadavia: Instituto de Desarrollo Costero (IDC), dependiente de la UNPSJB, que nuclea investigadores en Biología Marina y otras disciplinas.

Provincia de Santa Cruz

En esta provincia sólo se registran algunos investigadores que tienen lugar de trabajo en el Centro de Investigaciones Puerto Deseado en la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), con sede en Puerto Deseado (dependiente de la Unidad Académica de Caleta Olivia), con intereses en aves marinas y conservación de la biodiversidad.

Provincia de Tierra del Fuego

En Tierra del Fuego la única institución que realiza investigación marina es el Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC). Dentro del mismo existen diversos grupos dedicados a diferentes aspectos de la Biología y Geología Marina. Los ámbitos de investigación se concentran en el canal Beagle, las costas de la Isla Grande de Tierra del Fuego y la Antártida. Con el acceso al buque oceanográfico Puerto Deseado los estudios se expandieron hacia la plataforma continental.

Infraestructura y Financiación

A partir del análisis de las encuestas realizadas para el presente informe, la mayoría de los investigadores han aportado diferentes ideas sobre las fortalezas y debilidades con respecto a infraestructura y equipamiento en el país. Se aclara que esta sección refleja directamente los comentarios vertidos por los encuestados, con un mínimo de correcciones gramaticales. Se han suprimido o condensado repeticiones. Los aspectos más destacados son:

Fortalezas

La fortaleza mayor, en la que coinciden gran parte de los encuestados, es el recurso humano y la distribución de las diferentes unidades ejecutoras en el territorio Argentino. Sin embargo, la infraestructura es antigua y escasa en muchos casos.

Se reconoce el aporte, en los últimos años, de mejoras de infraestructura en algunos institutos y del aumento en el número de recursos humanos que trabaja en el área de Oceanografía, pero la mayoría coincide en que aún faltan mejoras y recursos humanos capacitados.

Si bien el buque oceanográfico Puerto Deseado es una fortaleza importante para la mayoría, al mismo tiempo se remarca el déficit de equipos en el mismo, como también la escasez de campañas, instrumental adecuado para muestreos y análisis tanto biológicos como geológicos. Se coincide en la necesidad de contar con un rompehielos.

El desarrollo del Sistema Nacional de Datos del Mar por el MINCyT se reconoce como una fortaleza por varios investigadores.

También se destaca el acceso previsible a proyectos FONCyT. Al mismo tiempo se valoran las iniciativas para compras de equipamiento institucional, como los PICT de equipamiento.

Debilidades

Se destaca la incompatibilidad de actividades en una misma plataforma de muestreo. El CONICET organiza campañas oceanográficas por áreas geográficas sobre la base de que todo proyecto financiado está habilitado para desarrollar actividades a bordo; esto conlleva la necesidad de realizar tareas poco compatibles. Por ejemplo, una complicación del muestreo biológico y geológico es que el buque debe permanecer estático para los primeros estudios y en movimiento para los segundos, lo que dificulta las diferentes campañas. Existen limitaciones operativas para extracción de testigos de sedimento en plataforma o talud.

Se reconoce la falta de recursos humanos capacitados para el mantenimiento y operación de los equipamientos nuevos y antiguos. Existe una demanda para centralizar la administración de los equipos de uso común que se embarcan.

La reorganización del espacio disponible en las Unidades Ejecutoras (UE) y los Centros Científicos Tecnológicos (CCT) debería ser una prioridad institucional, para asegurar el acceso y máximo aprovechamiento de la infraestructura actual. Incluye problemas en los laboratorios por malfuncionamiento o falta de campanas de extracción en los laboratorios donde se manipulan productos tóxicos o peligrosos.

Otra debilidad que se destaca es la ausencia de barcos para operaciones en aguas de plataforma y océano, como también embarcaciones de diferente tamaño y capacidades operativas para trabajos costeros y plataforma interior.

No hay posibilidad en todo el país de determinar isótopos estables de C y N con el límite de detección que requiere la Biogeoquímica y estudios tróficos a nivel de fito, zoo y bacterioplancton. Tampoco existe capacidad para determinaciones de isótopos inestables como ^{210}Pb, ^{137}Cs, entre otros, necesarios para las determinaciones de edades y tasas de sedimentación en testigos.

Con respecto a la formación de investigadores, actualmente hay una sola universidad que ofrece un doctorado en Oceanografía. En algunas carreras (por ejemplo, Geología) no aceptan a los oceanógrafos para hacer el doctorado, lo que hace muy difícil conservar en el país a los egresados.

Otro aspecto a tomar en consideración es la falta de redes de observación costera, como las que se utilizan en otros sitios del mundo, para el monitoreo y estudio de los sistemas costeros (torres de observación, boyas oceanográficas, radares costeros). Tampoco se dispone de algunos instrumentos oceanográficos modernos, tales como planeadores submarinos, *gliders*, y vehículos de operación remota (ROV). En este aspecto es necesario destacar que más allá de las estaciones mareográficas coordinadas por el SHN, prácticamente no existen monitoreos de otros parámetros oceanográficos. Por ejemplo, son muy escasos en los que se determinan datos de olas (puerto Quequén, zona exterior del estuario de Bahía Blanca). Si bien el desarrollo de programas de monitoreo puede ser muy costoso, en el IADO se han desarrollado sensores y boyas (hay más de 30 estaciones en diversos sitios del país) que podrían utilizarse como base para un programa integral de monitoreo de las costas. Algunos ejemplos de equipos indispensables son: sonda CTD de última generación capaz de medir conductividad, temperatura, presión; sonda multihaz, indispensable en un buque del siglo XXI; *box-corers* y otras dragas que permitan muestreos estratificados de sedimentos superficiales.

La falta de financiamiento representa otro inconveniente de peso para la adquisición y mantenimiento de equipamiento mayor, reparación de equipos

e infraestructura, que no se cubre con proyectos FONCyT o CONICET, para los equipos remotos, montaje de laboratorios de Acuicultura y laboratorios de Microbiología o Virología cuyos montos exceden largamente los proyectos regulares. No existe información institucional actualizada y de fácil acceso acerca del equipamiento disponible en el país y los recursos humanos capacitados para su utilización. Es común encontrar equipos costosos poco aprovechados o directamente fuera de servicio por falta de personal adecuadamente capacitado para su manejo o falta de repuestos. Además existen equipos duplicados o triplicados dentro de una misma UE porque son de uso exclusivo de un grupo de trabajo en particular.

De alguna forma, el Gráfico 8.3 representa porcentualmente las necesidades insatisfechas que se describen en los comentarios precedentes. Es claro que hay deficiencias, como la falta de recursos humanos y equipamiento, que resultan prioritarios para todos (al igual que lo que ocurre en otras ciencias). Un problema importante lo constituyen los diferentes inconvenientes que existen para la importación de equipos e insumos (especialmente los costos que involucra y que los correos privados insisten en hacer aduana en Buenos Aires sin prestar atención a los trámites de exención realizados ante ROECyT), como así también los de exportación de muestras para su análisis en el exterior. Los temas relacionados con la falta de infraestructura y financiamiento parecieran tener una menor prioridad en la actualidad que los comentados oportunamente por el informe de Fundación Antorchas de hace 10 años.

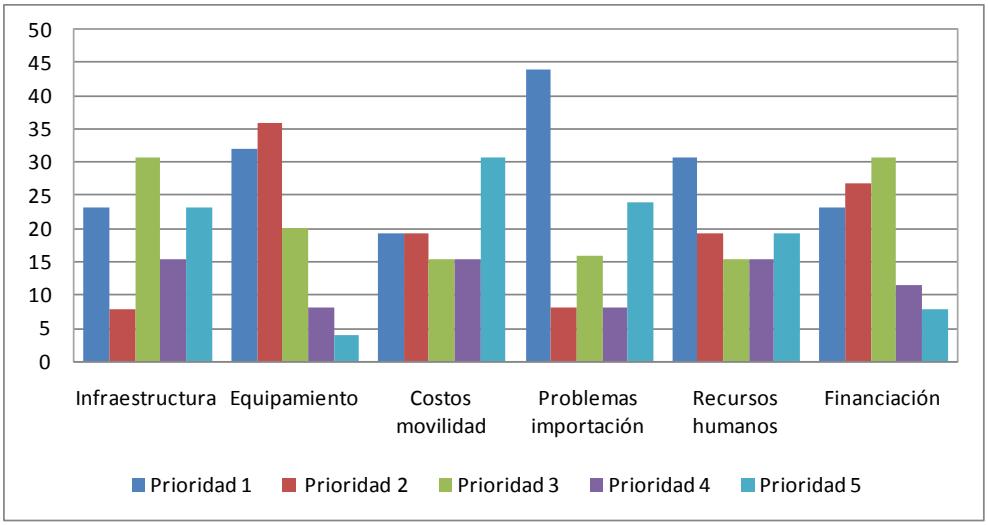


Gráfico 8.3. Para cada uno de los 6 escollos listados se indica el porcentaje de respuestas que identificaron el problema respectivo como altamente importante (Prioridad 1), hasta poco importante (Prioridad 5). *Fuente*: encuesta.

Independientemente de los aspectos indicados por los investigadores encuestados, existe un serio problema con respecto al equipamiento oceanográfico. Naturalmente la financiación en los proyectos se restringe a la adquisición de equipos pero muy raramente es posible utilizar los fondos para su reparación. En su mayoría, los equipos oceanográficos son de alto costo y, dadas las particulares condiciones en las que se opera, están sujetos a daños y pérdidas. No hay en el país compañías de seguro que acepten cubrir los daños a equipos oceanográficos. En todos los institutos existen numerosos equipos, algunos comprados dentro de los últimos 10 años con un importante esfuerzo económico de parte de las diferentes instituciones de financiación, que están inutilizados por la imposibilidad de enviarlos a la fábrica para su reparación y/o calibración.

Asimismo, aún si se supera el escollo económico, la burocracia existente para el envío y devolución de los equipos puede llevar como mínimo 6 a 12 meses para realizar los trámites correspondientes. Otro aspecto no menor es que las empresas envían los equipos empleando servicios postales privados. Aún contando con información específica de la existencia del trámite de ROECyT, estas empresas completan la nacionalización en la Aduana de Buenos Aires y luego exigen el pago de los impuestos aduaneros y tasas de depósito para la entrega del equipo.

Otro aspecto de estructura sobre el cual los investigadores fueron consultados se refiere al sistema de administración de los buques oceanográficos. Las respuestas recibidas se pueden resumir en los siguientes ítems:

En el buque BO Puerto Deseado, al ser operado por la Armada como buque escuela, se ocupan espacios con gran cantidad de personal militar que no cumple con funciones propias de la investigación científica marina, que bien podría suplantarse por científicos, estudiantes y técnicos especializados en las diferentes ramas de la investigación. Como agregado de los autores del informe, se conoce que en febrero de 2015 arribó al país el buque oceanográfico alemán Sonne que actualmente está amarrado en el puerto de Mar del Plata a la espera de ingresar a dique seco. La operación del mismo sería también por parte de la Armada por lo que se espera que se presenten las mismas dificultades.

Los buques que hay son eficientes, aunque insuficientes para la demanda que tienen. Algunos proyectos ocupan sistemáticamente períodos clave de cada año (por ejemplo, primavera y verano) lo que impide la utilización por otros grupos.

Los buques del INIDEP solo están a disposición del Consejo Federal Pesquero, no hay acceso por parte de investigadores ajenos a esa institución.

Las fechas de las campañas siempre son inciertas, así como sus objetivos, porque son una sumatoria de proyectos sin la coordinación previa necesaria. El rol de los jefes científicos no es claro. La información sobre campañas

oceanográficas es difusa y el cumplimiento de los cronogramas incierto. No obstante se ha sugerido una serie de recomendaciones que podrían ser beneficiosas para mejorar la operatoria de los buques:

Si bien existe una comisión que evalúa las propuestas de campañas que realizan los investigadores, es necesario crear la figura de un Armador, Director o Jefe de Logística, encargado de los cronogramas de campañas, priorización de las líneas de trabajo, asignación de plazas, una activa difusión de los recursos disponibles y otras cuestiones que resultan indispensables para organizar un programa de trabajo que surja de las decisiones de la citada comisión. Resulta necesario también un sistema de administración o unidad ejecutora estatal para administrar y tripular todos los barcos de investigación en Argentina, con personal especializado y competente, como así también personal técnico permanente del CONICET para la gestión, mantenimiento y operación de los instrumentos de observación.

Deberían existir subsidios tipo *seed money* para que los investigadores se reúnan a elaborar proyectos interdisciplinarios y abarcativos, y luego concursar por subsidios de montos suficientes para financiar campañas. Deberían ser proyectos a 5 años.

Otra sugerencia, como ocurre en otros países del mundo, es que los subsidios que involucren campañas oceanográficas contemplen el costo operativo del buque. Ello implicaría que los propios investigadores fueran quienes contraten los días de buque necesarios para sus investigaciones, mientras que el CONICET y/o la Armada, a través de un sistema de administración, harían sólo el mantenimiento general del mismo. Ello garantizaría que el cronograma sea respetado y el empleo del buque optimizado.

Financiación

A partir de las respuestas de los encuestados, se obtuvo el Gráfico 8.4 donde se indica el porcentaje de la totalidad de proyectos financiados por diversos organismos nacionales e internacionales. La mayor parte de los proyectos fueron financiados por CONICET, ANPCyT y las universidades.

El número de proyectos internacionales es proporcionalmente bajo, pero en algunos casos (Gráfico 8.5) implican aportes muy significativos (mayores a u$s 50.000), que superan el 27% de los aportes de esas fuentes. Por otro lado, los encuestados indicaron que recibieron, en los últimos 5 años, un total de 37 proyectos con financiación internacional los cuales fueron discriminados por el monto recibido. Es necesario recordar que se recibieron un total de 25 respuestas, lo que demuestra la marcada interacción que existe de los investigadores argentinos con grupos internacionales.

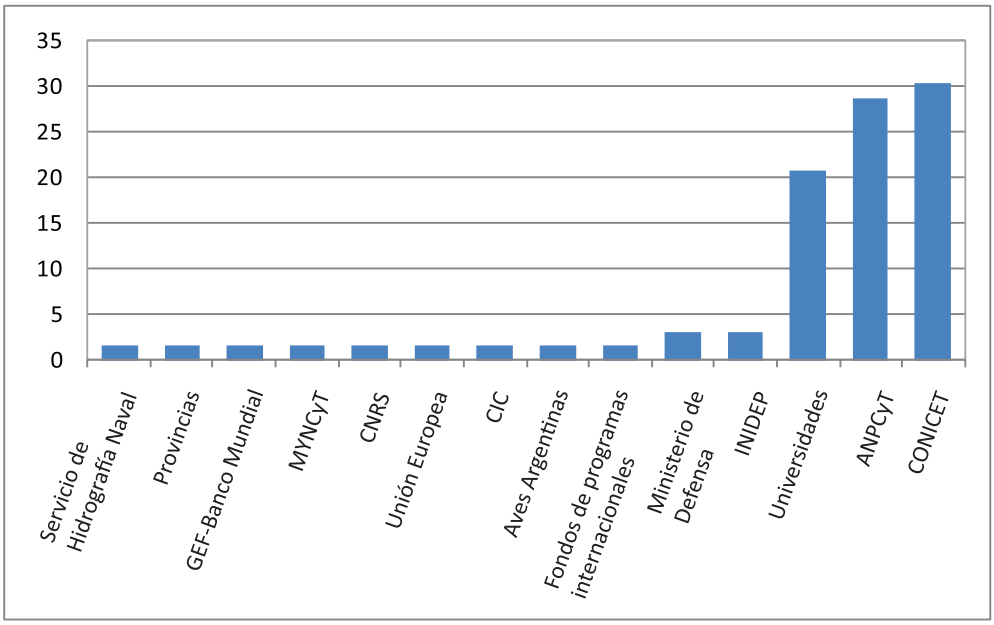


Gráfico 8.4. Porcentaje de la totalidad de proyectos financiados por diversos organismos nacionales e internacionales, independientemente de los montos recibidos. *Fuente*: encuesta.

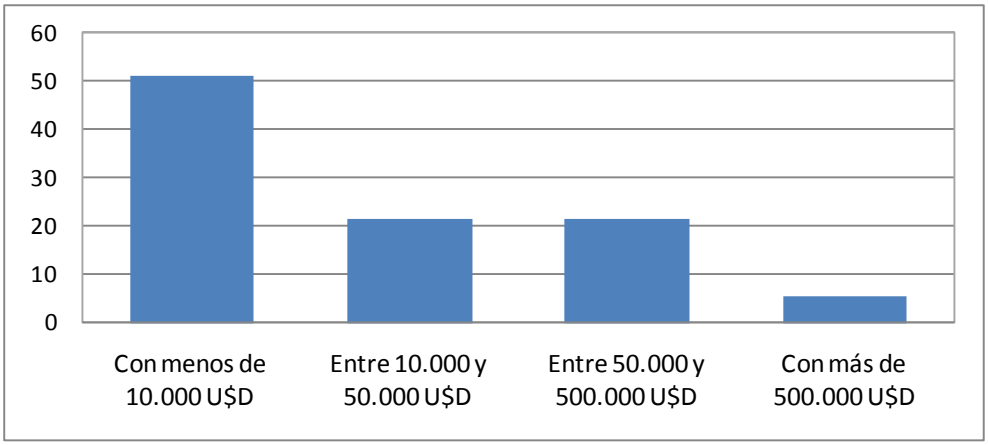


Gráfico 8.5. Porcentajes de proyectos financiados por organismos internacionales, independientemente de su duración. *Fuente*: encuesta.

A partir de los datos de la encuesta se pudo establecer que existe un 48% de grupos de trabajo que han recibido subsidios importantes desde el exterior, y un 28% que tienen una activa cooperación internacional.

Producción científica argentina

Si bien existe un número importante y por demás creciente de revistas internacionales, de editoriales y de asociaciones científicas, exclusivamente dedicadas a la Oceanografía, es también muy amplio el espectro de revistas en las que los oceanógrafos publican. En el análisis de las publicaciones se han encontrado al menos 89 revistas, de las cuales 39 registran al menos 10 trabajos de argentinos en el período 2003-2012.

A los efectos de realizar una comparación, se han tomado una serie de países de referencia tanto de Latinoamérica como a nivel mundial. Ello permite establecer la situación de nuestro país a partir del análisis de diferentes parámetros comparativos. Dada la gran variedad de opciones, resulta sumamente complicado establecer a ciencia cierta el número total de trabajos de investigadores argentinos en todas las publicaciones. Muchos de los trabajos que se publican son interdisciplinarios; por ejemplo, aquellos basados en el tratamiento o aplicaciones de imágenes pueden muy bien publicarse en un rango muy amplio de revistas, algunas de las cuales no tienen un contenido oceanográfico significativo. Consecuentemente, en el presente análisis consideramos que los resultados volcados en los siguientes gráficos deberían ser considerados como de mínima. No obstante, debido que los datos para los otros países sufren del mismo inconveniente, el resultado comparativo puede considerarse como una adecuada evaluación de la situación actual.

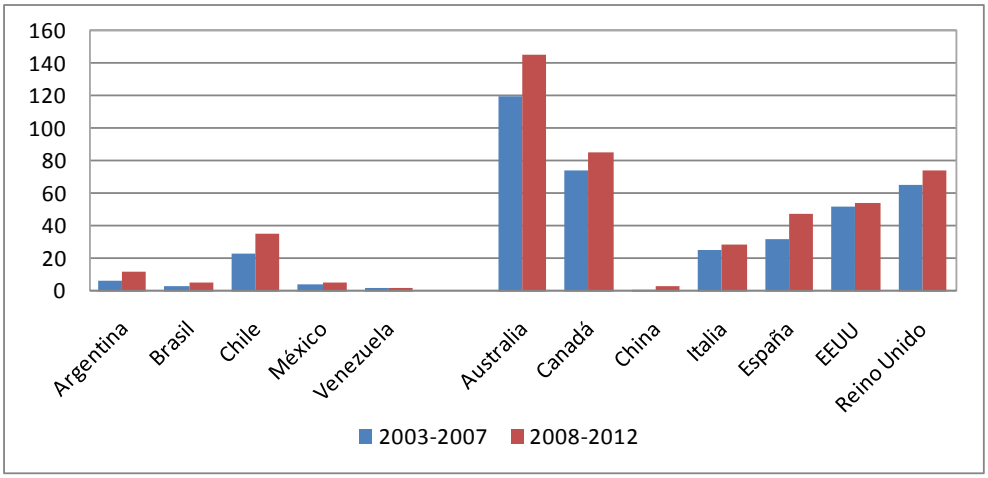


Gráfico 8.6. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuente*: SCOPUS y SCImago.

A partir del análisis de los trabajos encontrados empleando la base SCImago se han efectuado una serie de comparaciones con las publicaciones que realizan investigadores de países latinoamericanos y del mundo normalizados por millón de habitantes económicamente activos (Gráfico 8.6). Se observa que Argentina tiene un nivel destacado entre los países lainoamericanos, después de Chile, aunque comparado con las principales potencias en el tema su situación es baja. Aquí conviene aclarar que China posee un número de publicaciones significativamente alto, incluso comparable con EEUU, pero para esta comparación, la relación con la población lo hace aparecer aún como inferior a Argentina. Por otro lado, comparando Argentina con Canadá, ambos con similares poblaciones, las diferencias son notables.

En el Gráfico 8.7 se realiza una comparación porcentual sobre el total de publicaciones realizadas por el conjunto de los países involucrados en cada caso. Dentro de los países latinoamericanos seleccionados, Argentina aparece cuarta; presenta alrededor de la mitad de las publicaciones que tiene Brasil. En el caso chileno, es factible que la producción aparezca más alta dado que casi la totalidad de las publicaciones corresponden al ámbito de la Biología Marina; ello permite establecer con mayor facilidad cuáles de las publicaciones corresponden a Oceanografía. Si bien comparada con EEUU la producción argentina parece muy baja, si se elimina ese país, comparativamente Argentina representa un 2,4%, mientras que el resto de los países están entre el 16 y 27%, lo que constituye una performance aceptable, teniendo en cuenta el número de investigadores, equipamiento y financiación que poseen los otros países con los que se compara.

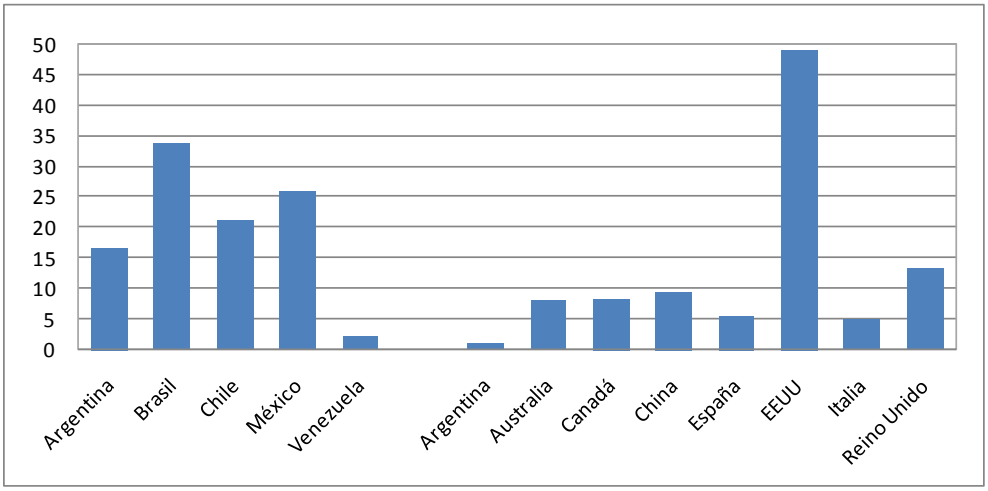


Gráfico 8.7. Porcentaje de artículos publicados en el período2003-2012. *Fuente*: SCOPUS y SCImago.

Para el caso de las comparaciones ilustradas en el Gráfico 8.8 se han tomado en cuenta todos los trabajos publicados en las 89 revistas relevadas. En estos casos se compara la evolución que han tenido el número de publicaciones realizadas en los períodos 2003-2007 y 2008-2012. Todos los países de la región, excepto Venezuela, mostraron crecimientos significativos. Pero debido a la distorsión posible de los números totales, no aparece claro que el crecimiento porcentual entre los períodos de Argentina (73%) sea comparable con Brasil (79%), mientras que Chile (51%) y México (39%) son bastante inferiores.

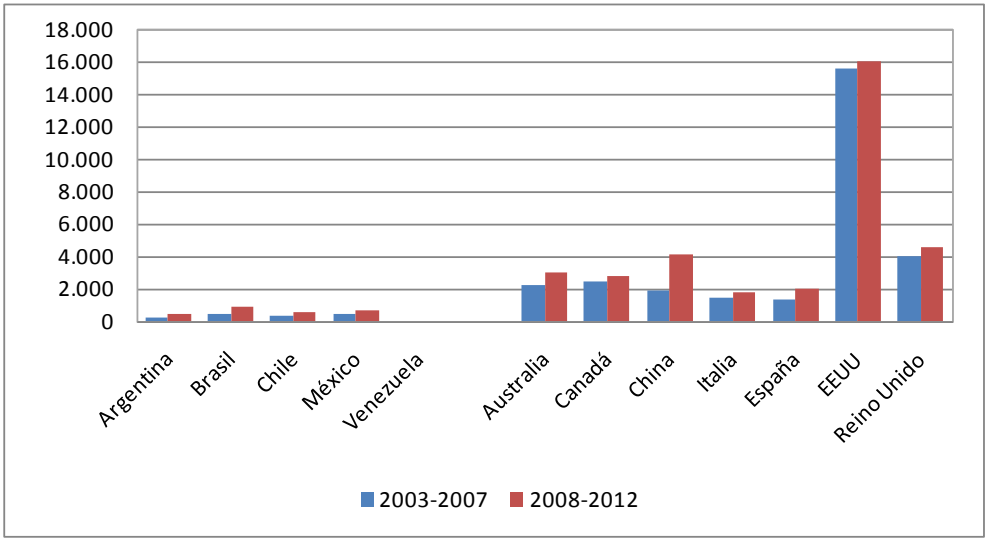


Gráfico 8.8. Número de artículos publicados en revistas indexadas en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 por los principales países latinoamericanos y del mundo. *Fuente*: SCOPUS y SCImago.

Dentro del contexto de los principales países, Argentina muestra una contribución muy baja que representa del orden del 5 al 10% del número de publicaciones que aportan los otros países con los que se la contrasta. Haciendo una comparación similar al caso latinoamericano en relación con el porcentaje de crecimiento, el resultado es altamente favorable a Argentina. Exceptuando a China, que creció un 118 %, Argentina (73%) es el país que mayor crecimiento muestra seguido por España (46%) y Australia (37 %). El resto de los países muestran crecimientos muy bajos (del orden del 12-14%) y, en particular, EEUU que solo creció un 2%. Una posible conclusión, aunque no necesariamente la única, a partir de esta última comparación, es que excepto por los países con mayor crecimiento, se han abierto nuevas vías de investigación en sitios que hasta hace poco estaban relativamente inexplorados. En los de bajo crecimiento,

se mantienen básicamente los porcentajes históricos, pero también el bajo crecimiento puede deberse a cambios en la situación de financiamiento a proyectos que han sido fuertemente impactados por las crisis económicas.

Una forma de establecer la trascendencia de una publicación es verificar el número de citas que recibe el trabajo. En ese sentido, las publicaciones argentinas en revistas internacionales muestran una situación muy buena ya que es la más alta de latinoamérica (13,06 vs 13,04 de Brasil), compitiendo muy bien con los principales países del mundo analizados. Resulta destacable que supere a países como Australia y China (Gráfico 8.9).

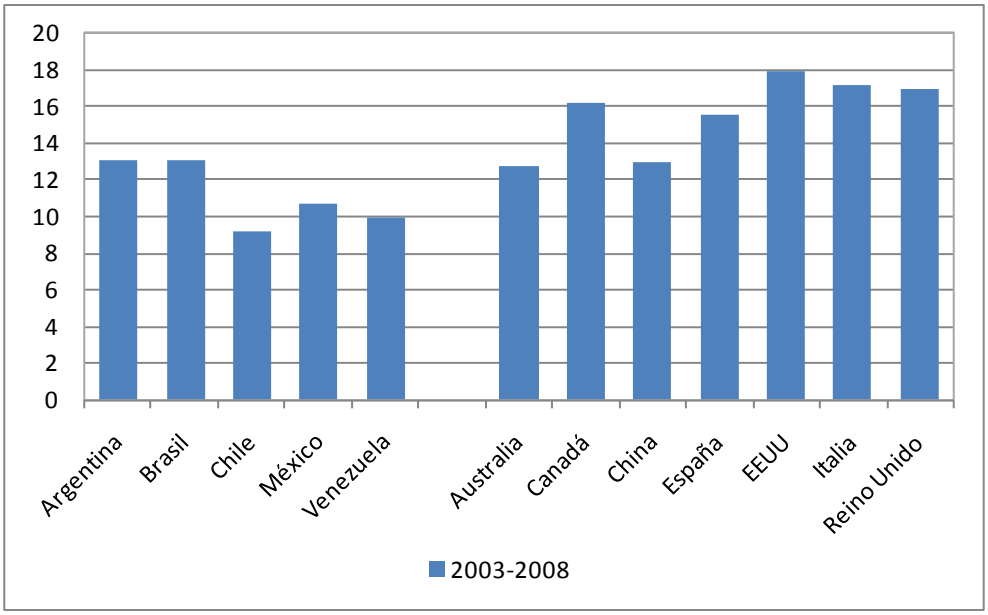


Gráfico 8.9. Promedio de citas por artículo anual (excluyendo autocitas) para el período 2003-2008. *Fuente*: SCOPUS y SCImago.

En relación con las citas de trabajos, resulta importante destacar que en el contexto de Ciencias de la Tierra en general, y en las del Océano en particular, hay un hecho que es significativo. Normalmente, los trabajos realizados en los principales países, tienden a ignorar las publicaciones efectuadas por investigadores de los países latinoamericanos, aún si estos trabajos han sido pioneros en algunos de los descubrimientos, dando prioridad a trabajos más modernos pero de países más desarrollados. Uno de los problemas planteados[6] para el caso de los estudios sobre estuarios de Sudamérica, es la posibilidad

6 Perillo, G.M.E. y Piccolo, M. C., 1998. Where are the papers about South American Estuaries? Estuarine and Coastal Science Association, Bulletin 29:60-62

de que un artículo referido a un tema regional, sea aceptado en una revista internacional solamente por su contexto académico. Sin embargo, existen numerosos ejemplos de artículos en esas mismas revistas que aceptan trabajos sobre ambientes muy restringidos de América del Norte o Europa que no tienen verdadera relevancia internacional como se le requiere a los autores latinoamericanos.

El número de trabajos publicados distribuidos por institución no necesariamente representa el total de aquellos referidos a la Oceanografía. En algunos casos, como los datos de la UBA que no pertenecen al Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera (CIMA), no fue posible discriminarlos adecuadamente con respecto a otros de Ciencias de la Tierra. Similarmente ocurre con los de diferentes institutos y departamentos de la UNMdP, pero en este caso, los datos presentados pueden ser inferiores a la realidad. Con respecto al IADO/UNS, salvo algunas excepciones, el personal del IADO tiene algún tipo de cargo de docencia en la UNS por lo que las referencias de sus trabajos están duplicadas. (Gráfico 8.10).

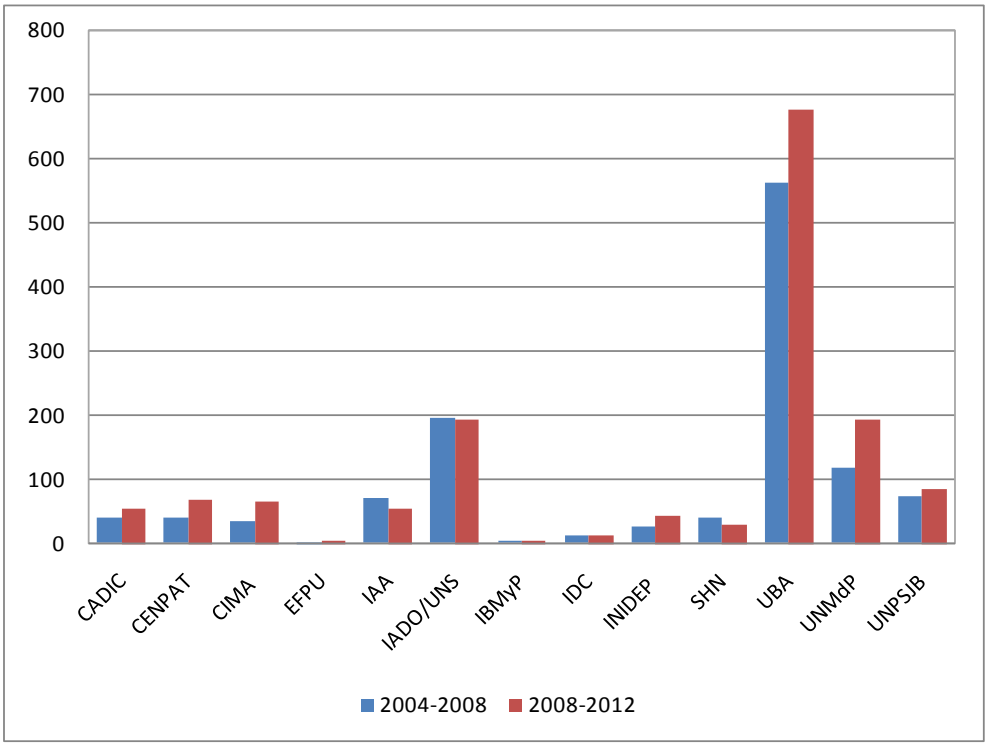


Gráfico 8.10. Número de artículos en Ciencias del Océano distribuidas por institución para los períodos 2004-2008 y 2008-2012. *Fuente*: SCOPUS, SCImago.

Independientemente de estos inconvenientes en la recolección de datos, se marca una fuerte tendencia en todas las instituciones a un crecimiento significativo en la producción en revistas indexadas. La mayoría de las instituciones muestran incrementos superiores al 100% en la producción científica de relevancia.

El total de revistas de las que se dispuso información suministrada por el CONICET para Oceanografía fue de 89 (en algunos casos se extrajo información de publicaciones que siendo de Oceanografía figuraban bajo otra disciplina). Se seleccionaron aquellas publicaciones para las que se contaba, en la totalidad del período 2003-2012, con 10 o más publicaciones en las que intervenían investigadores argentinos. No obstante, se debe destacar que la información con la que se trabajó estaba incompleta y, en algunos casos, con datos erróneos. Si bien se hicieron controles específicos de algunas publicaciones y años en que los autores tenían información que permitiera controlar la calidad de los datos, en numerosos casos la información suministrada no coincidía. Por esa razón, la información aportada solo puede considerarse representativa de una tendencia pero seguramente no es exacta.

Se destacan como más significativas las siguientes revistas: *Hydrobiologia*; *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology, y Quaternary International*, con un número importante de contribuciones. Es probable que muchos de los trabajos en esas revistas no correspondan a temas de Oceanografía, ya que la temática de las mismas es muy amplia y consideran muchos estudios continentales. Pero en estos, como en otros casos, hacer la discriminación resultó sumamente complicado.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

La formación de recursos humanos dentro de la Oceanografía no puede analizarse independientemente de la historia de las diferentes carreras que se abrieron y cerraron en diversas universidades del país. En el presente informe, solo se discuten los temas relacionados con carreras de Oceanografía ya que las correspondientes a otras disciplinas aportadas por la CONEAU no permiten discriminar si la orientación seguida por el egresado tiene relación con la temática. Inclusive los datos correspondientes al Doctorado que se informa son en Ciencias de la Atmósfera y del Océano.

Formalmente, la primera carrera de Licenciatura en Oceanografía, con orientación Física, se constituyó en el Instituto Tecnológico Buenos Aires (ITBA), en 1960, para la formación profesional de oficiales de la Armada Argentina, pero admitió el ingreso de estudiantes civiles. De acuerdo con las estadísticas publicadas por el ITBA entre 1965 y 2009 se graduaron 114 Licenciados en Oceanografía; sin embargo, solo 3 lo hicieron entre 2004 y 2009. Un porcentaje significativo de los investigadores senior en Oceanografía Física en el país son egresados del ITBA. En 1993 los profesores del ITBA migraron a una nueva carrera, adaptada a nuevos conceptos, del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y de los Océanos (DCAO) de la UBA. En el período 2002-2014 egresaron en el DCAO un total de 22 Licenciados en Oceanografía Física (Gráfico 8.11). A ello se le debe sumar que en ese mismo período egresaron 2 Doctores con orientación en Oceanografía.

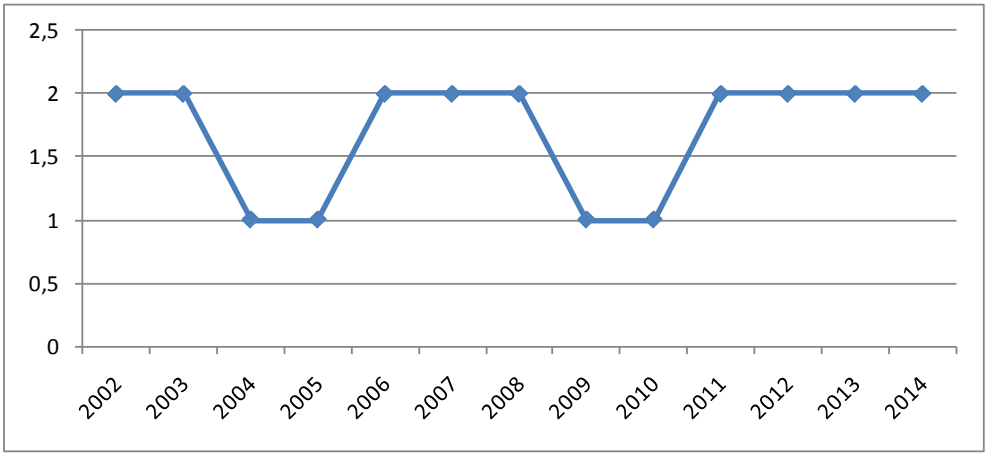


Gráfico 8.11. Evolución del número de egresados de la Licenciatura en Oceanografía del DCAO para el período 2002-2014. *Fuente*: DCAO.

En 1975 se creó la carrera de Licenciatura en Oceanografía en la Universidad Nacional del Sur, la única que tenía cuatro orientaciones. Hasta 1987 egresaron 25 licenciados discriminados en: 6 en Geología Marina, 3 en Química Marina, 4 en Física y 12 en Biología Marina. La inscripción a la carrera fue suspendida por las autoridades de la UNS en 1985, aduciendo que los alumnos, por reglamento, eran becarios alumnos del CONICET y, dado que este organismo decidió suspender esa beca, la UNS no podía hacerse cargo del estipendio mínimo que recibían los alumnos. No obstante, en 2009 el Consejo Superior de la UNS decidió la reapertura de la carrera, con una adecuación del plan de estudios, en todas las orientaciones. Actualmente tiene un total de 44 inscriptos (hasta 2013) y se espera que en marzo/abril 2015 egresen los tres primeros oceanógrafos, uno en cada una de las orientaciones Biología, Física y Geología.

Un caso particular es el de las licenciaturas en Biología que pueden cursarse con una orientación tendiente hacia lo marino, dependiendo de cada universidad. Podría considerarse que siete universidades ofrecen tales carreras. Una única universidad (Universidad Nacional del Comahue, Sede San Antonio Oeste) ofrece específicamente la carrera de Licenciatura en Biología Marina, que está íntegramente enfocada a la disciplina (por ejemplo, la asignatura Vertebrados es Vertebrados marinos) y tiene dos orientaciones: Gestión de Pesquerías y Acuicultura Marina, y Manejo y Conservación de Ecosistemas Marinos. Esta carrera comenzó a dictarse en 2009.

Las otras seis universidades ofrecen la Licenciatura en Ciencias Biológicas en cuyo ciclo superior (que varía entre 1 y 2 años según cada universidad) se puede optar por una especialización en Biología Marina. Estas especializaciones dependen de la cantidad de asignaturas optativas ofrecidas y realizadas por el alumno.

La UBA brinda 12 orientaciones diferentes de las cuales 2 (Ecología y Biología Acuática) pueden encauzarse hacia el mar según las materias optativas elegidas en el ciclo superior (sobre un total de 10 a realizar). Aquí, los docentes tutores guían al alumno en la selección de asignaturas optativas.

La UNPSJB, Sede Puerto Madryn, ofrece dos orientaciones, una de las cuales es específicamente Biología Marina. El alumno puede optar por 6 asignaturas de la especialidad marina (sobre 10 del ciclo superior). En la UNPSJB, Sede Comodoro Rivadavia, el alumno puede armar una orientación marina a partir de la selección de 10 materias optativas del ciclo superior.

En la UNMdP el área de Biodiversidad y Recursos Naturales pueden orientarse a las Ciencias Marinas a partir de la elección de 4 materias durante el ciclo superior. Esta universidad ofrece además una carrera de postgrado de dos años de Especialización en Pesquerías Marinas, mayormente orientada a formar observadores pesqueros a bordo.

Una de las dos orientaciones que ofrece la UNTDF es la de Biología Marina con 3 o 4 materias de la especialidad en el ciclo superior (esta carrera comenzó a dictarse en 2013).

La Licenciatura en Ciencias Biológicas de la UNS ofrece 5 orientaciones (Biodiversidad, Biología Celular y Molecular, Biotecnología, Ecología y Conservación, Recursos Acuáticos Renovables) y la orientación marina puede realizarse a partir de la incorporación de 1 o 2 materias optativas de la especialidad marina (se ofrecen 8) en cualquiera de las orientaciones.

La UNLP dentro de la orientación Zoología de la Licenciatura en Ciencias Biológicas ofrece 5 materias optativas que podrían orientarse hacia las ciencias marinas (varias asignaturas pueden cursarse en otras universidades y se consideran válidas para la Licenciatura en la UNLP).

Del análisis de los datos obtenidos de las diferentes universidades, se puede deducir que las posibilidades de formación de recursos humanos en Oceanografía son relativamente escasas. Solo la UNS permite cubrir todas las disciplinas en que puede dividirse ésta área, mientras que la UBA-DCAO tiene la capacidad de formar oceanógrafos físicos. El resto de las universidades solo permiten la formación en Biología Marina. Sin embargo, las principales falencias en la distribución de especialistas se encuentran en las orientaciones no biológicas, en particular en química y, en menor medida, geología.

A pesar de los esfuerzos de difusión, la cantidad de inscriptos en la carrera del DCAO es baja y, consecuentemente, es también muy bajo el número de egresados (Gráfico 8.11). Actualmente, por una extensión del acuerdo entre el MINCyT y la UBA, se estableció un programa de becas para estudiantes de grado en la Licenciatura en Oceanografía Física. En la UNS la situación es totalmente diferente ya que el número de inscriptos es alto y, de acuerdo con el esquema de la carrera, los alumnos deciden su orientación a partir del tercer año. Ello ha posibilitado que más del 30 % de los inscriptos que superan el segundo año tengan buena posibilidad de egresar.

En el resto de las universidades, cualquiera sea el formato que les permita una orientación hacia el mar, básicamente, los estudiantes tienen una escasa formación en los aspectos claves de la Oceanografía. Por ello es que se considera que su formación, aunque de buen nivel para la Biología, no lo es tanto para las tareas que involucran el estudio del ambiente marino.

Los datos del Gráfico 8.12 se basan en la información suministrada por el CONICET y corresponden específicamente al análisis de los planes de trabajo (cuando se indicaban) de los becarios. Dado que la información se suministró en forma anual pero considerando que la mayoría de los becarios tuvieron más de un año de beca, se realizó el conteo considerando cada becario en forma individual y separando en los dos tipos de becas. Consecuentemente, el gráfico sólo refleja el número de becarios y no el número de becas recibidas; no se

incluyen otros tipos de becas (por ejemplo, universidades, ANCyPT) debido a la imposibilidad de discriminarlas de otras Ciencias de la Tierra, a partir de la información recibida. Es necesario aclarar que para el cálculo de las becas de la UBA (excepto las de CIMA), UNS (excepto IADO) y de la UNMdP se sumaron las de todos los departamentos, facultades e institutos en una sola columna. En total se contabilizaron 167 becarios doctorales y 49 posdoctorales.

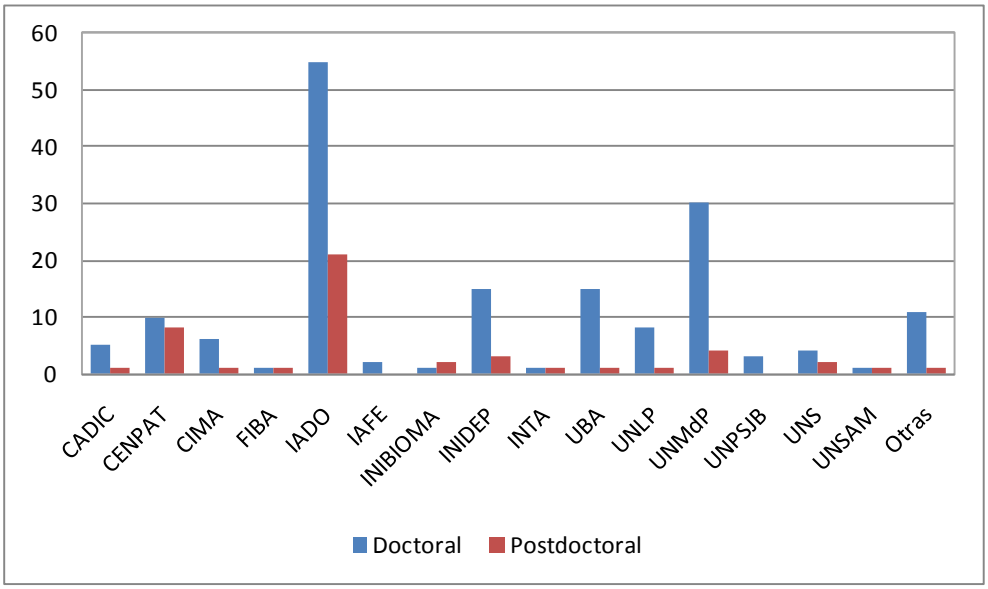


Gráfico 8.12. Número de becarios doctorales y posdoctorales en el período 2002-2013. *Fuente*: CONICET.

De este análisis se destaca que el CADIC, CENPAT, CIMA, IADO, INIDEP, UBA, UNLP y UNMDP son las que reciben la mayor parte de las becas otorgadas por el CONICET. Este es un resultado obvio, ya que estos organismos son los que concentran a la mayor parte de los investigadores dedicados al mar y, además, los que poseen el mayor número de proyectos con esa orientación. Se podría estimar que el número de becas aportadas por la ANCyPT en el área, distribuidas por institutos implicaría agregar al menos 10% de las becas doctorales en cada instituto. Se destaca particularmente el caso del IADO que ha recibido el 33% de las becas doctorales y 43% de las posdoctorales proporcionadas por el CONICET en el período considerado.

Como resultado del presente análisis referido a la formación de recursos humanos, resulta claro que existe una deficiencia de estudiantes con entrenamiento directo en Oceanografía, lo que, de alguna forma, está siendo modificado paulatinamente por la UBA y la UNS. No obstante, existen nuevos

esfuerzos para la formación de biólogos marinos y hay un marcado interés en egresados de las ciencias básicas por trabajar en el ámbito marino.

La principal deficiencia es la falta de estudiantes o egresados en las disciplinas relacionadas con la Geología y la Química, especialmente en esta última, donde los niveles son extremadamente bajos. No obstante, teniendo en cuenta el alto número de becas que se otorgan para trabajar en el ámbito marino, es claro que existe un elevado interés de los jóvenes por trabajar en el mar, pero no existen suficientes centros donde se los podría formar. La consecuencia de esta falencia se relaciona directamente con el tiempo que pierde cualquier becario no formado en Oceanografía, para entender los conceptos básicos que se necesita para poder investigar en el ambiente marino. Por la propia experiencia del coordinador y de sus colaboradores, ese tiempo es del orden de un año o más, dependiendo de la capacidad y formación del becario y de la complejidad del tema elegido.

Otro problema serio que se observa es la falta de personal técnico entrenado, tanto para las tareas de campo como de laboratorio y procesamiento de datos. La Oceanografía es una ciencia que requiere de trabajo de campo que normalmente se desarrolla en condiciones complejas. No es parte de la formación de investigadores y becarios el saber operar una embarcación, guinches y otros elementos propios de los métodos de trabajo. Para ello es esencial tener personal técnico altamente entrenado porque su ausencia implica (como se ha observado en las últimas campañas oceanográficas) la pérdida de instrumental muy valioso y, potencialmente accidentes que podrían ser muy onerosos.

SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS

En Argentina no existen sociedades científicas como se las conoce normalmente, relacionadas con la Oceanografía. Lo que existe es el Comité Nacional para la Asociación Internacional para las Ciencias Físicas del Océano (CNIAPSO). Este comité corresponde a uno de los subcomités del Comité Nacional para la Unión Geofísica y Geodésica Internacional (CNUGGI). Actualmente, el CNIAPSO cuenta con más de 80 miembros que cubren todas las disciplinas de la Oceanografía, existiendo dos categorías: investigadores y alumnos. Los miembros del CNIAPSO son aceptados por el Comité Ejecutivo (CE) a partir de invitaciones que realizan otros miembros o el CE. El carácter de los miembros es honorario y no se paga cuota alguna. Su única responsabilidad es aportar información de base, a través del representante institucional, para el informe que el CNIAPSO debe elevar cada cuatro años a la Asociación Internacional para las Ciencias Físicas del Océano (IAPSO).

El CNIAPSO es la institución que organiza el Coloquio Argentino de Oceanografía. Se realizaron en total 16 desde 1975. Se organiza aisladamente o complementariamente con la Semana de la Oceanografía, las Jornadas de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas (AAGG), las Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar u otro evento internacional que se realice en el país. El CNIAPSO publicó entre 1976 y 1980 la única revista periódica dedicada íntegramente a la Oceanografía del país (*Acta Oceanographica Argentina*).

En 2004 se organizó la Asociación Argentina de Ciencias del Mar pero, a pesar del entusiasmo de sus primeros miembros, sus actividades se han diluido a partir de las Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar de 2009.

Más allá de las reuniones que organiza el CNIAPSO, a partir de 1990 se realizan cada tres años las Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar. Iniciadas en Puerto Madryn (I, II, III, IV y VI), también fueron organizadas en Mar del Plata (V), Bahía Blanca (VII) y Comodoro Rivadavia (VIII). Las jornadas han tenido una creciente participación de profesionales en los últimos años. Las próximas tendrán lugar en Ushuaia (setiembre de 2015). La organización de las Jornadas no tiene relación directa con sociedad alguna y son absoluta responsabilidad de un comité local de organización creado *ad hoc*.

La Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas (AAGG) tiene un capítulo dedicado a la Oceanografía. Esta asociación organiza cada dos años las Jornadas de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas en diferentes sitios del país y publica la revista periódica *Geoacta*.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS Y DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

En el caso de las Ciencias del Océano, nuestro país nunca se caracterizó por tener consistencia en la generación y mantenimiento de publicaciones sobre la temática. La mayor parte de los esfuerzos realizados terminaron en fracasos debidos principalmente a la falta de trabajos y aportes económicos para el mantenimiento de publicaciones periódicas. Un ejemplo de ello es la única revista exclusivamente dedicada a Oceanografía denominada *Acta Oceanographica Argentina*, editada por el Comité Nacional para las Ciencias Físicas del Océano (CNIAPSO). Entre 1977 y 1980 se editaron 5 números correspondientes a 3 volúmenes. Cada número contaba entre 2 y 4 trabajos. CNIAPSO es una organización honoraria que no cobra cuota societaria y, evidentemente, le resultó imposible mantener la revista sin subsidios, pero principalmente por el escaso aporte de trabajos.

Existe un número de revistas nacionales que tienen objetivos amplios que aceptan trabajos relacionados con la Oceanografía. El principal ejemplo es *Geoacta* (editada por la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, AAGG) que ha sido a lo largo de los últimos 25 años el principal vehículo de difusión de trabajos nacionales dentro del país. De hecho, dentro de todas las disciplinas que abarca la AAGG, Oceanografía es la que ha aportado mayor número de trabajos a la revista. Esta publica un número por año, en ocasiones dos, con 10 a 15 trabajos por número.

Otras revistas son *Latin American Journal for Sedimentology and Basin Analysis, Latin American Journal for Applied Research, Revista de la Asociación Geológica Argentina*.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el año 2004 la Fundación Antorchas formó un grupo de expertos internacionales que evaluaron la situación del área en el país[7]. Estos investigadores presentaron una serie de recomendaciones que se resumen a continuación:

Incrementar la cooperación entre los investigadores y fomentar la coordinación de los programas de investigación y los recursos institucionales (dentro de este punto se destaca la recomendación de otorgar subsidios para estimular la colaboración entre laboratorios y grupos, y proveer ejemplos visibles de los estudios interdisciplinarios); impulsar la preparación de un plan oceanográfico argentino; favorecer el acceso de los científicos argentinos a embarcaciones de investigación; contrarrestar la fuga de cerebros; analizar las áreas donde hay carencia de investigadores, establecer el número requerido y poner en práctica medidas para subsanar estas carencias; aumentar y coordinar mejor la financiación de las ciencias del mar; incentivar a la comunidad científica a trabajar mancomunadamente en temas de extensión; explorar formas de compartir el uso de servicios y equipos caros; promover la tecnología de la información, que es crítica para el futuro; establecer un programa de subsidios medianos y pequeños de riesgo.

Cuando se analiza la situación descripta en el citado informe y las debilidades y fortalezas que surgen de las encuestas y del análisis de los datos disponibles tanto de publicaciones como formación de recursos humanos y equipamiento en general, se puede establecer que luego de diez años hay una serie de avances pero en otros se ha fluctuado una vez más entre picos de prosperidad y valles de pobreza. A pesar que las investigaciones en Oceanografía en la República Argentina ya superan los 100 años, el conocimiento científico de nuestras costas y nuestro mar territorial puede clasificarse como incipiente. Más aún, en algunos sitios y temas se podría decir que es inexistente. Hay numerosas razones para que ello así suceda. A lo largo de muchos años no se contó con una adecuada formación de profesionales que permitieran encarar los estudios marinos adecuadamente. Solo recientemente se están empezando a formar oceanógrafos pero, aún así, ello ocurre solo en dos universidades nacionales.

Otro de los problemas serios que afectaron a la investigación es la falta de buques que operaran adecuadamente, y en tiempo y forma para cumplir con los requisitos mínimos para extraer información coherente y continua de las

7 Ogden, J.C., Podestá, G., Zingone, A., Wiebe, W.J., Myers, R.A., 2004. Las ciencias del mar en Argentina. Ciencia Hoy 13(77):23-46.

campañas. En muchos casos, las campañas que se hacen se basan en una serie de propuestas individuales, que no necesariamente corresponden a un plan de investigación conjunta de una región determinada. Muy raramente los buques salen y operan en las fechas estipuladas por los investigadores. En algunos casos, ello puede afectar seriamente los resultados que se obtengan, porque mediciones de ciertos eventos deben hacerse en un tiempo y lugar específico que, de no cumplirse, podrían invalidar totalmente el esfuerzo y la inversión realizados.

Más allá de los intereses particulares de los investigadores, no existe formalmente un plan estratégico consensuado por toda la comunidad que trabaja en el ámbito marino. Recientemente, el Dr. Mario Mariscotti ha realizado un nuevo esfuerzo, con el aporte de numerosos investigadores argentinos que trabajan en el país y en el exterior, para plantear una hoja de ruta que debería seguirse para finalmente definir ese plan estratégico. Paralelamente, el MINCyT ha establecido un programa de investigación ambicioso denominado Pampa Azul para desarrollar la Oceanografía a nivel nacional, dando prioridad a cinco áreas geográficas de interés geopolítico. Este programa cuenta con un Comité Coordinador Interministerial (compuesto por representantes de cinco ministerios, del CONICET y de la Secretaría de Medio Ambiente), un Consejo Asesor Científico y de 14 Grupos de Trabajo en donde participan más de 200 personas de todos los institutos que trabajan en ciencias del mar a nivel nacional. Para asegurar la continuidad del proyecto, se propulsó una Ley para crear un fondo permanente de Investigación y Desarrollo Tecnológico en el Atlántico Sur. Dicha Ley fue aprobada el 12 de noviembre de 2014 por unanimidad en la Honorable Cámara de Diputados y ya pasó a las Comisiones de Agricultura y Presupuesto del Senado de la Nación, en las cuales está siendo tratada.

A continuación, se plantea una serie de puntos que resultan de mayor urgencia, según la lectura de las encuestas realizadas, y que se aconseja sean tenidos en cuenta en las iniciativas nacionales correspondientes.

Para mejorar el conocimiento en Oceanografía es esencial realizar mediciones sistemáticas. Para ello es imprescindible que los investigadores tengan un sistema coordinado y moderno que le permita acceder al objeto de estudio: el mar.

Infraestructura

Buques: se detectó la necesidad de contar con un sistema de buques que funcione en forma continua y con cronogramas previsibles, que sea coordinado, centralizado, permitiendo así un uso eficiente del recurso. Podría plantearse en dos etapas, estableciendo capitanes de armamento/gerentes por institución con embarcación y luego un sistema nacional coordinado. Este sistema debería

estar centralizado y coordinado por un comité reducido de científicos y personal operativo. Implementar además un programa de equipamiento y/o modernización de una flota de embarcaciones menores para estudios costeros incluyendo la tripulación de las mismas con su debido entrenamiento.

Equipamiento: la adquisición de equipamiento específico es difícil por la vía tradicional de proyectos y debería hacerlo la institución "madre" con fondos dedicados a tal fin. Se debe adaptar la norma de importación/exportación para que las adquisiciones, reparaciones y calibraciones sean lo más expeditivas posible. La adquisición de equipo moderno debe estar asociado a la capacitación de personal, no sólo para la operación sino también para la reparación temprana de posibles fallas. En este sentido, la compra del equipo debería incluir específicamente el entrenamiento del personal para llevar adelante su mantenimiento y reparación. El equipamiento debería estar disponible para todas las instituciones y/o investigadores por lo que necesariamente debería incluirse un sistema centralizado de coordinación para su empleo. A largo plazo se puede plantear el desarrollo de la aparatología estándar (CTD, ADCP, etc.) a nivel nacional, de calidad comparable a las marcas reconocidas internacionalmente.

Monitoreo: aunque las campañas oceanográficas representan una parte significativa de los programas de mediciones en el mar, es fundamental establecer además un programa de monitoreo permanente con equipamiento, tanto en las zonas costeras (por ejemplo, playas, estuarios) y en la propia plataforma. Estos equipos deben proveer información de base distribuida espacialmente y con una visión de largo plazo. Los datos ya existentes en algunos sistemas de monitoreo complementados por un programa integrado que pueda tener, además de los sistemas de recepción de datos en tiempo real, almacenamiento y procesado de calidad de la información, personal capacitado para el mantenimiento y reparación de los instrumentos. Mantener un programa de monitoreo requiere equipamiento de repuesto para reemplazar los que se deterioren (no existe el sensor eterno) porque la vigencia de un sistema de monitoreo se basa en asegurar la continuidad de los datos. Consecuentemente, el personal operativo debe tener adecuada financiación y sistemas operativos independientes que les permitan visitar periódicamente cada estación. Asimismo, deben tener un depósito físico con supervisión técnica para las tareas de calibración y mantenimiento debidamente gerenciado. Dentro de esta línea, es importante considerar el apoyo al desarrollo de una industria nacional dedicada al diseño, desarrollo e industrialización de equipos de monitoreo. Existe en el país la capacidad para hacerlo, y sólo requiere de apoyo económico y aporte de recursos humanos para llevarlo adelante.

Recursos Humanos

Es absolutamente claro que cualquier programa que se desarrolle es mucho más que financiación para campañas y equipamiento. Estos son elementos necesarios pero no suficientes. La base de cualquier programa reside fundamentalmente en aquellos que lo deben llevar a cabo. Como resultado del presente informe, aunque planteado a lo largo de años en muchos otros informes y conferencias, resulta evidente que nuestra principal falencia reside en el recurso humano. Actualmente existe un número significativo de profesionales en diversas disciplinas que desarrollan sus investigaciones en el ámbito marino. Para muchos de ellos, encarar este ambiente implicó años de esfuerzo y entrenamiento personal para entender los complejos procesos que propone el mar y que, en su mayoría, no es ofrecido en las carreras de grado de las ciencias básicas exactas y naturales en nuestro país.

Consecuentemente, todo plan estratégico debe tener como una de sus principales metas la formación de una nueva generación de investigadores que desde sus inicios tengan el mar como objeto de estudio. Ello no implica descartar investigadores que vengan directamente de las ciencias básicas, sino, al contrario, establecer un programa de entrenamiento particular para que la adaptación al trabajo en el mar resulte más rápida y menos traumática.

Todo ello involucra necesariamente un programa de becas tanto para carreras de grado como de posgrado y de entrenamiento que debe estar específicamente encuadrado dentro del plan estratégico. Asimismo, debería iniciarse un programa conjunto entre el MINCyT y la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación para incentivar la creación y sostenimiento de carreras universitarias referidas a las Ciencias del Océano, especialmente en aquellas universidades a lo largo de la costa argentina.

Este aspecto trae aparejado otro serio inconveniente que surge de las diferentes opiniones que se recibieron: la inadecuada distribución de profesionales en el país. La creación de carreras universitarias requiere de un núcleo mínimo de profesores radicados en la localidad donde se desarrolle el programa. Resulta entonces, imprescindible que la creación y fomento de las carreras sea acompañado por fuertes incentivos para la radicación de profesionales en esas localidades, ya sea aquellos que se formen en las universidades más avanzadas como los que pueden ser radicados desde el exterior. Una vez establecidas las universidades y programas que se planeen desarrollar, el proceso de crecimiento puede efectuarse por etapas programadas, iniciándose a través de profesores visitantes que, además de dictar clases, puedan dirigir y/u orientar proyectos de investigación con los profesionales y estudiantes locales. Todo ello acompañado de becas para estudiantes para cursado en otras universidades, además de un programa de seguimiento que sirva para analizar y estimular el avance del nuevo programa.

Es claro también que la distribución de recursos humanos en nuestro país es fuertemente heterogénea. No solo en cantidad sino en especialidades. Un programa integrado de formación de recursos humanos puede ser un excelente fundamento para motivar una mayor integración entre los grupos de trabajo. Es decir, los proyectos que resulten de la iniciativa tipo *seed money* deben obligatoriamente tener una marcada componente en la formación de recursos humanos que deben instalarse en las regiones menos desarrolladas. Inclusive, se debería indicar un tiempo mínimo de permanencia obligatoria a fin de asegurar su consolidación en la comunidad local.

Si bien la formación de investigadores oceanográficos que puedan llevar adelante el plan estratégico que se elabore es probablemente la tarea prioritaria, no es menos importante contar con un staff de profesionales y técnicos que los apoyen en estas tareas. Es por todos reconocido que existe un fuerte envejecimiento y pérdida del personal de apoyo en todas las instituciones. El ingreso de nuevos técnicos es también difícil y comprensible por las restricciones económicas. No obstante, el plan estratégico tiene que incluir específicamente un programa de entrenamiento y formación de personal de apoyo con énfasis en la operación de equipamiento complejo y las operaciones embarcadas.

Ello trae aparejado el hecho reconocido que el personal militar que apoya en las operaciones científicas en los buques tripulados por la Armada Argentina carece del necesario entrenamiento y continuidad. Justamente esto último es la clave. La continuidad es un elemento esencial para poder adquirir experiencia. Es importante que el personal que tripule las embarcaciones de investigación (desde capitanes a marineros), hagan de estas plataformas su objetivo de trabajo; que conozcan a fondo las capacidades de cada buque, su instrumental, las condiciones meteorológicas adecuadas para lanzar uno u otro equipo, brindando seguridades en el cuidado de equipo y personal.

Finalmente, el presente informe ha sido una nueva oportunidad para evaluar la situación actual de la Oceanografía en la Argentina. Comparado con el informe de la Fundación Antorchas (2004) se observa una serie de cambios positivos. En particular, existe una mayor interacción entre los investigadores de todo el país, no se notan competencias innecesarias entre instituciones que marcaron muchos años de nuestra historia sino todo lo contrario. Consecuentemente, existe el ambiente adecuado para avanzar en el desarrollo del plan estratégico. La mayoría de los investigadores que lideran los grupos tienen conciencia de que el trabajo multi e interdisciplinario, fuertemente coordinado es el camino hacia el futuro. Sólo debemos establecer las herramientas para que ello sea un hecho.

Anexo Capítulo 8: Oceanografía

Listado alfabético de las revistas más importantes seleccionadas en las que publican investigadores argentinos en temas de Ciencias del Océano. El número original de revistas era de 89 de las cuales se seleccionaron aquellas donde más trabajos se detectaron y que además tuvieran una buena distribución de trabajos a lo largo de todo el período considerado.

1 ADVANCES IN SPACE RESEARCH
2 AQUATIC TOXICOLOGY
3 BIOLOGICAL INVASIONS
4 BULLETIN OF MARINE SCIENCE
5 CIENCIAS MARINAS
6 CONTINENTAL SHELF RESEARCH
7 CRUSTACEANA
8 DEEP-SEA RESEARCH PART II-TOPICAL STUDIES IN OCEANOGRAPHY
9 DIATOM RESEARCH
10 EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS
11 GEOMORPHOLOGY
12 GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS
13 HELGOLAND MARINE RESEARCH
14 HYDROBIOLOGIA
15 HYDROLOGICAL PROCESSES
16 JOURNAL OF APPLIED ICHTHYOLOGY
17 JOURNAL OF EXPERIMENTAL MARINE BIOLOGY AND ECOLOGY
18 JOURNAL OF FISH BIOLOGY
19 JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-OCEANS
20 JOURNAL OF MARINE SYSTEMS
21 JOURNAL OF MOLLUSCAN STUDIES
22 JOURNAL OF PLANKTON RESEARCH
23 JOURNAL OF SEA RESEARCH
24 JOURNAL OF SHELLFISH RESEARCH
25 JOURNAL OF THE MARINE BIOLOGICAL ASSOCIATION OF THE UNITED KINGDOM
26 LATIN AMERICAN JOURNAL OF AQUATIC RESEARCH
27 LIMNOLOGY AND OCEANOGRAPHY
28 MARINE BIOLOGY
29 MARINE ECOLOGY-PROGRESS SERIES
30 NAUTILUS

31 OECOLOGIA
32 OIKOS
33 PALAEOGEOGRAPHY PALAEOCLIMATOLOGY PALAEOECOLOGY
34 QUATERNARY INTERNATIONAL
35 REVISTA DE BIOLOGIA MARINA Y OCEANOGRAFIA
36 SCIENTIA MARINA
37 WATER RESEARCH
38 WATER RESOURCES RESEARCH
39 WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY

CAPÍTULO 9

PALEONTOLOGÍA

Coordinadora
Mirta Elena Quattrocchio
UNS, Bahía Blanca

Colaboradores
Jorge Calvo, UNComa, CONICET, Neuquén
Noelia Carmona, UNRN, CONICET, Río Negro
Andrea Concheyro, UBA, CONICET, Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Gabriela Cusminsky, UNComa, CONICET, Río Negro
Mercedes Di Pasquo, CONICET, Diamante
Francisco Goin, UNLP, CONICET, La Plata
Marcela Espinosa, UNMDP, CONICET, Mar del Plata
Georgina del Fueyo, MACN, CONICET, Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Edgardo Ortiz Jaureguizar, UNLP, CONICET, La Plata
Alejandro Zucol, CICYTTP (CONICET), Diamante

Agradecimientos

Se agradece a los investigadores que, de manera desinteresada, aportaron información a través de la encuesta para la realización del presente informe, y al personal de los diferentes organismos consultados.

METODOLOGÍA

Se realizó una encuesta de alcance nacional, destinada a los grupos de investigación que se desempeñan en instituciones científicas y tecnológicas. De esta manera, se logró caracterizar y medir las actividades y las capacidades científicas y tecnológicas, como así también identificar las demandas y necesidades para mejorar sus desempeños.

La encuesta se dirigió a un investigador formado de cada grupo de investigación, que se denominó contacto del grupo. Los colaboradores definieron los diversos grupos de investigación, procurando cubrir cada una de sus disciplinas, evitando en la medida de lo posible solapamientos. Se consideró "grupo de investigación" a un conjunto de investigadores activos, doctorandos y personal de apoyo, unidos por una temática de investigación común y un trabajo colaborativo que se mide en años. El sistema no permitió completar la encuesta a investigadores que no constituyen un grupo con un tamaño igual o mayor de tres integrantes, como es el caso de los que trabajan en dinosaurios, una especialidad destacada a nivel nacional e internacional. La información se obtuvo de otras fuentes (especialistas e instituciones).

No se dispuso de información oficial respecto a las Carreras de Grado donde se dicta la disciplina, los datos se obtuvieron mediante contactos personales y también se utilizaron las fuentes externas mencionadas en el Capítulo 1.

DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

La Paleontología es la ciencia que estudia los animales y las plantas que existieron en épocas geológicas pasadas y cuyos restos, huellas y otros indicios se encuentran en las rocas sedimentarias. A estos restos se les denomina fósiles y a sus rastros, icnofósiles. Desde sus comienzos ha abarcado tres grandes disciplinas: Paleontología de Invertebrados, Paleontología de Vertebrados y Paleobotánica. Los restos de plantas fósiles que habitaron sobre la tierra en el pasado geológico son estudiados por la Paleobotánica, ello incluye estructuras vegetativas (ramas con hojas, cutículas, leños) y reproductivas (conos, semillas, óvulos).

Con el advenimiento del microscopio se desarrolla la Micropaleontología, que se ocupa del estudio de los fósiles de pequeño tamaño, inferior a 1mm. Pueden ser restos de microorganismos unicelulares o pluricelulares, o elementos de pequeño tamaño que proceden del esqueleto de macroorganismos, tanto enteros como fraccionados (foraminíferos, radiolarios, ostrácodos, nanofósiles calcáreos, espículas de esponjas, etc.). Del mundo microscópico vegetal se ocupa en parte la Palinología, interesada principalmente en el polen y las esporas, y también algas unicelulares (dinoflagelados) y otros pequeños seres de posición sistemática incierta. Los icnofósiles o trazas fósiles, objetivo de la Icnología, son estructuras sedimentarias producidas biológicamente que evidencian la actividad de seres vivos (huellas, pisadas, rastros, orificios, perforaciones, etc.).

Interdisciplinas

La Paleontología es un área extremadamente compleja, que precisa del concurso de todas las ciencias naturales y otras ciencias, como la matemática.

La Paleobiogeografía o Biogeografía Histórica estudia la distribución espacial de los organismos, en este caso del pasado, incluyendo el análisis de los factores ecológicos e históricos que gobernaron su distribución.

La Paleobiología indaga las reglas generales que gobiernan a los procesos biológicos responsables de los estilos de vida de los organismos y de la apariencia y orden de la Biósfera. En esta tarea, los datos empíricos de la Paleontología son utilizados para testear hipótesis relativas a las leyes de la evolución orgánica.

La Paleontología Molecular se ocupa de las moléculas orgánicas, considerando la información bioquímica obtenida a partir de restos degradados de especies extintas de microorganismos, animales y plantas. Esta disciplina

ofrece grandes posibilidades de cara al futuro, con vistas a la utilización en Sistemática y Paleontología Evolutiva.

La Paleoclimatología estudia el clima en las diferentes épocas geológicas a partir de diferentes indicadores litológicos, paleontológicos, etc. Se destacan los registros provenientes de árboles objeto de la Dendrocronología.

La Paleoecología es la rama de la Paleontología que estudia las condiciones de vida y ambientes en que vivieron los seres en épocas geológicas pasadas. A pesar de las similitudes entre Paleoecología y Ecología, existen diferencias importantes entre ellas, determinadas por la propia naturaleza de los fósiles (desconocimiento del organismo original, imposibilidad de observar directamente los ecosistemas antiguos, consecuencias de la fosilización).

La Tafonomía es una subdisciplina imprescindible en todo trabajo paleoecológico. Se encarga del estudio de los procesos de fosilización y la formación de los yacimientos de fósiles. Se divide en dos campos principales: Bioestratinomía, que estudia los procesos ocurridos desde la producción de los restos o señales hasta el enterramiento o paso a la litosfera; y Fosildiagénesis, que estudia los procesos posteriores al enterramiento.

La Paleontología Cuantitativa aplica los conceptos estadísticos al conocimiento de las poblaciones fósiles.

La Bioestratigrafía, conocida también como Paleontología Estratigráfica, estudia la edad de las entidades paleobiológicas, su ordenación temporal y la datación de eventos bióticos del pasado. Es uno de los pilares de la Estratigrafía, la rama de la Geología que estudia las características físicas de los estratos terrestres y su sucesión cronológica, utilizando entre otros métodos el conocimiento de los fósiles que contiene.

La Paleopatología se refiere a las anormalidades debidas a enfermedades experimentadas en los animales del pasado.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

En la actualidad, la investigación en Paleontología ha alcanzado niveles de excelencia y encara temas interdisciplinarios excitantes y promotores de nuevas ideas y concepciones. La Argentina no escapa a esta situación mundial, y es así que la Paleontología ha sido considerada como un área de alto desarrollo dentro de las Geociencias en nuestro país, en un estudio de 431 áreas temáticas relevadas, publicado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación (1999).

Los temas de frontera están relacionados en las siguientes áreas:

La Paleontología Molecular, con el estudio quimiométrico de grupos funcionales de plantas fósiles y su aplicación en Tafonomía y Quimiotaxonomía.

La Biología, con la evolución y conservación de la biodiversidad, morfología funcional y ecomorfología focalizada en el tamaño del cuerpo, hábitat, dieta y fisiología digestiva en vertebrados.

La Paleoecología, con los estudios de los estomatocistes fósiles de Crisofíceas como paleomarcadores dentro de los estudios paleolimnológicos y la Icnología de ambientes con oxigenación reducida e interacciones entre matas microbianas y sustratos en ambientes continentales.

La Paleobiogeografía, con el estudio sistemático y filogenético de coníferas de linaje gondwánico y su importancia en un contexto evolutivo global y los quistes de dinoflagelados como indicadores de paleocirculaciones.

La Paleoecología y Paleoclimatología, con las reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas a través de estudios Palinológicos y Paleobotánicos.

ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

Corresponden a los jesuitas los primeros hallazgos de fósiles en el país a partir del siglo XVI. Hacia 1826, el Museo de Historia Natural de París envió a América del Sur, a Alcides Dessalines d'Orbigny (1802-1857) como naturalista viajero. Los resultados de sus observaciones (1835-1847) los publicó en *Voyage dans l'Amérique Méridionale*, obra compuesta de nueve volúmenes, uno de ellos dedicado a la Paleontología. El conocimiento geológico de la Patagonia nació con el viaje de Charles Darwin, quien residió en nuestro país entre 1833 y 1835. Cabe destacar la importante contribución de Francisco J. Muñiz (1793-1871), médico y naturalista considerado el primer paleontólogo argentino, dado que inició la colección de fósiles en las orillas del río Luján en lugares que, décadas más tarde, recorrería Florentino Ameghino.

Con posterioridad a los viajes de d´Orbigny y Darwin, el interés de la Patagonia volvió a manifestarse en la segunda mitad del siglo XIX. Esta etapa del renacimiento argentino se caracterizó por una brillante generación de jóvenes con fuerte vocación por el conocimiento de la naturaleza. Entre la generación de naturalistas se destacó Francisco P. Moreno, quien a los doce años de edad ya colectaba fósiles en los alrededores de Buenos Aires. Germán Burmeister (1807- 1892), después de realizar varios viajes a América del Sur durante 1857 y 1859, se radicó en Buenos Aires, y en 1862 fue designado Director del Museo de Historia Natural de Buenos Aires, actualmente Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. El Presidente Domingo Faustino Sarmiento lo consultó sobre la mejor manera de estudiar la naturaleza de nuestro país. Burmeister le aconsejó contratar científicos extranjeros especializados, quienes se desempeñaron en el ámbito de la Universidad Nacional de Córdoba, donde crearon, en 1869, la Academia Nacional de Ciencias, institución que lo contó como primer Director Científico.

Cabe mencionar aquí la creación del Museo General de La Plata por un decreto del Gobierno de la provincia de Buenos Aires el 19 de septiembre de 1884, sobre la base de un proyecto del coleccionista Francisco Pascasio Moreno (1852-1919) quien se desempeñó como Director hasta 1906. Las primeras colecciones provinieron del Museo Antropológico de Buenos Aires creado en 1877, con patrimonio donado por el propio Moreno. En 1906, el Museo, dirigido por Samuel Lafone Quevedo (1835-1920), pasó a depender administrativamente de la Universidad Nacional de La Plata, agregando a las funciones originales de exhibición pública e investigación, la de formación académica, bajo la denominación general de Instituto del Museo-Facultad de Ciencias Naturales. También se destaca el Museo Argentino de Ciencias

Naturales Bernardino Rivadavia cuyo origen se remonta al año 1812, creado por el Primer Triunvirato, a instancias de Bernardino Rivadavia. La Colección Nacional de Paleovertebrados y la Colección Ameghino son las colecciones paleontológicas más antiguas de nuestro país y poseen una gran relevancia patrimonial, histórica y cultural; lo mismo sucede con la Colección Nacional de Paleoinvertebrados, Paleobotánica y Paleopalinología. La madurez lograda en el conocimiento paleontológico y bioestratigráfico durante el siglo XX, justificó la creación de la Asociación Paleontológica Argentina, en el año 1955 y la publicación del primer número de Ameghiniana.

Los investigadores de Paleobotánica y Palinología de la Argentina se reúnen periódicamente en el Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología. La historia de estas Reuniones Científicas en Argentina se remonta a la ciudad de Córdoba, entre el 28 y 30 de septiembre de 1978 donde con la coordinación del Dr. Mario Hünicken se realizó la III Convención Argentina de Paleobotánica y Palinología organizada por la cátedra de Paleontología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba y auspiciada por la Academia Nacional de Ciencias. En esta reunión se efectuó un homenaje al paleobotánico argentino, Dr. Federico Kurtz, autor del Atlas de Plantas Fósiles de nuestro país (1921).

Por otra parte, un fuerte impulso a la Paleobotánica se dio en el Museo de Ciencias Naturales de La Plata, donde J. Frengüelli desarrolló, en las décadas de 1930 y 1940, investigaciones sobre materiales paleozoicos y triásicos. En tanto, en el Museo de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, ya en la década de 1950, el Dr. Carlos A. Menéndez introdujo nuevas técnicas de análisis cuticular de fósiles mesozoicos y los primeros estudios paleopalinológicos de material paleozoico. La creación de la cátedra de Paleobotánica en la Universidad Nacional de La Plata a fines de 1950, con su primer profesor Dr. Pedro Stipanicic, inició el desarrollo de la disciplina, la que continúa hasta nuestros días en esa institución. En el año 1970, su sucesor, el Dr. Sergio Archangelsky, publicó los *Fundamentos de Paleobotánica*, primer texto universitario de la materia en español.

Este breve y quizás incompleto panorama del área en la Argentina puede ampliarse consultando las obras de Ottone (2001) y Camacho, H. (2008) *Invertebrados Fósiles. Tomos I y II. Fundación Natural Félix de Azara: Universidad Maimónides*, 800 p., Buenos Aires.

Estado de las disciplinas e interdisciplinas

En los últimos años, se destaca el avance de la Icnología en nuestro país que, junto con Canadá, es uno de los países con mayor número de icnólogos. El

Primer Congreso Internacional de Icnología (ICHNIA) se realizó en la ciudad de Trelew en el año 2004. En la actualidad, los trabajos realizados en los diferentes ambientes continentales sirven de referencia mundial. Son también muy valiosos los aportes neoicnológicos, información fundamental para una adecuada interpretación del registro fosilífero.

En la Paleontología de Vertebrados, en las investigaciones sobre Mamíferos, se refleja la influencia del cladismo como paradigma de los estudios sistemáticos. Se desarrollan nuevas temáticas (por ejemplo paleoneurología, paleohistología, biomecánica, determinación de parámetros ecológicos tales como la masa corporal y la dieta) de la mano de unos pocos pero pujantes grupos de investigación. La aplicación de técnicas de búsqueda e identificación de nanomamíferos, incrementaron el conocimiento de grupos hasta entonces mal conocidos, por su escasa representación en el registro. El inicio de los abordajes tafonómicos, no sólo mejoraron la calidad de la información disponible en los yacimientos, sino que también exploraron el valor intrínseco de dicha información. Con respecto a los reptiles ha crecido enormemente en los últimos años especialmente el estudio de los dinosaurios. Los más antiguos del mundo provienen de la Formación Ischigualasto, provincias de San Juan y La Rioja, y el primer nido de dinosaurio conocido de la provincia de Santa Cruz. Argentina junto a América del Norte, China y Mongolia poseen una variadísima fauna de dinosaurios. A partir de los años 80, numerosos graduados se capacitaron en el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, para luego establecerse en otras regiones y desarrollar nuevos grupos de investigación. Hoy estos grupos trabajan en Villa El Chocón, Plaza Huincul, Neuquén, General Roca, Trelew, Comodoro Rivadavia, Mendoza, Buenos Aires, La Plata, San Juan, La Rioja, Tucumán y San Luis. En el 4th International Paleontological Congress (Mendoza, 2014), en general, los temas argentinos se refieren a hallazgos recientes de nuevas especies, y los temas extranjeros a detalles de colecciones en museos y cladismo. La paleontología de anfibios y de peces se ha incrementado notoriamente en los últimos años. Con respecto a los anfibios las diferentes hipótesis filogenéticas, basadas tanto en caracteres morfológicos como moleculares, han abierto un nuevo panorama, enriqueciendo el análisis de su creciente registro fósil. En relación a las aves, la última década está signada por la aplicación y revisión explícita de las ideas actualistas y un incremento notable de especialistas y de publicaciones selladas por un cambio profundo en los paradigmas vigentes y esquemas cronológicos modificados. Actualmente las aves son consideradas como dinosaurios terópodos. Los estudios se dedican al análisis filogenético del vuelo. El desarrollo de nuevas técnicas, bases de datos y enfoques, destaca la potencialidad de trabajar previéndose la fusión de datos paleontológicos y neontológicos.

Con respecto a la Paleobotánica, los temas en pleno desarrollo por los

distintos grupos en Argentina están relacionados en su mayoría con la sistemática básica, cladismo, inferencias paleoclimáticas a través de caracteres morfológicos y anatómicos, del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. Con respecto a las angiospermas, la mayoría de los datos sobre origen, hábitat, radiación y diversificación, provienen mayormente de América del Norte; el Hemisferio Sur está menos estudiado y entendido. Sin embargo, el registro fósil de angiospermas de Argentina es abundante y posee información valiosa para resolver los planteos no resueltos. En el 4th International Paleontological Congress (2014), las presentaciones en Paleobotánica extranjeras se diferenciaron de las argentinas por el uso de nuevas técnicas de estudio en 3D a través de un micro-tomógrafo, las que permiten reconstrucciones de los fósiles de alta calidad.

Los estudios en Palinología están centrados en la Taxonomía y Bioestratigrafía del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. La aplicación de la evolución de las paleocomunidades vegetales para inferir paleoambientes e inferir los paleoclimas es tema de investigación de varios grupos del país (Buenos Aires, Bahía Blanca, Corrientes, Diamante, Mar del Plata, Mendoza, Tucumán, entre otros). En los últimos 25 años se ha desarrollado el estudio de los quistes de dinoflagelados (Bahía Blanca), importante en la bioestratigrafía y especialmente aplicado a la exploración petrolera. Es de destacar también junto a otros indicadores de paleomicroplancton de pared orgánica su importancia en la determinación de paleosalinidades, las toxinas, el contenido de nutrientes y características físico-químicas de las masas de agua. El Laboratorio de Paleoecología y Palinología de Mar del Plata (LPP) es una unidad de investigación científica, especializada en los estudios de Palinología actual, en relación con la vegetación de la Palinología y Paleoecología del Cuaternario tardío. Es de destacar la aplicación de la palinología en estudios arqueológicos (CIT-Jujuy) para reconocer las paleocomunidades vegetales y paleoclimas del Holoceno. También se ha desarrollado el Análisis Palinofacial, principalmente en Bahía Blanca, que involucra el estudio de la materia orgánica palinológica total, de gran aplicación en la industria petrolera.

En Micropaleontología, durante las últimas décadas, los estudios de reconstrucción paleoecológicos muestran una tendencia a recabar en forma conjunta la información que brindan distintas subdisciplinas. Para el caso de los microrestos vegetales, sería la paleopalinología, el estudio fitolítico, de microcarbones, estomatocistes de chrysostomatáceas, diatomeas, entre otros; y para los de origen animal, las espículas de espongiarios y esferulitas de herbívoros. Estos grupos son de reciente formación e incluye jóvenes investigadores con el conocimiento de dos ó más subdisciplinas. Se considera un área de vacancia en nuestro país. El estudio de microfósiles en Arqueología, es un área relativamente reciente (unos 10 años de desarrollo) con poca inversión

aun en laboratorios y talleres de formación continuos. Es de importancia dado que la subdisciplina es básica para responder muchas de las preguntas arqueológicas relacionadas con alimentos, producción, conservación, consumo, dieta, etc. Los estudios de ostrácodos y foraminíferos realizados en el país se han enmarcado en aspectos paleoambientales, paleoclimáticos, paleoecológicos y bioestratigráficos tanto para ambientes continentales (ostrácodos) como transicionales y marinos (ostrácodos y foraminíferos). Una mención especial es el aporte que estos microfósiles pueden brindar a la prospección petrolera.

Si bien los estudios de estos microfósiles se han incrementado en los últimos años para secuencias del Mesozoico y Cenozoico, no es lo mismo para secuencias paleozoicas en donde una sola investigadora aborda el estudio de ostrácodos paleozoicos, por tal motivo esta área es un tema de vacancia en nuestro país. Asimismo la posible utilización de marcadores genéticos puede brindar una nueva perspectiva abriendo otro campo de investigación.

Las diatomeas son especialmente útiles en los estudios paleoambientales. En las últimas décadas, los estudios paleoecológicos con diatomeas realizados en Europa y Estados Unidos fundamentalmente, han pasado de ser predominantemente cualitativos y descriptivos a convertirse en una ciencia analítica y cuantitativa, mediante la cual es posible testear estadísticamente hipótesis críticas, relativas al impacto de los cambios ambientales sobre los sistemas acuáticos. Se han desarrollado numerosas de estas técnicas conocidas como funciones de transferencia, para las cuales es necesario contar con una base de datos actuales completa y representativa del rango probable de variación de los parámetros ambientales en el pasado. En Argentina y en Sudamérica existe muy poca información sobre distribuciones actuales de diatomeas, en relación a los parámetros ambientales que las condicionan y menos aún de métodos cuantitativos, aplicables a la interpretación de ambientes del pasado. En lo que respecta a temas precuaternarios, es un área de vacancia, ya que existe muy poca información sobre el tema en nuestro país.

En cuanto a la Paleontología de Invertebrados, solo algunos grupos fueron considerados. Los fósiles del Paleozoico Inferior de Argentina comprenden principalmente trilobites, braquiópodos y bivalvos. Los mismos jugaron un rol importante en el establecimiento de modelos paleogeográficos y posibles conexiones continentales. Con esta información se planteó un nuevo enfoque de la historia de las cadenas antiguas de nuestro país, postulándose nuevas hipótesis geodinámicas. El estudio de los amonites se halla íntimamente ligado al avance del conocimiento del Jurásico de la Argentina. El estudio sistemático básico de los bivalvos jurásicos argentinos propuso un esquema bioestratigráfico totalmente nuevo para el Jurásico sudamericano. Los bivalvos son objeto de estudios "multi-proxies" (tafonomía, paleoecología, paleobiogeografía, morfometría y esclerocronología) para evaluar los cambios ambientales y

climáticos durante el Cuaternario.

Las líneas de investigación actuales, han contribuido al esclarecimiento de la bioestratigrafía, paleogeografía y paleoclimatología del Terciario patagónico, de la filogenia y sistemática de algunos grupos de moluscos y equinodermos, y del origen de los moluscos actuales de Patagonia. Por la acción del Dr. Camacho junto a la colaboración de destacados especialistas en la disciplina, se publicó el libro *Los Invertebrados Fósiles*, de amplia difusión en las universidades latinoamericanas.

Durante los últimos cinco años, el 31% de los grupos de investigación encuestados han tenido trabajos en colaboración con argentinos residentes en el exterior. Mientras que el 69% han colaborado con investigadores extranjeros de universidades u otros organismos internacionales (*University of Saskatchewan*, Canadá; *Université Lyon*, Francia; *GNS Science*, Nueva Zelanda; UNISINOS, Brasil; *British Geological Survey*, Inglaterra; CICESE, Ensenada, México, entre otros).

El 28% de los grupos encuestados menciona que sus investigadores jóvenes, posdoctorandos o doctorandos, han realizado estadías de 3 a 8 meses en Alemania, Bélgica, Canadá, Italia, México o EEUU. El 66 % ha recibido pasantes, becarios o investigadores extranjeros en los últimos cinco años, entre 1 a 9 visitantes, mayormente de Latinoamérica (38%), seguido de Europa (14%), y América del Norte (14%). Solo el 10% indicó que su grupo había transferido desarrollos tecnológicos o asesorías a empresas o instituciones del sector energético, en los últimos cinco años y no declararon patentes.

Ante la pregunta de cuántos miembros de su grupo participan de la docencia universitaria de grado, 99% contestó afirmativamente con 1 a 7 integrantes. El 70% participa de la docencia universitaria de posgrado con 1 a 7 integrantes. Con respecto a los miembros de los grupos que participan de la docencia secundaria o terciaria no universitaria, 30% contestó afirmativamente. El 100% de los grupos participa en acciones de difusión y divulgación en escuelas y en la sociedad, con 1 a 6 miembros. Es de destacar el interés de los investigadores por hacer conocer el área, que comprende un universo apasionante y prácticamente desconocido para el público en general.

Áreas de vacancia

Con respecto a los temas de vacancia en Argentina, de acuerdo a la información proveniente de la encuesta y otras fuentes como congresos, jornadas, etc., se observa que en los últimos años la Paleontología Molecular ha logrado una particular importancia en el estudio del ADN fósil y su aplicación en la reconstrucción de genomas de grupos de organismos extinguidos hace millones de años. Sin embargo, esta disciplina, que a veces ha llegado a excitar la

imaginación de los especialistas y generado grandes expectativas en la sociedad, se encuentra en su fase preliminar de desarrollo en nuestro país. Se deberían promover proyectos interdisciplinarios entre botánicos y paleobotánicos en el tema de evolución y conservación de la biodiversidad.También es aún limitado el estudio de los hongos fósiles (FUNGI) como elementos importantes en la evolución temprana de la vida en la tierra, su diversidad y la interacción entre estos y las plantas y su aplicación en la interpretación de ambientes y climas del pasado.

Infraestructura y financiación

Se presentan a continuación los datos aportados por la encuesta. Se debe aclarar que solo 30 de los 100 grupos convocados la respondió.

El 90% de los proyectos de los grupos encuestados recibieron financiación de ANPCyT, el 86% deCONICET, el 69% de las universidades y de otras fuentes el 7%, en los últimos cinco años. Con respecto a la financiación por entidades internacionales, el 66% respondió en forma negativa y el 28 % en forma positiva (*The Wenner-Gren Foundation, National Geographic Society*). Con respecto a la financiación extranjera, el 3 % (1 proyecto) y el 7% (2 proyectos) han recibido menos de 10.000 U$D en los últimos cinco años; los mismos porcentajes recibieron entre 10.000 y 50.000 U$D; ningún grupo recibió entre 50.000 y 500.000 U$D y sólo el 3% más de 500.000 U$D en el último quinquenio.

El 70% de los encuestados menciona como prioritaria la falta de infraestructura, cuya debilidad fundamental es el espacio físico, que se comparte con integrantes de otros grupos y resulta limitante a la hora de incorporar nuevos becarios. En algunos casos las instalaciones son antiguas, obsoletas, carecen de mantenimiento periódico y no cumplen con varias normativas de seguridad e higiene laboral.

El 80% de los encuestados menciona la falta de equipamiento para guardar las colecciones, para el funcionamiento del laboratorio de petrotomía, para cortes y montajes de preparados etc. En algunos centros los equipos no han sido instalados o no están en funcionamiento debido a las deficiencias en la infraestructura (suministro de agua potable y electricidad insuficientes y obsoletos). No se verifica un mantenimiento y calibración periódicos de los equipos y faltan detectores de rayos gama en afloramiento. Para poder desarrollar nuevas líneas de investigación se debería adquirir un georadar y escaner laser 3D. Para los estudios geocronológicos (isótopos radiactivos) para dataciones absolutas, actualmente sólo se cuenta con el LATYR para realizar estudios de C14 pero tienen baja precisión y requiere alta cantidad de material a diferencia de lo que ofrecen otros laboratorios en el mundo a un mayor costo

por supuesto. Para Isótopos estables y dataciones radiocarbónicas por AMS son necesarios laboratorios, equipos y personal capacitado. Varias instituciones mencionan la carencia de vehículos para campañas.

El 80% menciona como problema básico la movilidad. Los fondos disponibles resultan insuficientes para afrontar los gastos de movilidad de todos los integrantes del grupo de trabajo, que deben utilizar fondos propios. Estos costos se incrementan cuando los lugares de muestreo están alejados. La movilidad con otros fines, tales como capacitaciones, participación en reuniones científicas y realización de comisiones de trabajo que no incluyan tareas de campo, no se encuentran subsidiadas por los proyectos marco ni por las instituciones de las que forma parte el grupo. Estos gastos deben ser cubiertos de manera independiente por parte de sus miembros. El 55% de los grupos encuestados menciona problemas de importación. La compra de equipos se ve dificultada en gran medida por ser en su mayoría importados, por lo cual su adquisición insume tiempo, dinero y esfuerzo por parte de los investigadores. Fuertes restricciones al uso de precursores por parte del SEDRONAR (con la consiguiente dificultad para la compra) y sobre todo con la importación de algunos productos químicos que no se producen en el país.

Producción científica argentina

La información referida al estado de la disciplina con respecto a países de Latinoamérica y del mundo se representa en una serie de gráficos con datos obtenidos a partir del censo y otras fuentes (SCImago, SCOPUS).

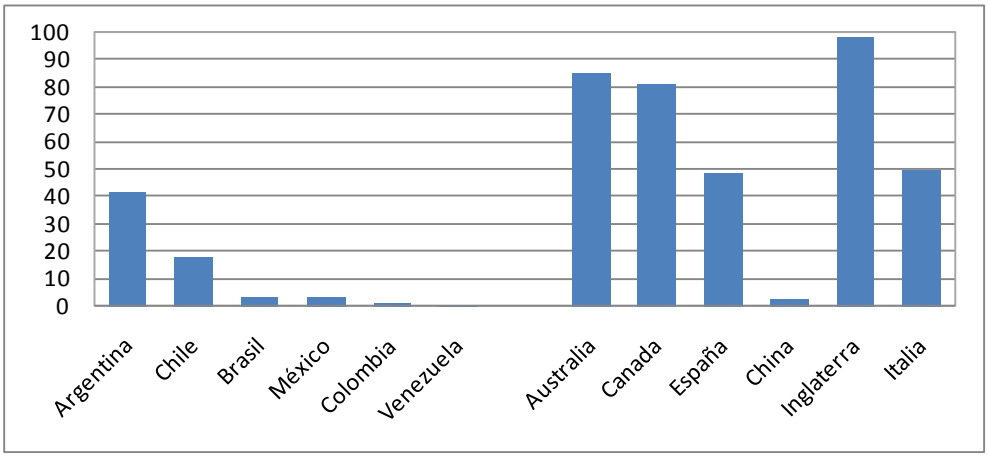


Gráfico 9.1. Número de artículos publicados, pesado por millón de personas económicamente activas, en el período 2008-2012. *Fuente*: SCImago, SCOPUS.

Del gráfico anterior se desprende que la productividad argentina en el período 2008-2012 de los investigadores del área es similar a la de los de España e Italia.

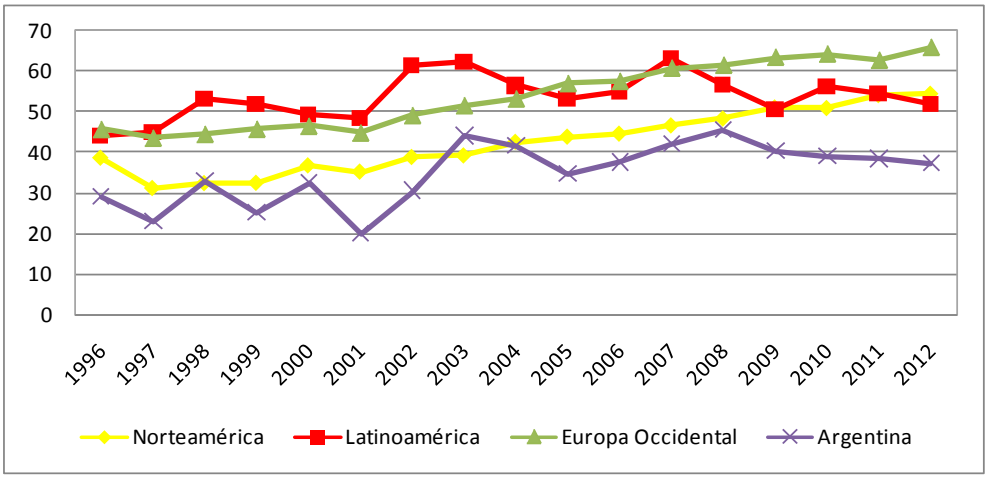


Gráfico 9.2. Porcentaje de artículos argentinos que incluyen autores de más de un país, comparado con las publicaciones latinoamericanas, norteamericanas y de Europa Occidental con más de un país. *Fuente*: SCImago.

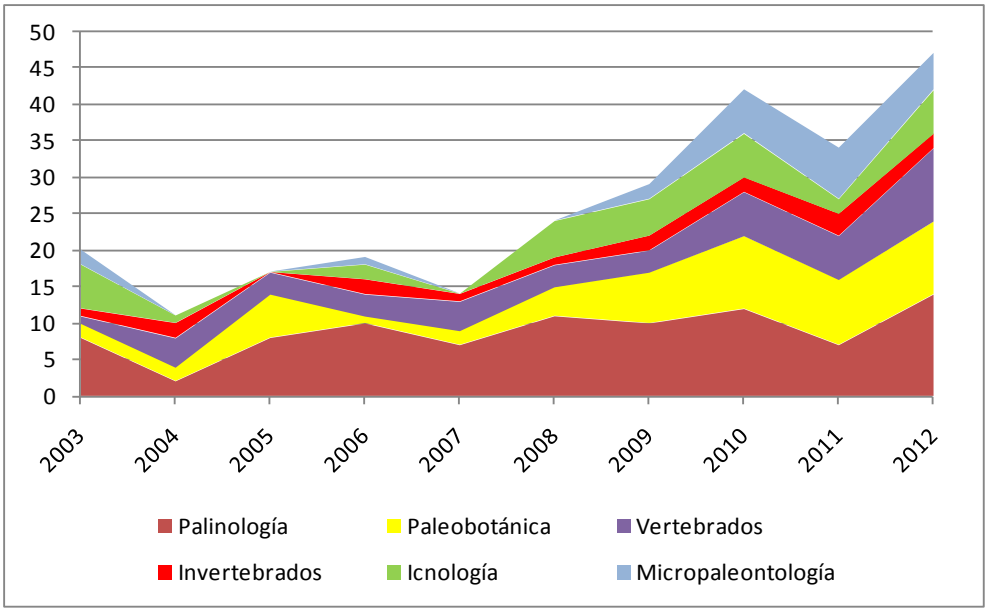


Gráfico 9.3. Cantidad total de artículos con autores argentinos en revistas indexadas, en diversas especialidades, para el lapso 2003-2012. *Fuente*: SCImago, SCOPUS.

Del análisis del Gráfico 9.3, evidenciamos que la subdisciplina con una producción relativamente elevada en el lapso analizado es la Palinología, seguida de la Paleobotánica, Vertebrados e Icnología. La mayor productividad de la Micropaleontología se da en el último quinquenio, 2008-2012.

De auerdo con un análisis de productividad por institución, durante el quinquenio 2004-2008 la mayor productividad corresponde a la Universidad de Buenos Aires, seguida por la Universidad Nacional de La Plata y la Universidad Nacional de La Pampa. Durante el quinquenio 2008-20012, la mayor productividad corresponde a la Universidad de Buenos Aires, seguida por la Universidad Nacional de La Plata, la Universidad Nacional de Córdoba y con igual representatividad la Universidad Nacional de La Pampa y la Universidad Nacional del Comahue. Siguen en importancia la Universidad Nacional del Nordeste y la Universidad Nacional del Sur.

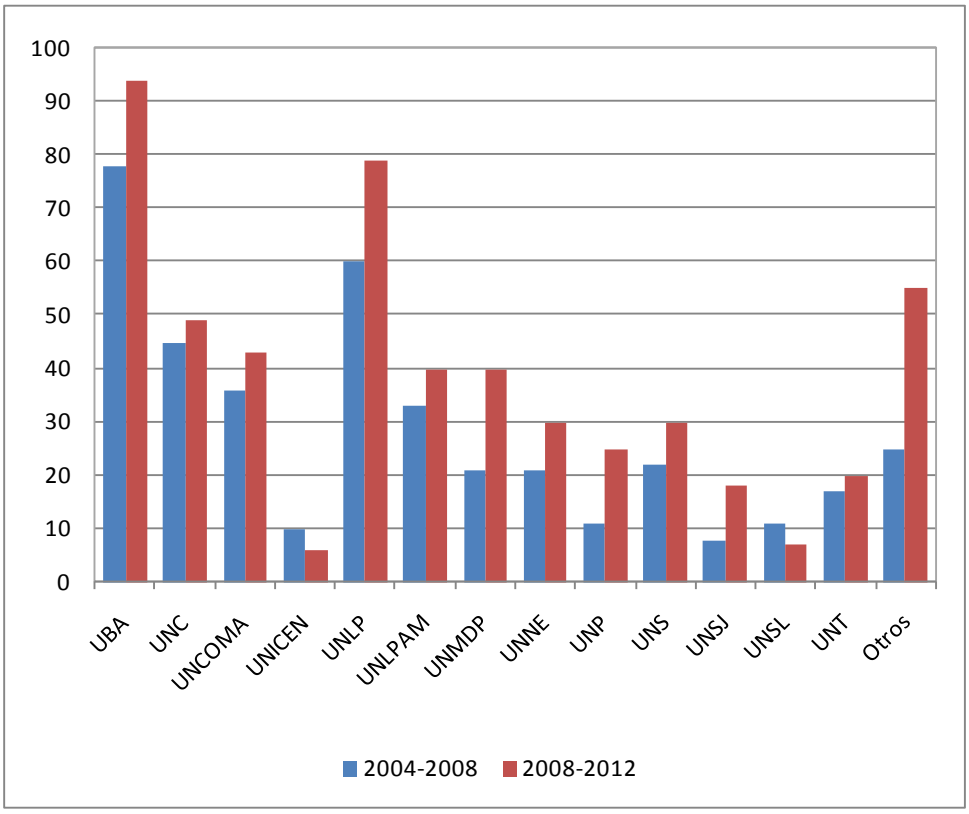


Gráfico 9.4. Producción científica por institución. Períodos 2004-2008 y 2008-2012. *Fuente*: RICyT.

Se presenta en el gráfico 9.5 el total de investigadores del área. Esta información es sesgada, ya que solo incluye datos del CONICET (banco de investigadores y de evaluadores externos). Son 181 los investigadores registrados. Se detallan por provincias, excepto en el caso de las ciudades de Bahía Blanca, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, La Plata y Mar del Plata, por su relativamente elevado número de investigadores.

A continuación se detalla su distribución por provincias o ciudades y por disciplinas o interdisciplinas:

Bahía Blanca, 6 en Palinología y 1 en Vertebrados.

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 5 en Invertebrados, 4 en Micropaleontología, 3 en Paleobotánica, 9 en Palinología y 16 en Vertebrados .

Córdoba, 14 en Invertebrados y 2 en Vertebrados.

Corrientes, 1 en Paleobotánica y 1 en Vertebrados.

Chubut, 1 en Icnología, 4 en Invertebrados, 2 en Paleobotánica y 9 en Vertebrados.

Entre Ríos, 1 en Micropaleontología, 1 en Palinología y 5 en Vertebrados.

La Pampa, 1 en Icnología, 1 en Invertebrados y 1 en Vertebrados.

La Plata, 9 en Invertebrados, 1 en Micropaleontología, 2 en Paleobotánica y 27 en Vertebrados.

La Rioja, 2 en Invertebrados, 1 en Paleobotánica y 1 en Vertebrados .

Mar del Plata, 2 en Micropaleontología, 2 en Palinología y 3 en Vertebrados.

Mendoza, 1 en Tafonomía, 1 en Quimiotaxonomía, 5 en Palinología y 4 en Vertebrados.

Neuquén, 1 en Micropaleontología, 1 en Palinología y 2 en Vertebrados.

Río Negro, 1 en Micropaleontología, 1 en Icnología, 2 en Invertebrados y 6 en Vertebrados.

Salta, 2 en Vertebrados.

San Juan, 1 en Invertebrados y 2 en Vertebrados .

San Luis, 2 en Vertebrados.

Tierra del Fuego, 1 en Invertebrados, 1 en Paleobotánica,2 en Palinología y 4 en Vertebrados.

Tucumán, 2 en Palinología, 4 en Vertebrados, 1 en Invertebrados y 1 en Paleobotánica.

De esto se desprende que Bahía Blanca (UNS) se destaca en la disciplina Palinología. La ciudad de Buenos Aires (UBA y Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, principalmente) sobresale en Vertebrados seguido de Palinología y Paleobotánica, mientras Córdoba (principalmente CICTERRA), en Invertebrados. Las provincias de Chubut (CENPAT, Museo Egidio Ferruglio y otros Museos), Entre Ríos, Río Negro, Mendoza, Tucumán y las ciudades de Mar del Plata y La Plata, se destacan en Vertebrados.

Excepto en los grandes centros de investigación, la Micropaleontología, la Paleobotánica y la Icnología registran déficit de investigadores. Se destaca que no se han censado los becarios y doctorandos, por lo cual, la información respecto al desarrollo de las disciplinas es parcial.

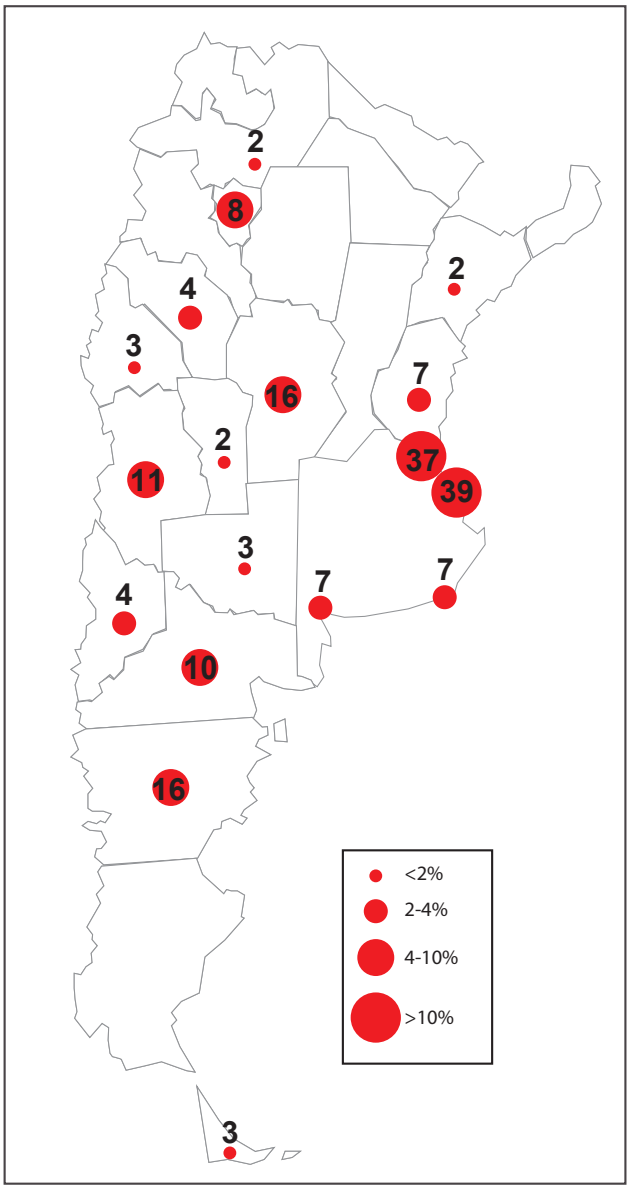


Gráfico 9.5. Cantidad de investigadores de la disciplina en el país. *Fuente*: CONICET.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El 50% de los grupos entrevistados ha formado en los últimos diez años de 2 a 6 doctores. El 82% de ellos se desempeña en el Sistema Científico Nacional. De este total, el 79% lo hace en universidades. Solo el 1% de los graduados desarrolla actividad científica o tecnológica en el extranjero.

En Argentina, cuatro universidades ofrecen una formación de grado específica en Paleontología. Estas son la Universidad Nacional de La Plata (Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Licenciatura en Biología orientación Paleontología), la Universidad de Buenos Aires (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Licenciatura en Paleontología), la Universidad Nacional de Río Negro (Sede Alto Valle, Licenciatura en Paleontología) y recientemente se ha agregado la Universidad Nacional del Nordeste (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Licenciatura en Biología orientación Paleontología). Por otra parte, otras universidades ofrecen carreras de Geología y Biología. Estas carreras también son un pilar importante en la formación de grado de los paleontólogos del país.

Incumbencia profesional

La Ley Nacional 25.743 de Protección del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico establece que los yacimientos paleontológicos son de dominio del Estado, y que su defensa, estudio y conservación son de interés público. Así lo entienden distintas leyes provinciales a la luz de la mencionada Ley Nacional. En este contexto, los egresados paleontólogos tendrán incumbencias en las actividades relacionadas con la aplicación de esta ley. Como perito judicial de parte o de oficio en la determinación, valoración y origen de fósiles a pedido de la justicia competente, en la aplicación de las leyes vigentes.

SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS

La madurez lograda en el conocimiento paleontológico y bioestratigráfico, durante el siglo XX, justificó la creación de la Asociación Paleontológica Argentina (APA) el 25 de noviembre de 1955. Es una organización científica no gubernamental (ONG), cuyas actividades están orientadas primordialmente al ámbito nacional. Desde 1957 edita una revista especializada que, en conmemoración del ilustre sabio argentino Florentino Ameghino, lleva por nombre Ameghiniana. Además, publica volúmenes especiales en la Publicación Especial de la APA. De esta manera, se canalizan los resultados de las investigaciones realizadas por investigadores argentinos y extranjeros en todos los campos de la Paleontología, tanto en sus enfoques académicos como aplicados. El Premio al Mérito Paleontológico se otorga para distinguir a todos aquellos individuos que hayan trascendido por la calidad de sus trayectorias, la fecunda labor en favor del conocimiento y difusión de la Ciencia Paleontológica.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y CONGRESOS ARGENTINOS

En 1864 apareció *Anales del Museo Público de Buenos Aires*, la primera y más antigua publicación científica argentina. Su objetivo era dar a conocer las investigaciones originales de los naturalistas argentinos y el incremento de las colecciones del Museo. En 1999 el Museo decidió modernizar la publicación de sus series tradicionales e inició una nueva y única serie, con el nombre de *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*. En el año 2000 decidió iniciar una nueva serie, *Monografías del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, para publicar trabajos extensos, como revisiones sistemáticas, síntesis geológicas, floras, faunas.

Las Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados (JAPV) nacieron en 1984 como respuesta a la necesidad de los paleontólogos de vertebrados de crear un foro de discusión específico, donde poder intercambiar experiencias, discutir ideas, planificar actividades conjuntas y conocer el desarrollo de la disciplina en el país. Los Congresos Latinoamericanos de Paleontología de Vertebrados, reúnen a más de 300 trabajos científicos cada tres años (Ortiz-Jaureguizar y Posadas, 2010).

Por último se menciona el Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, un evento académico que se realiza cada cuatro años en distintas partes del país y que reúne a todos los cultores de la Paleontología de Argentina. En el mismo participan no sólo paleontólogos sino también biólogos y geólogos que realizan estudios pertinentes al campo de la Paleontología. El primer congreso se realizó en la ciudad de Tucumán en el año 1974. En el año 2014, Argentina (Mendoza) fue sede del *4th International Paleontological Congress*.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estado del área paleontológica con respecto a Latinoamérica es muy bueno, así como su posicionamiento con respecto al mundo. La riqueza fosilífera del país, que documenta el origen y evolución de la vida, la convierte en un valioso archivo natural del pasado paleontológico del planeta.

El prestigio alcanzado a nivel latinoamericano y mundial se debe al grado de formación de los profesionales, la continua incorporación de nuevos becarios e investigadores, el incremento en los fondos para la investigación principalmente del CONICET, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y Universidades, el establecimiento de mayores vínculos con investigadores e instituciones y el desarrollo de nuevos centros de investigación en el interior del país. También se destaca el impacto que ha tenido la legislación de protección al patrimonio fosilífero en la dinámica de crecimiento de colecciones paleontológicas de nuestro país.

En cuanto a la aplicabilidad de los estudios paleontológicos, la mayoría de los encuestados señaló a la Paleoecología y a la Paleoclimatología como las disciplinas más relevantes. Gran parte de los grupos del área trabajan en Taxonomía y en Bioestratigrafía; esta última es el pilar básico de la Estratigrafía de la Geología. Los estudios bioestratigráficos a partir de microfósiles son también importantes en la generación de hidrocarburos e indispensables en la identificación y exploración de reservorios.

Los estudios de trazas fósiles en la caracterización paleoambiental y en los estudios de estratigrafía secuencial constituyen una de las ramas de la Icnología que ha experimentado mayor avance en los últimos años, en especial en el campo de la industria del petróleo, ya que constituye una herramienta de alta resolución en la caracterización de reservorios. Para la aplicabilidad de los estudios paleontológicos mencionados en la energía, tema estratégico del Plan Argentina Innovadora 2020, es de fundamental importancia la participación de icnólogos en proyectos multidisciplinarios, como los que se están desarrollando en la Iniciativa Pampa Azul o el Buque ARA Puerto Deseado (Q-20), para una adecuada caracterización de la Plataforma Submarina Argentina, tal como se realiza en otras partes del mundo, como en el Mar de la China. Al ser la Icnología una disciplina en plena expansión, es lógico pensar que hay muchas áreas que podrían reforzarse en Argentina. Por ejemplo, es fundamental expandir y generar capacitación para el estudio icnológico de testigos corona. Por otro lado, sería muy importante reforzar los lazos entre los icnólogos que trabajan en sucesiones tanto marinas como continentales con los biólogos que trabajan en ambientes actuales análogos; resultan de extrema importancia los

datos icnológicos para los análisis de paleobiología evolutiva (por ejemplo, en las sucesiones que involucran el límite Precámbrico-Cámbrico).

El cambio global es el tema principal que conduce las investigaciones actuales de la comunidad científica del Cuaternario, centradas en la reconstrucción climática del pasado. El conocimiento de los cambios ambientales del pasado y la significación de las actividades humanas en los cambios actuales así como el grado de tolerancia de los ambientes se realiza a través de estudios paleoambientales interdisciplinarios (diferentes proxies).

A pesar del enorme esfuerzo realizado hasta el presente en describir, catalogar y entender la Biodiversidad que nos rodea, todavía es parcial el conocimiento que tenemos sobre los organismos con los cuales compartimos el planeta Tierra. Ante el panorama de la pérdida de especies, más el desconocimiento taxonómico, en este proyecto se sugiere la promoción de proyectos interdisciplinarios entre botánicos y paleobotánicos en el tema de evolución y conservación de la biodiversidad. Los estomatoquistes, fósiles de Crisofíceas poseen el potencial necesario para llegar a ser una herramienta muy útil dentro de los estudios paleolimnológicos, sin embargo, se necesitan más investigaciones en laboratorio con organismos vivos para poder identificar qué tipos de quistes producen. Esto es de gran importancia para que este tipo de microfósiles silíceos se consoliden como paleomarcadores de utilidad dentro de las investigaciones paleolimnológicas.

El estudio de los microfósiles en Arqueología, es una disciplina relativamente reciente (unos 10 años de desarrollo) con poca inversión aun en laboratorios y talleres de formación continuos. Sería muy importante apoyarla, dado que la disciplina es básica para responder muchas de las preguntas arqueológicas relacionadas con alimentos, producción, conservación, consumo, dieta, etc. Las investigaciones paleobiológicas, relacionadas con paleoneurología, paleohistología, biomecánica, determinación de parámetros ecológicos tales como la masa corporal y la dieta, son desarrollados sólo por algunos grupos de paleontólogos de vertebrados. Son estudios frontera, tal como consta de la evaluación de los trabajos presentados en el 4th International Paleontological Congress (Mendoza, 2014). Se considera un área de vacancia relativa en el país.

En Argentina y en Sudamérica existe muy poca información sobre distribuciones actuales de diatomeas en relación a los parámetros ambientales que las condicionan y menos aún de métodos cuantitativos aplicables a la interpretación de ambientes del pasado. Es mucho lo que queda aún por hacer en esta disciplina, para lo cual es necesario contar no solo con recursos económicos, sino también con recursos humanos. En lo que respecta a temas precuaternarios, es un área de vacancia, ya que existe muy poca información sobre el tema en nuestro país.

La mayoría de los grupos encuestados menciona como debilidades la falta

de equipamiento, infraestructura y movilidad. Problemas de importación y compra de drogas por la limitante del SEDRONAR.

No es viable realizar estudios geocronológicos confiables en el país. Falta equipamiento para estudios de isótopos estables y dataciones radiocarbónicas por AMS. Son necesarios laboratorios, equipos y personal capacitado.

Del análisis de las comparaciones realizadas entre Argentina y otros países latinoamericanos se desprende que nuestro país los supera en producción científica y ocupa un nivel importante con respecto a Europa y Asia. Las colaboraciones con otros países se realizan principalmente con Latinoamérica seguido de Europa Occidental.

El conocimiento sobre la Geología y Paleontología de la Antártida ha ido creciendo paralelamente a la realización de las sucesivas expediciones geográficas (iniciadas ya a principios del siglo XIX). El registro de publicaciones en revistas indexadas (ISI *web of Science*), muestran que la contribución de la República Argentina a la ciencia antártica ha mantenido un sostenido crecimiento desde al menos 1980. Para el intervalo 1980-2004 ocupaba el 12º lugar con una contribución del 1,7%, y en el intervalo 2005-2007 el lugar 11 con una contribución del 2,84% de las publicaciones totales. Asimismo, de las 2837 organizaciones de todo el mundo que han contribuido con publicaciones antárticas, el Instituto Antártico Argentino ocupa un meritorio 25 lugar.

Los Proyectos aprobados y financiables por la ANPCyT-DNA (PICTO) (Ejecución Campañas 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015) y por CONICET, y la producción científica (publicaciones científicas 2003-2009 de los Proyectos del Instituto Antártico Argentino), se refieren principalmente a la Micropaleontología, Palinología, Invertebrados (ammonites y bivalvos) y Vertebrados (mamíferos, reptiles principalmente dinosaurios y aves). Otra subdisciplinas subordinadas son la Paleobotánica e Icnología. Sus aplicaciones corresponden a la Bioestratigrafía, Paleoecología, Paleoclimatología y Tafonomía. Los grupos de investigación dependen principalmente del Instituto Antártico Argentino, de la Universidad de Buenos Aires, CADIC (Ushuaia), CICyTTP-CONICET (Entre Ríos), del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, de la Universidad Nacional de La Plata, de la Universidad Nacional de Río Negro y SEGEMAR. Los grupos de investigación mencionados han contribuido al conocimiento de la evolución de la vida de la Antártida con descubrimientos impactantes para la ciencia, como por ejemplo los restos de un pingüino gigante de 34 metros de altura. De la consulta a la Dra. María Cecilia Amenabar (Dirección Nacional del Antártico, Departamento de Paleontología) debería incorporarse el estudio de quistes de dinoflagelados del Cenozoico (Palinología) con sus implicancias paleoclimáticas y paleoceanográficas e incrementarse los estudios paleobotánicos para avanzar en el conocimiento de los ecosistemas terrestres y paleoclimas del pasado antártico.

CAPÍTULO 10
QUÍMICA

Coordinadores
Alejandro Olivieri
Ernesto Mata
UNR, IQUIR (CONICET-UNR), Rosario

Colaboradores
Marcelo Avena, UNS, INQUISUR (CONICET), Bahía Blanca
Gustavo Rivas, UNC, INFIQC (CONICET-UNC), Córdoba
Raul Carbonio, UNC, INFIQC, Córdoba
Dante Martínez, UNSL, INQUISAL (CONICET-UNSL), San Luis
Andres Thomas, UNLP, INIFTA (CONICET-UNLP), La Plata
Ernesto Marceca, UBA, INQUIMAE (CONICET-FCEN-UBA),
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Mariano Correa, UNRC, Río Cuarto
Héctor Goicoechea, UNL, Santa Fe
Aída Ben Altabef, UNT, INQUINOA (CONICET-UNT), Tucumán
Gabriel Radivoy, UNS, INQUISUR (CONICET), Bahía Blanca
Carola Gallo, UBA, CIHIDECAR (CONICET), Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Alicia Peñeñory, UNC, INFIQC (CONICET-UNC), Córdoba
Ricardo Furlán, UNR, Rosario
Marcela Kurina, UNSL, INTEQUI (CONICET-UNSL), San Luis
Edgardo Durantini, UNRC, Río Cuarto
Georgina Tonarelli, UNL, Santa Fe
Luis Bruno Blanch, UNLP, La Plata
Susana Borkosky, UNT, Tucumán

Agradecimientos

Los coordinadores del Área Química agradecen la ayuda recibida para la elaboración del presente informe de parte de los científicos de diversas subdisciplinas de la química y de diferentes áreas geográficas de nuestro país que fueron designados como colaboradores, que aportaron valiosas ideas y sugerencias, y revisaron las versiones preliminares; de los investigadores que respondieron a las encuestas, compartiendo sus inquietudes y preocupaciones con la comunidad científica; y del personal de las diferentes instituciones que proveyeron parte del material estadístico que da sustento al informe, como se menciona a lo largo del texto.

METODOLOGÍA EMPLEADA

A fin de identificar aspectos importantes de la problemática relacionada con la investigación científica en química en el país (tamaño, conformación y distribución geográfica de los grupos de investigación, fuentes de financiación, colaboración internacional, etc.), así como de indagar en la percepción y opinión de la comunidad científica sobre algunos problemas generalizados en este ámbito (carencias en apoyo económico o infraestructura), además de utilizar las fuentes externas mencionadas en el Capítulo 1, se preparó una encuesta *ad-hoc* consistente en aproximadamente una decena de preguntas. La encuesta fue enviada a un número aproximado de 300 investigadores, considerados como líderes de grupos de investigación en la disciplina química, y fue completada por alrededor de un 30 % del total de los encuestados. Las respuestas recibidas fueron analizadas y sus resultados se detallan en las secciones temáticas correspondientes.

DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

Disciplinas

Química Orgánica

La Química Orgánica o química del carbono es la rama de la química que estudia una clase numerosa de moléculas que contienen carbono formando enlaces covalentes carbono-carbono, carbono-hidrógeno y carbono-heteroátomos, incluyendo su síntesis, caracterización estructural y el análisis de sus propiedades físicas y químicas.

Química Inorgánica

La Química Inorgánica estudia, de manera análoga a la Orgánica, las entidades atómicas o moleculares no compuestas por átomos de carbono (a excepción de algunas de pocos átomos).

Fisicoquímica

La Fisicoquímica aporta los conceptos fundamentales y los principios sobre los cuales se construye la Química, y estudia los fenómenos que involucran a los sistemas químicos. Hace uso de modelos matemáticos que permiten realizar predicciones cuantitativas, enfatizando la conexión entre el mundo atómico/molecular y los fenómenos macroscópicos. Incluye el estudio de las reacciones que sufren las especies químicas, ya sea en solución, en fase sólida o gaseosa, y en superficies interfaciales.

Química Analítica

La Química Analítica es una subdisciplina de carácter metrológico, que produce métodos y herramientas apropiadas para obtener información acerca de la composición y estructura de la materia, a través de medidas instrumentales de calidad asegurada, que estén relacionadas con la concentración de los diversos componentes de una muestra.

Cada una de estas disciplinas, a su vez, puede dividirse en un conjunto de sudisciplinas, como se menciona a continuación. Merece notarse que la Química Biológica y la Tecnología Química no están incluidas en el presente informe.

Subdisciplinas incluidas

Espectroscopía y Fotoquímica
Espectrometría Atómica y de Masas
Cromatografía
Electroquímica
Cinética y Catálisis
Superficies
Nanoquímica
Química Teórica y Computacional
Química Supramolecular
Química Ambiental
Materiales
Productos Naturales
Fisicoquímica Orgánica
Química Orgánica de Síntesis
Química Medicinal y Bioorgánica
Análisis Estructural de Moléculas Orgánicas
Química de Compuestos Organometálicos
Metalómica y metabolómica
Biocatálisis

Fuentes: Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP, España), Sociedad Argentina de Investigaciones en Química Orgánica (SAIQO).

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

La Química es una ciencia central en toda empresa vinculada con el carácter fundamental de los materiales, sus interacciones y el modo en que cambian bajo ciertas condiciones. Su notable éxito en este contexto ha modificado radicalmente la vida humana sobre la tierra: sin la química no habría automóviles, aviones o naves espaciales; no se habrían desarrollado la actual electrónica de telefonía celular y televisión, ni la medicina contemporánea de prótesis biocompatibles y trasplantes de órganos.

Gran parte de las ciencias experimentales y naturales están basadas en el lenguaje molecular de la Química, que permite construir y manipular moléculas, medir y predecir sus propiedades, modelar su comportamiento y aplicarlo a la producción de materiales con propiedades predefinidas, al reconocimiento molecular y al diseño de dispositivos para la detección e identificación de especies químicas.

Áreas económico-sociales que necesitan de un conocimiento a nivel molecular para su desarrollo, y en los que la Química juega un rol significativo son las de materiales, energía, ambiente, alimentos y salud.

El diseño de nuevos materiales requiere del manejo de componentes moleculares en sistemas químicos integrados, que utilizan principios fisicoquímicos para copiar a la naturaleza en cuanto al concepto de organización, y pueden extenderse a dispositivos tan variados como los de liberación controlada de compuestos bioactivos, perfusión transcutánea en parches o biosensores no invasivos para la medición de glucosa. En la electrónica existe una amplia gama de compuestos químicos con conductividades eléctricas comparables a los metales, o incluso superconductores y existe la posibilidad concreta de reemplazar los circuitos fabricados con metales y semiconductores por moléculas individuales, usando cables moleculares para las conexiones. En el terreno de los polímeros, pueden fabricarse plásticos con propiedades específicas como disolución en agua, consumo por microbios, resistencia similar al acero, conducción eléctrica, contracción y/o flexión similar a la de un músculo humano.

Al multiplicarse las demandas energéticas globales, se hará urgente la búsqueda de nuevas formas de energía. Posibilidades concretas son: las celdas de combustible de hidrógeno-oxígeno, que generan agua como único subproducto, resultan más eficientes que los motores de combustión interna, son limpias y silenciosas y liberan menos CO2; y la captura y conversión de energía solar a través de celdas solares, que emplean materiales absorbentes de luz y la almacenan en forma de energía química o la convierten en electricidad.

En los últimos años, se ha tomado conciencia del impacto del uso de compuestos químicos sobre el ambiente. La Química puede contribuir en este contexto mediante la detección específica y sensible de contaminantes, el modelado de la especiación e interacción de especies en diferentes ecosistemas, la remediación de ambientes contaminados y el rediseño de procesos productivos. Este último aspecto incluye, entre muchos otros, el reemplazo de solventes orgánicos por extracción supercrítica y la búsqueda de alternativas al uso de cloro. Como criterio general del compromiso de la química con el cuidado del ambiente, se propone el desarrollo de procesos limpios, con menor o ningún uso de solventes o reactivos tóxicos, recurriendo si es posible a reacciones en fase sólida y/o biocatalizadas, evitando residuos tóxicos, generando sustancias inocuas para la salud humana y el ambiente, disminuyendo el gasto de energía, usando materias primas renovables y fabricando productos químicos que, al final de su vida útil, no persistan en el ambiente.

En el área agroalimentaria, la Química participa de la síntesis y el estudio de la degradación de agroquímicos (fertilizantes, pesticidas, etc.) y en el aumento del valor agregado de los recursos naturales. La extracción supercrítica y la hidrogenación de aceites son ejemplos del uso de nuevas tecnologías que aporta la Química. También cumple un importante papel en el desarrollo de nuevos métodos de producción de alimentos, y en la detección, identificación y cuantificación de sus componentes, productos de degradación, conservantes, aromatizantes, saborizantes y adulterantes de origen químico.

En el área de la salud sobresalen los adelantos en síntesis orgánica, en química de productos naturales y en química organometálica, así como también el desarrollo de nuevas metodologías para acelerar la producción de compuestos, lo que incrementa significativamente las posibilidades de descubrir nuevos medicamentos. Se destacan además las nuevas técnicas de control de calidad farmacéutica, y de control o monitoreo de fármacos en fluidos biológicos, para optimizar la acción farmacológica y minimizar los riesgos de toxicidad o sobredosis.

Finalmente, debe mencionarse el área educativa, donde la enseñanza de la Química por profesionales con activa experiencia en investigación es de gran importancia. Dada la capacidad de la Química de interpretar los fenómenos del mundo material en el nivel molecular, su relevancia y conexiones con áreas científicas y económico-sociales son múltiples. Es importante no encasillar al químico en sus habilidades o incumbencias específicas, desconociendo el moderno desarrollo científico que es básicamente interdisciplinario. Lo que diferencia a un químico de otros profesionales es su capacidad para comprender y manipular moléculas, medir y predecir sus propiedades, modelar su comportamiento y aplicar este conocimiento a problemas tales como la generación de nuevos medicamentos y materiales con propiedades

predefinidas, el diseño de dispositivos para reconocimiento molecular, el desarrollo de procesos químicos menos contaminantes, la remediación de problemas ambientales, la medición específica y sensible de componentes químicos en mezclas complejas, etc.

ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

La Asociación Química Argentina ha publicado, en 2011, el excelente libro La Química en la Argentina[1], que detalla la historia de la propia asociación, la de diferentes instituciones argentinas de base química (centros e institutos de investigación y algunas industrias), así como la de los inicios de la química en nuestro país. Las primeras actividades químicas de la América colonial estuvieron relacionadas con la minería y la farmacia, aunque también se desarrollaron, ya en el ámbito del Río de la Plata, otros emprendimientos industriales, como la fabricación de jabón y de materiales de construcción (ladrillos, cal, etc.). Si bien hay varios nombres asociados de algún modo con los inicios de la disciplina en nuestro país, el más importante es el de Tadeo Haenke. Nacido en el Imperio Austro-Húngaro en 1761, estudió matemática, astronomía, medicina y botánica en Praga y Viena, llegando a América en una expedición científica en 1789. Recorrió varios países sudamericanos, y realizó investigaciones principalmente sobre minerales, junto con un sinnúmero de actividades de orden geográfico, astronómico, botánico y médico. Otros pioneros de relevancia en la historia de la química en Argentina son los médicos Miguel O'Gorman, Cosme Argerich y Manuel Moreno, quienes impulsaron con firmeza y dedicación la enseñanza de la disciplina durante las últimas décadas del Virreinato del Río de la Plata, hasta finales de la guerra de la independencia. A fines del siglo XIX y comienzos del XX, se destacan las actividades realizadas por Pedro N. Arata, Luis C. Guglialmelli y Enrique V. Zappi en el campo de la química orgánica, el primero dedicado al descubrimiento de productos naturales y los dos restantes a la síntesis de sustancias orgánicas.

Las investigaciones químicas comenzaron a desarrollarse en forma continua y con una masa significativa de personal entrenado a partir de la creación, a fines de la década de 1950, de cargos con dedicación exclusiva en las Universidades Nacionales, y de instituciones como el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Este último ha financiado y continúa financiando la creación de laboratorios de química, la compra de equipamiento y reactivos y, fundamentalmente, el otorgamiento de becas, imprescindibles para el desarrollo y mantenimiento de una actividad permanente en investigación en todas las disciplinas, y particularmente en Química. En esta última, existe una dependencia significativa de las fuentes de financiación, debido a la necesidad de contar con equipamiento y reactivos

1 La Química en la Argentina, Directora Lydia Galagovsky, Asociación Química Argentina, 1ra. edición, Buenos Aires, 2011.

químicos de alto costo para desarrollar una química competitiva a nivel mundial. A partir de la creación de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), se ha aportado una nueva fuente de financiación a través de distintos instrumentos, como los Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica (PICT), Proyectos de Modernización de Equipamientos (PME), Programa de Áreas Estratégicas (PAE), entre otros. Si bien el aporte incluye insumos y becas, el impacto más significativo de estos instrumentos ha sido en el mejoramiento del equipamiento de mediano y alto costo.

Dentro de las áreas principales de la Química, la Química Orgánica estuvo en principio relacionada con la Química de Productos Naturales. En las últimas décadas, sin embargo, la Síntesis Orgánica y la Fisicoquímica Orgánica adquirieron un desarrollo que las transformaron en las disciplinas de mayor avance, en concordancia con las tendencias a nivel mundial. El alto costo de los medios tecnológicos necesarios, especialmente espectrómetros de masa y de resonancia magnética nuclear (RMN), hace que sea muy difícil realizar investigaciones en Química Orgánica en laboratorios que no posean un equipamiento mínimo.

La Fisicoquímica y la Química Inorgánica han logrado un buen grado de desarrollo en nuestro país, a juzgar por el número de investigadores, grupos de trabajo, calidad de las publicaciones y producción científica general a lo largo de al menos las últimas cinco décadas. La problemática general de acceso a instrumentación científica sofisticada y de alto costo también afecta a estas disciplinas de la química, tal como se expresó en relación con la Química Orgánica.

En cuanto a la Química Analítica, su desarrollo en términos equivalentes a los de las restantes disciplinas es relativamente reciente. Un indicador elocuente es la creación de la asociación que nuclea a científicos de esta disciplina en 1999, cuando las asociaciones hermanas de las restantes disciplinas llevaban ya décadas de consolidación. No obstante, la disciplina analítica muestra un buen grado de desarrollo en la actualidad.

Un listado de los temas principales de investigación en Química incluye la síntesis y estudio de las propiedades de nuevos materiales (polímeros, meso y nanopartículas), cinética y mecanismos de reacción en sistemas complejos, procesos fotoquímicos, espectroscopía básica y aplicada, química supramolecular, modelado computacional de sistemas de diversa complejidad (incluyendo sistemas biológicos), estudio y síntesis de productos naturales, compuestos orgánicos de diseño y metalofármacos, con actividad biológica y farmacológica (descubrimiento y diseño de fármacos), metodologías sintéticas via catálisis organometálica y biocatálisis, mecanismos de reacción, desarrollo de metodologías analíticas cromatográficas y espectroscópicas/espectrométricas para determinación de analitos de interés biológico, farmacológico, ambiental

e industrial. En muchos de estos casos se siguen los lineamientos de la química sustentable o "verde". Según datos del año 2012, el CONICET cuenta con 424 investigadores en Química (en todas las áreas y categorías), cifra que crece hasta 591 si se agrega el personal universitario no perteneciente a CONICET pero registrado en el Sistema Nacional de Incentivos a Docentes Investigadores en las categorías I y II (Gráfico 10.1, donde "Formados" indica Investigadores Adjuntos o categorías superiores, y "Jóvenes" indica Investigadores Asistentes).

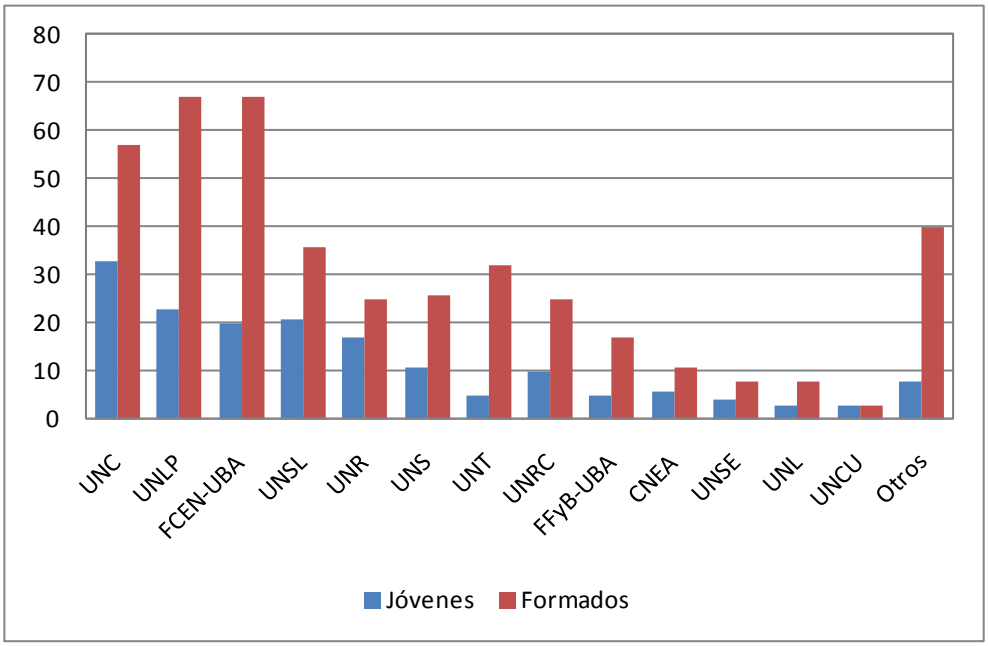


Gráfico 10.1. Investigadores en Química de CONICET y Categorías I y II de Incentivos incluidos en la base de especialistas de CONICET según el lugar de trabajo.

Grupos de trabajo

Las principales laboratorios donde se llevan a cabo investigaciones en Química se encuentran en la Universidad de Buenos Aires (Facultades de Ciencias Exactas y Naturales y Farmacia y Bioquímica), las Universidades Nacionales de Córdoba (Facultad de Ciencias Químicas), de Rosario (Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas), de San Luis (Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia), La Plata (Facultad de Ciencias Exactas), Río Cuarto (Facultad de Ciencias Exactas, Físico Químicas y Naturales), del Sur (Departamento de

Química), de Tucumán (Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología y Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia), del Litoral (Facultad de Ingeniería Química y Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas), de Mar del Plata (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Facultad de Ingeniería) y de Santiago del Estero (Facultad de Agronomía y Agroindustrias). Existe además un número creciente de Institutos de CONICET (la mayoría de doble dependencia con las respectivas Universidades) cuyo objetivo es el desarrollo de la Química en general o disciplinas específicas de la misma: el Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE), la Unidad de Microanálisis y Métodos Físicos Aplicados a Química Orgánica (UMYMFOR), el Centro de Investigación en Hidratos de Carbono (CIHIDECAR) de la UBA, el Centro de Química Inorgánica (CEQUINOR) y el Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) de la UNLP, el Instituto de Química Rosario (IQUIR) de la UNR, el Instituto de Investigaciones en Fisicoquímica de Córdoba (INFIQC) de la UNC, el Instituto de Química San Luis (INQUISAL) y el Instituto de Investigaciones en Tecnología Química (INTEQUI) de la UNSL, el Instituto de Química del Noroeste Argentino (INQUINOA) de la UNT y el Instituto de Química del Sur (INQUISUR) de la UNS. También se registra una importante actividad en instituciones no universitarias como la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA, Unidad de Actividad Química), Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF, ex-CITEFA) e Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Si bien se ha logrado expandir la investigación en ciencias químicas a distintas regiones del país, existe una evidente concentración en los centros tradicionales, que se relaciona con su trayectoria en la disciplina. En este sentido, se realizan algunas recomendaciones en las conclusiones del presente informe.

De acuerdo con los resultados de las encuestas, los grupos de investigación en el Área están constituidos por 1 o 2 investigadores formados (equivalentes a Investigador Adjunto de CONICET o categorías superiores), y un número similar de investigadores jóvenes (equivalentes a Investigador Asistente de CONICET), un becario postdoctoral y entre 2 y 4 becarios doctorales. Si bien estos datos son sólo parciales, ya que la encuesta no fue respondida por todos los investigadores consultados, puede apreciarse una estructura más piramidal respecto de la situación reinante 10 o 15 años atrás, en que los grupos tenían, por lo general, un número muy bajo de becarios e investigadores jóvenes. La insuficiencia de personal técnico es un reclamo bastante generalizado entre los investigadores del Área; la mayoría de los encuestados manifiesta no tener personal técnico en su grupo, lo que, sin embargo, puede deberse a que no consideran como propio al personal técnico de su Instituto. Por otro lado, la asignación de personal de apoyo a los CCT en lugar de a los Institutos hace dificultoso determinar la relación entre este personal y los investigadores..

Las encuestas realizadas han permitido identificar numerosas áreas de vacancia en la disciplina Química en nuestro país. Se destacan las siguientes:

Fisicoquímica y Química Inorgánica. Estudios que requieren luz de sincrotrón, conversión de la energía solar, llaves fotónicas, LEDs, dispositivos de quantum dots, nuevos catalizadores, materiales termoeléctricos, sensores, semiconductores orgánicos, dinámica estructural ultrarrápida con resolución espacial a nivel atómico y temporal en el ámbito de los femtosegundos.

Química Teórica. Dinámica electrónica y no-adiabática, cálculo de estados excitados, diseño de fármacos asistido por computadora.

Química Analítica. Desarrollo de (nano) sensores portátiles para trabajo de campo, Espectrometría de Movilidad Iónica (IMS), metabolómica y proteómica, análisis de isótopos estables, plataformas analíticas miniaturizadas: micro-chip, cromatografía bidimensional y de fluidos supercríticos.

Química Orgánica. Catálisis (organometálica, organocatálisis y biocatálisis), nanoquímica, síntesis orientada a la diversidad y a la función, química bioinspirada, síntesis ambientalmente benigna, electrosíntesis, polímeros y materiales compuestos, química bioorgánica con aplicación en bioconjugación, sondas químicas, líquidos iónicos, marcación de proteínas, etc., química en flujo y en microrreactores, química supramolecular (monocapas, bicapas, micelas, complejos enzimáticos y lipoproteínas, sistemas moleculares de autoensamblaje).

Infraestructura y financiación

En relación con la financiación de la investigación en Química, los Proyectos de Investigación Plurianuales (PIP) constituyen una herramienta con la que el CONICET financia los trabajos de investigación presentados por los miembros de su Carrera del Investigador Científico y Tecnológico que revistan en cualquiera de sus categorías. Mientras las convocatorias han sido esporádicas en tiempos anteriores, se ha logrado una continuidad anual desde 2009. En la disciplina Ciencias Químicas se han financiado 39 proyectos en 2000 ($660.000 en total), 199 en 2005 ($13.635.300), 54 en 2009 ($9.775.920), 52 en 2010 ($5.706.900), 31 en 2011 ($2.364.800) y 68 en 2012 ($3.136.781).

El gráfico 10.2 muestra la evolución de la inversión en Química por parte de la ANPCyT, en términos de subsidios de tipo PICT, que básicamente aportan montos equivalentes a los actuales PIP de CONICET para grupos de investigación de varios investigadores, aunque también incluye la posibilidad de contratar becarios doctorales o posdoctorales.

Otra herramienta de financiación de la ANPCyT son los Proyectos de Modernización de Equipamientos (PME), que están dirigidos a la adquisición

o mejora del equipamiento y a la modernización de la infraestructura de Laboratorios o Centros de I+D pertenecientes a Instituciones públicas o privadas radicadas en el país. La última convocatoria fue realizada en el año 2006, donde se otorgaron $15.808.000 en la disciplina Ciencias Químicas.

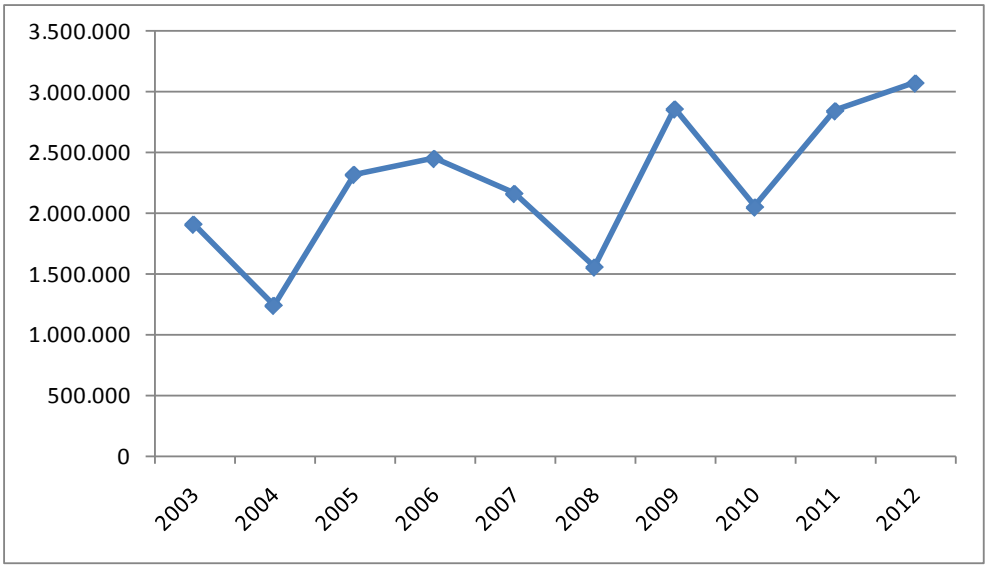


Gráfico 10.2. Evolución del financiamiento de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) a través de los Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica (PICT) en el área Ciencias Químicas entre los años 2003 y 2012 (expresado en dólares estadounidenses).

A partir de las encuestas realizadas entre investigadores del área, se refleja la preocupación de los distintos grupos por los problemas de infraestructura y financiamiento de compra de equipamiento e insumos en general, así como los relacionados con la importación de material desde el exterior, que está también íntimamente vinculada a la adquisición de equipamiento e insumos. Muchos investigadores sugieren implementar llamados del tipo PME, mantener y fortalecer la compra de equipamiento mayor de uso común, bajo la consigna de que este beneficie a la mayor cantidad de investigadores posible, tales como espectroscopías de infrarrojo, rayos X, magnética nuclear y paramagnética electrónica, entre otras, nuevas microscopías, espectrometría de masas, etc., sin olvidar el financiamiento para la compra de equipamiento específico, necesario para el desarrollo de temáticas novedosas y de frontera.

Si bien con la reciente creación de las Plataformas por parte del MINCyT se ha adquirido equipamiento, su acceso aún es limitado para el usuario en

general. En relación con el desarrollo de temáticas de vacancia en nuestro país, se sugiere realizar una fuerte inversión en equipamiento mayor (tecnologías de espectrometría de masas-espectroscopía iónica, imágenes, metabolómica-, espectrometrías atómicas por plasma acoplado inductivamente y espectrometría de masas, herramientas de microfabricación, técnicas para caracterización de nanomateriales, construcción de un acelerador de partículas, calorímetro de titulación isotérmica, de barrido, equipos de flujo detenido o stopped flow, resonancia plasmónica, equipamiento para síntesis y análisis de moléculas de alta velocidad de procesamiento, resonancia magnética nuclear de alto campo, espectroscopías de superficie y de absorción de rayos X, etc.). Se sugiere además la extensión de los sistemas nacionales, como el de resonancia magnética y microscopía a otros equipamientos, contemplando además políticas dirigidas a colaborar en el mantenimiento de los mismos.

Las encuestas mencionadas permitieron obtener información valiosa en relación con las prioridades y necesidades insatisfechas en los grupos de investigación. Entre las opciones que incluyó la encuesta (falta de infraestructura, falta de equipamiento, falta de financiamiento, problemas de importación, falta de recursos humanos y otras necesidades), las preocupaciones prioritarias fueron las dos primeras: falta de equipamiento e infraestructura. Los encuestados otorgaron menor prioridad a la falta de financiamiento y problemas de importación, y en términos generales indicaron que la disponibilidad de recursos humanos no es problemática. Algunos investigadores incluyeron, en calidad de necesidades adicionales, la falta de personal de apoyo, la baja tasa de regreso de los estudiantes posdoctorales desde el exterior, el tiempo de demora en recibir los fondos acordados en los subsidios y los insumos comprados en el extranjero, así como la existencia de pocos grupos de trabajo en subdisciplinas afines.

Es importante destacar la implementación de la Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología, que brinda a los investigadores argentinos acceso, desde las instituciones habilitadas y a través de internet, al texto completo de más de 17.000 títulos de revistas científico-técnicas, 9.000 libros, 5.000 estándares y a bases de datos referenciales. Si bien es un avance sustancial respecto del pasado, en Química resulta insuficiente, dada la falta de acceso a las publicaciones de la Royal Society of Chemistry y a revistas puntuales de gran impacto como *Angewandte Chemie, Int. Ed. Engl*.

Producción científica argentina

De acuerdo con la base de datos SCImago, la producción científica argentina en Química registra un incremento sostenido en los últimos quince

años, pasando de 602 publicaciones en 1996 a 946 en 2012. Como puede apreciarse en el Gráfico 10.3, el número de artículos publicados en las diferentes subdisciplinas de la química ha mantenido una contribución relativa más o menos invariable durante los últimos diez años. Debe hacerse la salvedad de que un mismo artículo puede ser considerado en más de una subdisciplina, por lo que los números totales no reflejan el número total de trabajos.

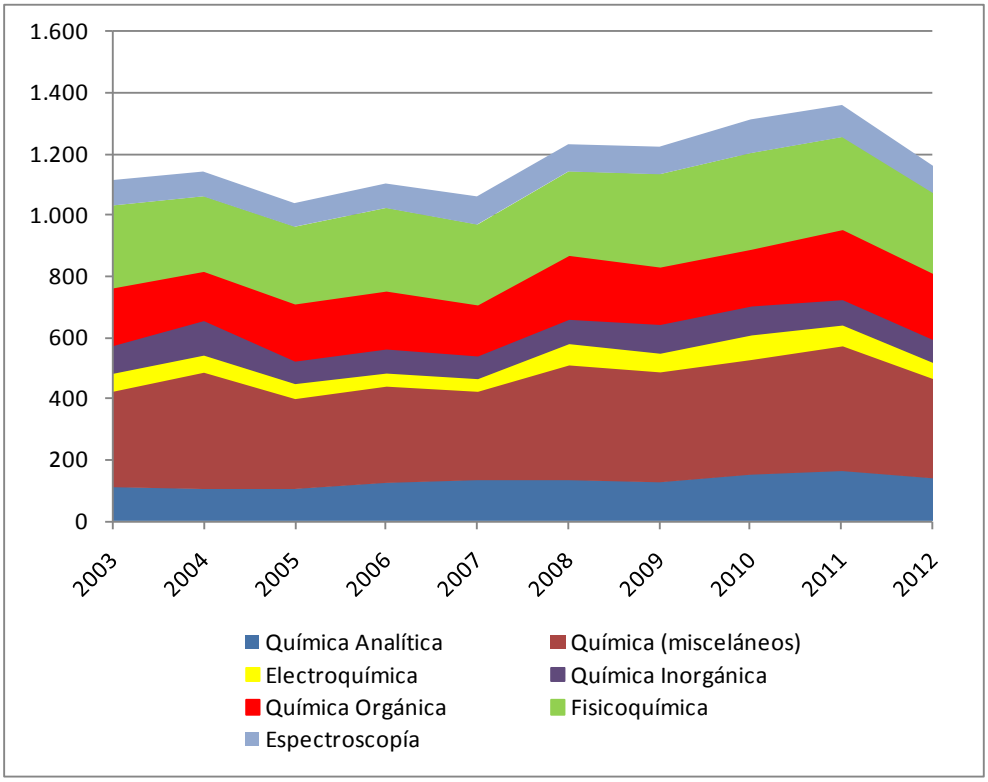
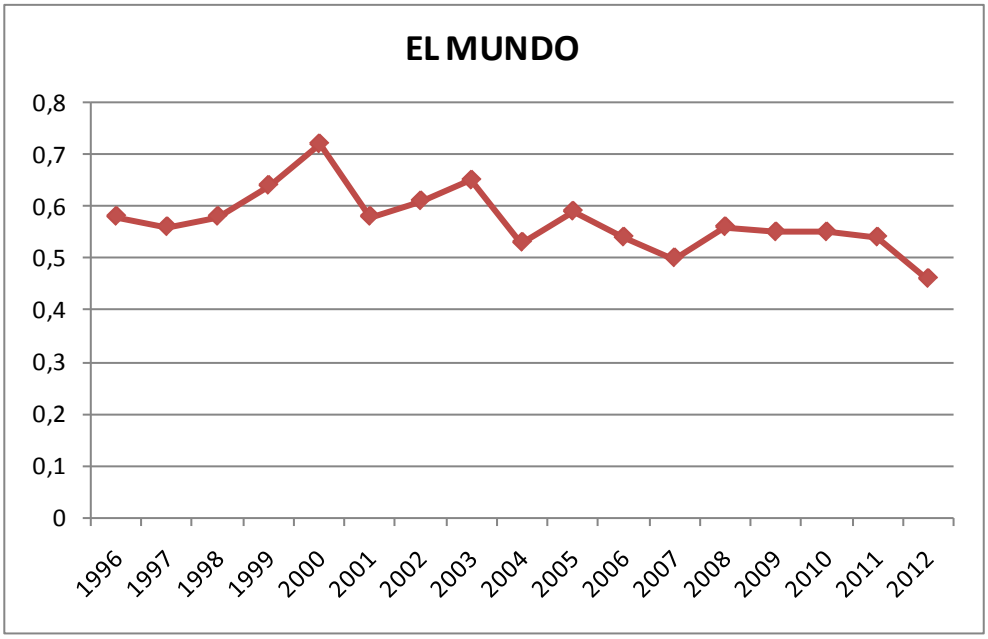
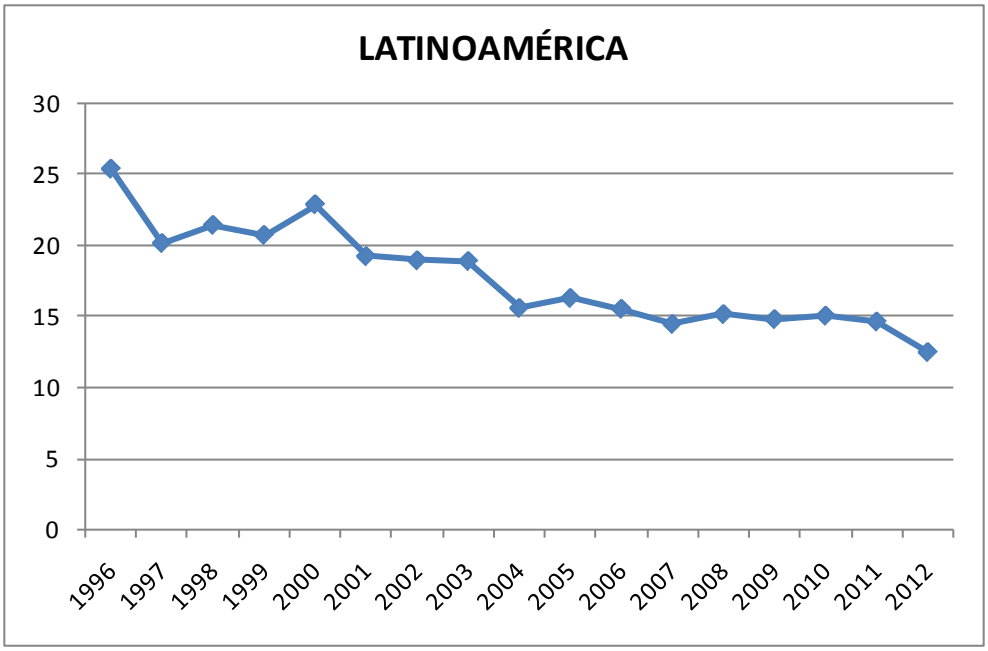


Gráfico 10.3. Cantidad total de artículos con autores argentinos en revistas indexadas, en diversas especialidades, para el lapso 2003-2012. *Fuente:* SCOPUS y SCImago.

En cuanto al porcentaje de publicaciones realizadas por químicos argentinos en relación con las publicaciones totales realizadas en todo el mundo en los últimos 15 años, aquel se ha mantenido entre 0,7 y 0,45 %, con una cierta tendencia hacia la disminución de 2010 en adelante. Y respecto de la contribución relativa al resto de Latinoamérica, se advierte una disminución clara de alrededor del 10%, la que debe atribuirse principalmente al notable aumento de la producción científica de Brasil (que pasó del 34 al 52%) y también de Colombia (que se incrementó del 1,2 al 4,8%). (Gráficos 10.4).





Gráficos 10.4. Porcentaje de artículos con autores argentinos con respecto al total mundial y latinoamericano en el período 1996-2012. *Fuente*: SCImago.

De acuerdo con datos aportados por la RICyT, entre las instituciones con mayor producción científica en química se destacan la Universidad de Buenos Aires y la CNEA, tanto en el quinquenio 2003-2007 como en 2008-2012 (Gráfico 10.5). Le siguen la Universidad Nacional de La Plata, la Universidad Nacional de Mar del Plata, la Universidad Nacional de Córdoba, la Universidad Nacional del Sur y la Universidad Nacional de Rosario.

Estas siete instituciones concentran aproximadamente el 75% de las publicaciones nacionales. En general, se aprecia un incremento generalizado en el número total de publicaciones en el último quinquenio (15% en el total), aunque sin cambios significativos en la producción relativa de las distintas instituciones. Debe hacerse aquí también la salvedad de que estos datos tienen en cuenta la institución referida en las publicaciones y, dado que puede haber más de una institución por artículo, los números totales no reflejan el número total de trabajos.

En relación con la producción científica de los países latinoamericanos más representativos, se advierte claramente el despegue de Brasil con respecto de los demás países. Mientras en 1996 el número de artículos en revistas científicas de investigadores de nuestro país y de Brasil era bastante similar, en 2012 ese número para Brasil casi cuadruplica el de la Argentina. México ha tenido un incremento mayor de publicaciones que Argentina en estos últimos quince años, y actualmente se ubica por encima de nuestro país. Chile ha incrementado el número total de publicaciones en una proporción similar al de Argentina, mientras que Venezuela ha disminuido levemente el número de publicaciones por año.

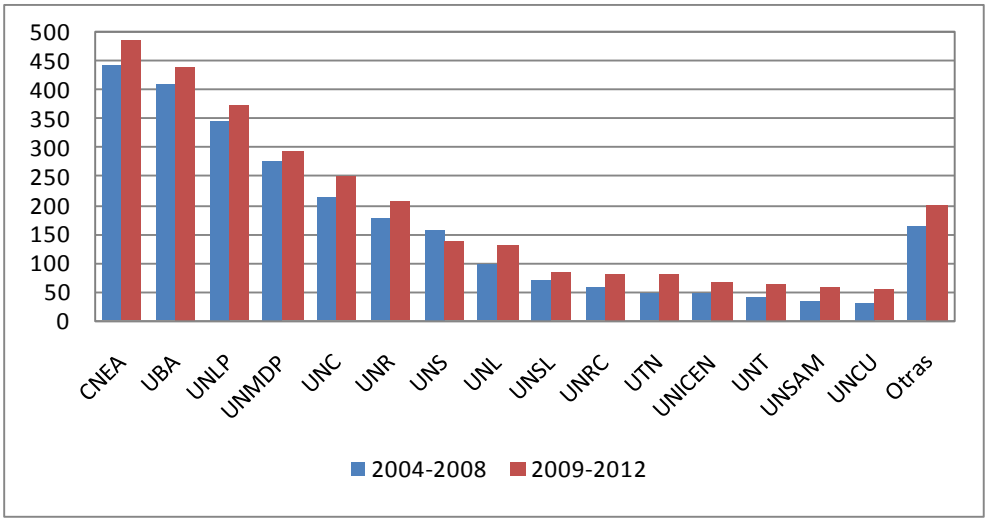


Gráfico 10.5. Número de publicaciones realizadas por institución. Períodos 2004-2008 y 2009-2012. *Fuente*: RICyT.

En cambio, si se normaliza el número de artículos por población económicamente activa, nuestro país se establece como el segundo más productivo dentro los países antes mencionados, detrás de Chile. (Gráfico 10.6).

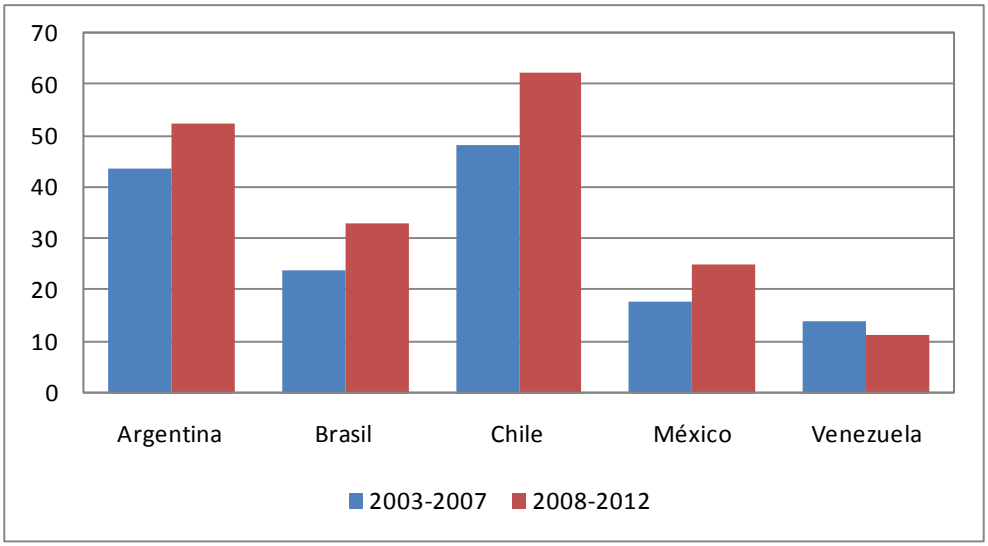


Gráfico 10.6. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuentes*: SCImago y Banco Mundial.

Por otro lado, se seleccionaron, además de los países pertenecientes a Latinoamérica, países de la Comunidad Europea (España, Italia, Francia y Reino Unido), de Norteamérica (Canadá y Estados Unidos), de Asia (China) y Oceanía (Australia). Como es de esperar, la producción científica de estos países es muchísimo mayor a la de la Argentina.

Con el fin de realizar un análisis comparativo de la situación del área en cuanto a la producción científica, se normalizaron los datos sobre una base común, como lo es la población económicamente activa. Como indicadores de la producción científica en química se tomaron las publicaciones realizadas por investigadores de cada país en el período 2003-2012 (Gráfico 10.7). Se aprecia una clara diferencia a favor de estos países, salvo obviamente China, debido a su gran población. Para casi todos los países analizados, la producción en 2008-2012 fue superior a la del quinquenio anterior, pero las tasas de incremento no fueron iguales. China ha incrementado el número de publicaciones en un 81%, seguido por Australia (46%), México y Brasil (40 y 37%). La tasa de incremento de Argentina es, de todos modos, importante (20%) y es similar a la del resto de los países desarrollados.

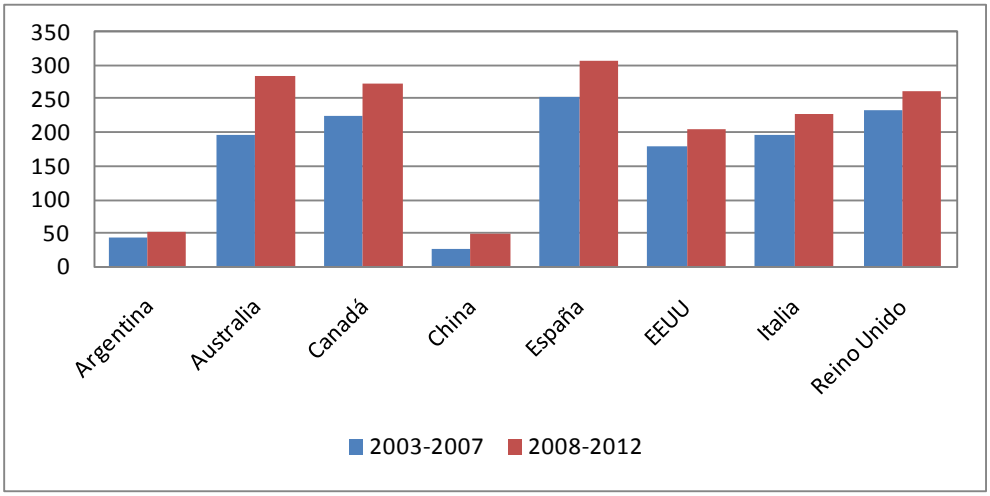


Gráfico 10.7. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuentes*: SCImago y Banco Mundial.

Resulta interesante realizar un análisis de la producción científica teniendo en cuenta el número de citas por artículo. El número de citas es un valor tomado internacionalmente como una forma de medir el interés científico del artículo publicado. (Gráfico 10.8).

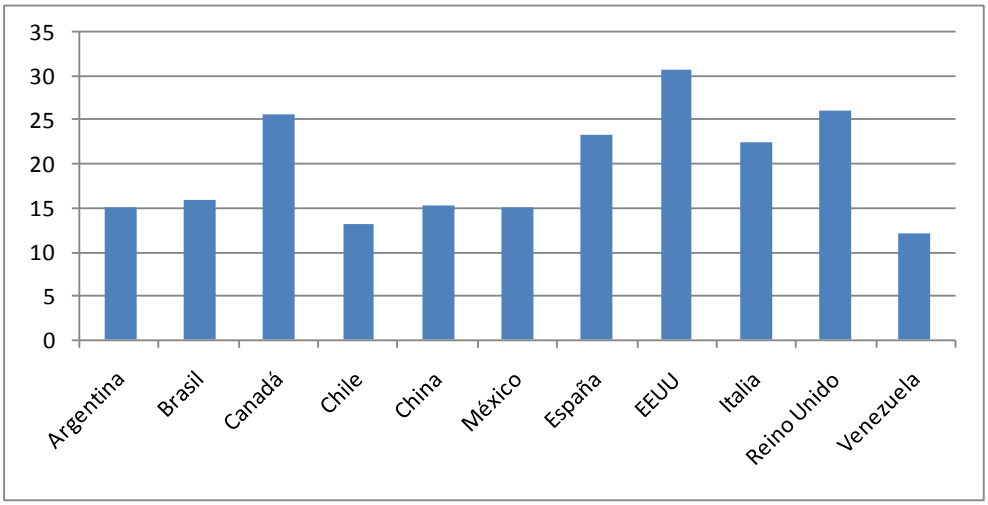


Gráfico 10.8. Número de citas promedio por artículo anual de cada país incluido en la comparación. Período analizado: 2003-2007. *Fuentes*: SCOPUS y SCImago.

Aquí vemos que el número de citas promedio de los trabajos en química publicados por investigadores argentinos se mantiene en valores comparables a los de Brasil, China y México; y en cifras superiores a las de Chile y Venezuela. Como es de esperar, el número de citas promedio por publicación es superior en los países desarrollados respecto de Argentina.

La encuesta realizada muestra que más del 75% de los investigadores que respondieron han colaborado con grupos del exterior en los últimos años. Esto se aprecia en el análisis del porcentaje de colaboraciones que se advierten en los trabajos científicos, en función de los datos aportados por SCImago (Gráfico 10.9).

El porcentaje de publicaciones argentinas que incluyen autores de más de un país se han incrementado significativamente desde 1996, pasando de un 36% a casi un 50% en 2012. Resulta especialmente revelador el incremento entre 2000 y 2004, de 30 a 45% que podría ser explicado por la crisis económica del 2001 que llevó a los investigadores a asociarse con científicos del exterior.

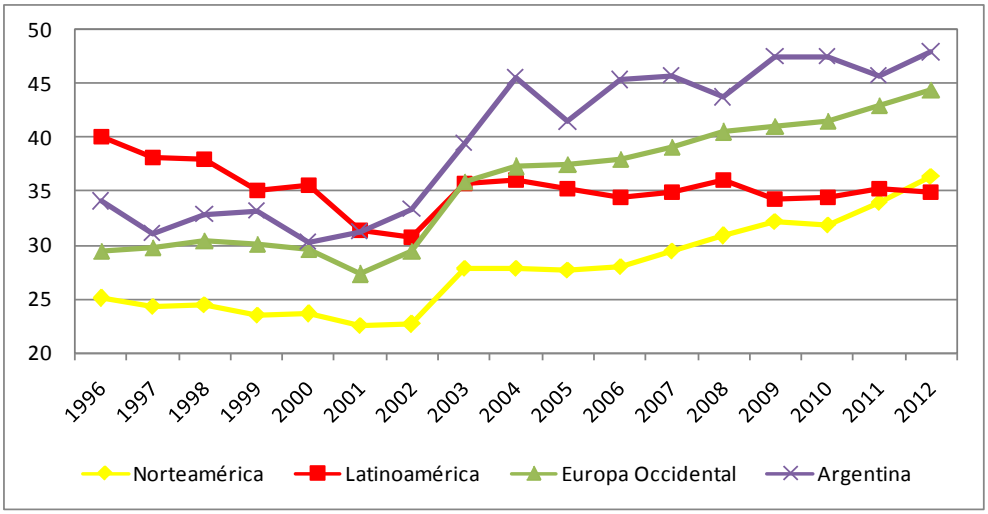


Gráfico 10.9. Porcentaje de artículos argentinos que incluyen autores de más de un país, comparado con las publicaciones latinoamericanas, norteamericanas y de Europa Occidental con más de un país. *Fuente*: SCImago.

En cuanto a los países con los cuales los químicos argentinos colaboran, estimado en función de las publicaciones conjuntas, muestra que sobre 2.961 artículos en colaboración entre 2003-2012, el 20% se llevó a cabo con científicos de España, seguido por Brasil y EEUU (12 y 11 %, respectivamente). El 69 % de estas colaboraciones están restringidas a 7 países: además de los nombrados, Alemania, Francia, Chile e Italia. (Gráfico 10.10).

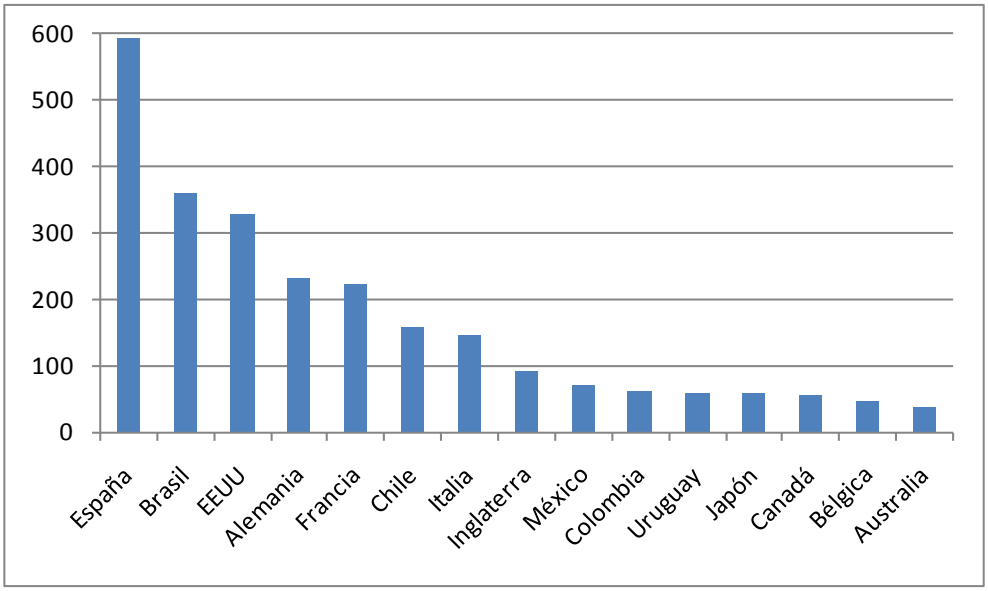


Gráfico 10.10. Cantidad de artículos en colaboración con los países con los cuales Argentina ha establecido mayores índices de colaboración, en el período 2003-2012. *Fuente*: RICyT.

Evaluación de la producción científica individual

Entre los investigadores de varias subdisciplinas de la química, especialmente de aquellas básicamente experimentales, se advierte preocupación respecto del análisis esencialmente bibliométrico en las evaluaciones por parte de los organismos de promoción de la ciencia. Está fuera de discusión la importancia de dicha herramienta en los procesos de evaluación, pero su uso abusivo, sobre todo cuando se toma como parámetro casi excluyente para la consideración de la producción científica, puede llevar a consecuencias no deseables. Este criterio quita, en muchos casos, el verdadero sentido de la investigación, que se dirige entonces al mero hecho de publicar.

Así, se producen casos en que los investigadores publican trabajos incompletos, sólo para cumplir con las pautas o cuotas mínimas establecidas, evitando de esta manera realizar publicaciones de mejor calidad. Por otro lado, estos criterios estrictos de evaluación no contemplan, en general, la disparidad de las distintas subdisciplinas en cuanto a las posibilidades de publicación, no sólo respecto de la diferencia evidente entre actividades experimentales y teóricas, sino incluso desconocen las características particulares de cada tipo de investigación dentro de las propias disciplinas experimentales.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Dentro de las universidades tradicionales, la oferta de grado en licenciaturas relacionadas con la química es amplia. En cambio, en las universidades creadas entre 1956 y 1980, se observa un fenómeno de transición, que revela una relativa falta de oferta en licenciaturas tradicionales. En tanto, en las universidades más nuevas, creadas a partir de la década de 1990, la oferta de licenciaturas tradicionales es extremadamente limitada. En parte, esta oferta de grado refleja un efecto geográfico; las universidades próximas a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, probablemente hayan elegido no competir por la captación de estudiantes en carreras tradicionales.

Las encuestas realizadas han revelado preocupaciones comunes relacionadas con la educación universitaria en Química. Por ejemplo, se ha sugerido que se incluyan temas de frontera y multidisciplinarios en cursos regulares en las Facultades donde se dictan carreras relacionadas con la Química, que se implementen Doctorados en Ingenierías Instrumentales, y se incremente la formación de profesionales en áreas sensibles de la química.

En cuanto a la formación de posgrado, los investigadores en el Área sugieren enviar jóvenes doctores o becarios al exterior para formarse en temas de frontera/vacancia, buscando que se reintegren al país con la seguridad de un apoyo concreto para el desarrollo de su línea de investigación. Un apoyo similar es requerido para jóvenes investigadores que se radiquen en zonas menos desarrolladas, con la posibilidad de colaborar en redes de trabajo con centros más desarrollados.

La experiencia demuestra que es necesario un apoyo concreto para lograr la reinserción de los investigadores que realizaron perfeccionamiento en el exterior, tanto en equipamiento e infraestructura, como en estabilidad laboral. Si bien es cierto que se ha promovido la reinserción de investigadores que han realizado dichas experiencias, existe una serie de factores que ponen a estos investigadores en desventaja respecto de sus pares que realizaron su carrera en el país, y que los desalienta a tomar la decisión de regresar.

Debe tenerse en cuenta que un investigador que debe dejar su país, su familia y ambientarse en otra sociedad y cultura, donde muy probablemente se habla otro idioma, probablemente no pueda mantener el mismo nivel de producción científica en comparación con sus pares que permanecieron en el país y hasta en la misma ciudad.

Esto también afecta su carrera académica, ya que deben renunciar a sus cargos docentes y, al regresar, deben esperar la apertura de cargos en los que deben competir con otros docentes/investigadores que han tenido una

continuidad en docencia que es generalmente muy valorada por los jurados en los concursos.

Respecto de los datos estadísticos, han sido difíciles de recabar y, en algunos casos, resultan contradictorios. El número de egresados en carreras de grado en química en los últimos diez años se muestra en el Gráfico 10.11 y fue tomado de datos de la CONEAU. Se puede apreciar una tendencia ascendente en los últimos años, especialmente de 2008 en adelante.

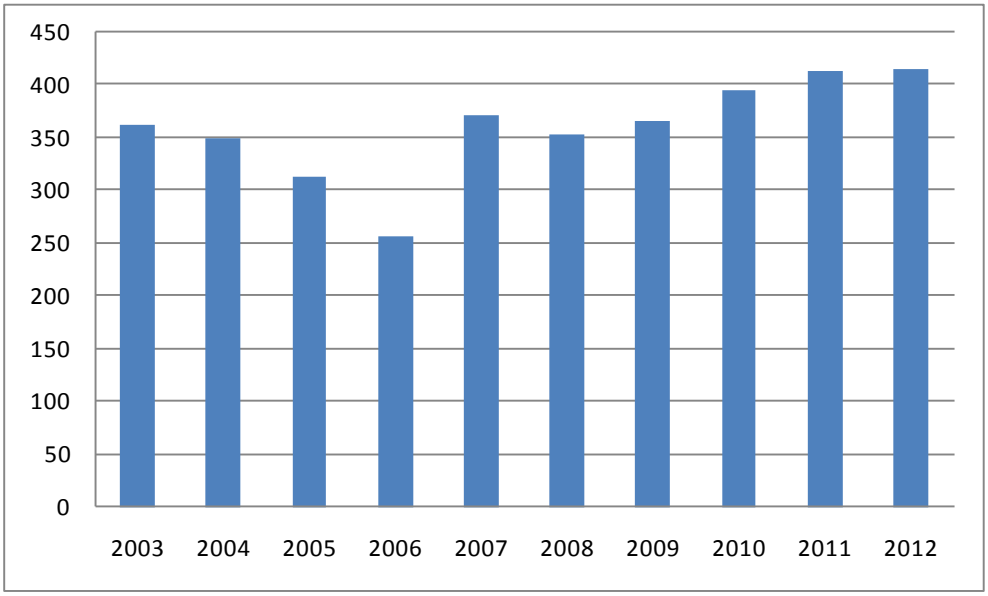


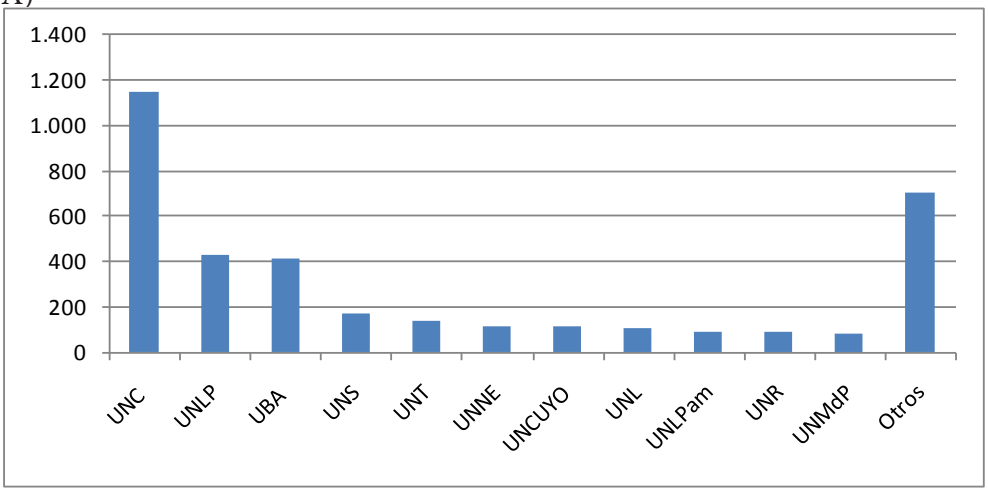
Gráfico 10.11. Evolución del número de egresados en carreras de grado en los últimos diez años. *Fuentes*: Ministerio de Educación, CONEAU y Consejo Universitario de Ciencias Exactas y Naturales (CUCEN).

Los principales centros de formación de estudiantes de grado en Química son las universidades de Córdoba, Buenos Aires, La Plata, del Sur, Rosario, Mar del Plata, Tucumán, Litoral. (Gráficos 10.12).

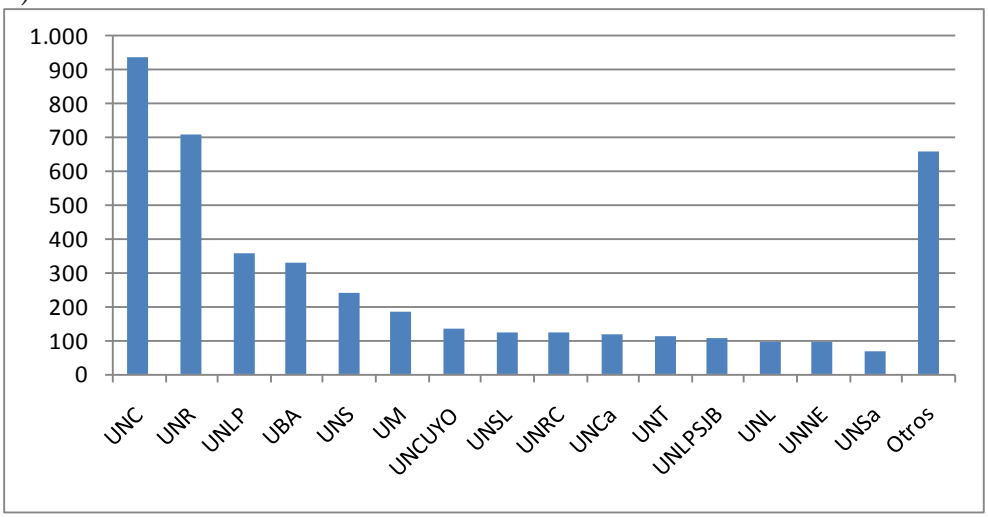
Sin embargo, los valores relativos del número de egresados por Institución resultan poco fidedignos, probablemente por la dificultad de definir cuáles son carreras de grado en Química; por ejemplo, es posible que, en algunos casos, se haya incluido a la carrera de Bioquímica en la estadística de alguna determinada Institución.

Independientemente de los datos estadísticos, resulta bien palpable a todo nivel la insuficiencia del número de graduados en Química para cubrir las necesidades del país, tanto en el ámbito público como en el privado.

A)



B)



Gráficos 10.12. Total de egresados de grado de las principales universidades públicas y privadas en el período 2003-2012. *Fuente* A): Ministerio de Educación. *Fuente* B): Anuarios de Estadística Universitaria de la Secretaría de Políticas Universitarias.

Respecto de la educación de posgrado, la información es, en general, más simple de recabar, dado que la variedad de Doctorados y Maestrías no es tan grande. El Gráfico 10.13 muestra un significativo aumento del número de egresados de Doctorados en Química en los últimos diez años, en clara coincidencia con la política de CONICET de incrementar el número de sus becas doctorales. En contraste, se aprecia un número muy bajo y relativamente

constante de egresados de Maestrías en Química, oscilando entre 3 y 15 egresados por año. Esto puede deberse también a la oferta de becas de CONICET, que favorecen el desarrollo de carreras más largas, de cinco años de duración, como es el caso de los Doctorados.

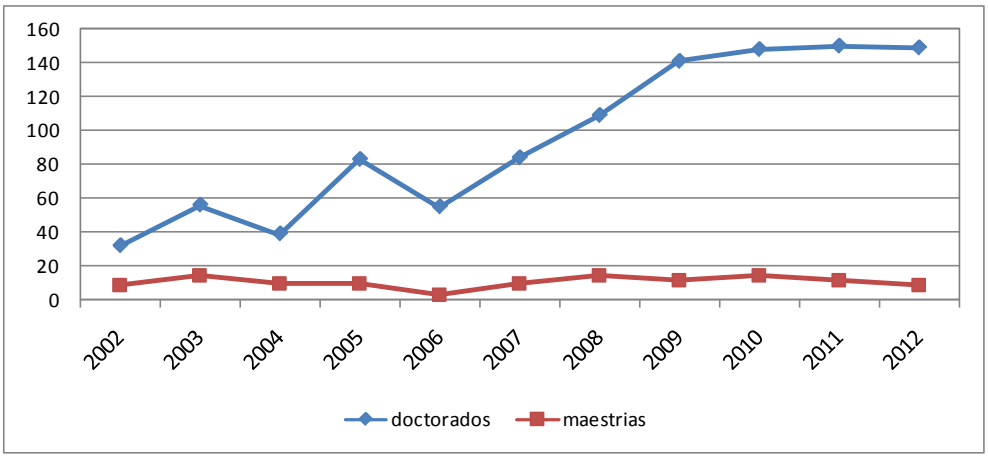


Gráfico 10.13. Evolución del número de egresados en carreras de maestría y doctorado en los últimos diez años. *Fuentes*: Ministerio de Educación, CONEAU y CUCEN.

En relación con lo anterior, en el Gráfico 10.14 se muestra la evolución del número de becas otorgadas por CONICET. El incremento es muy significativo, pasando de 108 en 2003 a 417 en 2012 en becas doctorales, y de 22 en 2003 a 132 en 2012 en becas posdoctorales.

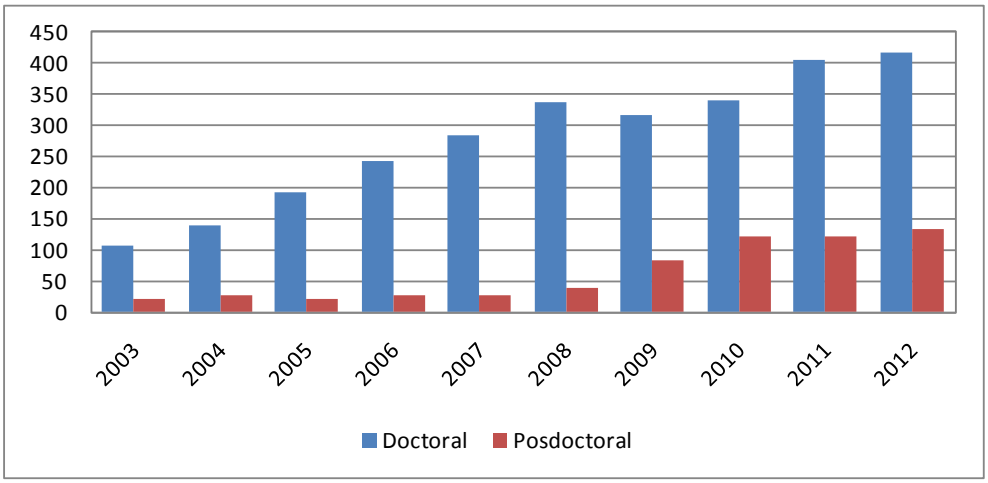


Gráfico 10.14. Número de becas doctorales y posdoctorales otorgadas por CONICET. *Fuente*: CONICET.

SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS

Asociación Química Argentina (AQA)

Desde su creación en 1912 la Asociación Química Argentina ha contribuido a promover el trabajo y el aporte de esa disciplina para el desarrollo del país. Tiene como objetivos fomentar el espíritu de unión entre los interesados en las ciencias químicas, promover el adelanto de estas disciplinas, defender los intereses profesionales de los químicos, y atender las necesidades del asociado y las necesidades académicas e industriales del sector químico. Es miembro de IUPAC como Organización Nacional Adherente, de FLAQ, Federación Latinoamericana de Asociaciones Químicas con sede en Lima, Perú, de RELAQ, la Red Latinoamericana de Química con sede en Santiago, Chile y mantiene estrechas vinculaciones con la *American Chemical Society y la Royal Society of Chemistry*. La AQA organiza bienalmente el Congreso Argentino de Química, otorga premios Iniciación para alumnos y egresados recientes en Química, premios Estímulo a investigadores jóvenes en las diferentes áreas de la Química, y premios Consagración en áreas especializadas (química orgánica, inorgánica, analítica, biológica, fisicoquímica, tecnología química, etc.).

Sociedad Argentina de Investigaciones en Química Orgánica (SAIQO)

La Sociedad Argentina de Investigaciones en Química Orgánica se constituyó el 28 de noviembre de 1983, en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, con la presencia de importantes científicos de nuestro país. Los objetivos trascendentes que se plantearon los miembros de la primera Comisión Provisoria, presidida por el Dr. Venancio Deulofeu, fueron cumpliéndose con el paso de los años. En la actualidad la SAIQO reúne a más de 520 socios, en su mayoría docentes e investigadores de Universidades Nacionales y/o miembros de la Carrera de Investigador Científico de CONICET, becarios de entes de promoción científica y profesionales de la disciplina vinculados a la actividad industrial, en especial la industria farmacéutica. A partir del año 1999, se han incorporado investigadores de Venezuela, Chile y Uruguay que desarrollan actividades en sus respectivos países, fortaleciendo así los lazos con Latinoamérica. En el seno de esta asociación convergen las diversas ramas de la Química Orgánica tales como Química Orgánica de Síntesis, Fisicoquímica Orgánica, Química de Productos Naturales, Química Bioorgánica, Química de Compuestos Organometálicos, Química Farmacéutica y Análisis Estructural de

Moléculas Orgánicas. La SAIQO mantiene una posición activa en el desarrollo y estímulo de la disciplina, mediante el auspicio de cursos de posgrado a cargo de especialistas nacionales y extranjeros, abiertos a la participación de todos sus asociados. Se ha alentado permanentemente la participación de jóvenes investigadores, mediante el otorgamiento de becas que posibilitan la asistencia a cursos de posgrado y Simposios Nacionales, la convocatoria a premios anuales a la mejor Tesis Doctoral de las distintas especialidades y al Premio SINAQO al mejor trabajo presentado en diferentes sub-áreas en los Simposios Nacionales organizados en forma bienal. La Asociación también ha instituido el Premio "Dr. Eduardo G. Gros" al investigador joven destacado en Química Orgánica, que se otorga bienalmente.

Asociación Argentina de Químicos Analíticos (AAQA)

La Asociación Argentina de Químicos Analíticos nació en la ciudad de San Luis el 9 de abril de 1999 por iniciativa de un grupo de químicos analíticos de diferentes puntos del país, reunidos en asamblea por invitación de los docentes e investigadores del Área de Química Analítica de la Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia de la Universidad Nacional de San Luis. El espíritu de la creación de esta asociación ha sido el de contar con una institución que reúna a investigadores, profesionales y estudiantes del área de la química analítica y que contribuya al desarrollo y consolidación de dicha disciplina a nivel nacional. Organiza bianualmente el Congreso Argentino de Química Analítica, otorga el premio a la mejor Tesis Doctoral en Química Analítica, becas para realizar cursos y pasantías cortas dentro del país, y apoya todas las actividades científicas y docentes relacionadas con la disciplina.

Asociación Argentina de Investigación Fisicoquímica (AAIFQ)

La Asociación Argentina de Investigación Fisicoquímica fue creada el día 20 septiembre de 1978 en la ciudad de La Plata, al celebrarse el 1º Congreso Argentino de Fisicoquímica, en homenaje a los 30 años de labor ininterrumpida desarrollada por H. J. Schumacher (1904-1985). Allí, a iniciativa de algunos participantes se realizó la Asamblea Fundacional de la Asociación. En esa oportunidad se eligió primer Presidente de la AAIFQ a A. J. Arvía. El propósito es reunir a quienes realizan investigaciones originales en el campo de la Fisicoquímica y Química Inorgánica, y propiciar el desarrollo de las mismas en Argentina. Organiza bienalmente el Congreso Argentino de Fisicoquímica y Química Inorgánica , y otorga los premios Hans Schumacher (a la mejor

tesis doctoral en Fisicoquímica), Pedro J. Aymonino (a la mejor tesis doctoral en Química Inorgánica) y María Cristina Giordano (al investigador argentino destacado en Fisicoquímica y/o Química Inorgánica).

Otras asociaciones

Recientemente se han creado varias asociaciones científicas que nuclean investigadores cuyas actividades están estrechamente relacionadas con la Química. Entre ellas, podemos mencionar a la Sociedad Argentina de Biocatálisis y Biotransformaciones (SAByB), la Sociedad Argentina de Espectrometría de Masa (SAEM) y la Asociación Argentina de Cristalografía (AACr). La SAByB tiene como objetivos desarrollar, fomentar, difundir y profundizar el conocimiento de la biocatálisis y las biotransformaciones, establecer e implementar programas de fortalecimiento de políticas científico-tecnológicas en el área, organizar reuniones científicas y propiciar la formación de grado y posgrado en la materia. Por otro lado, la SAEM propone reunir a quienes trabajan en ese campo con el objeto de intercambiar informaciones y trabajos, propiciar la permanente actualización de los miembros en el área, propender a la vinculación con entidades similares de otros países u organizaciones internacionales, establecer contactos entre los investigadores de instituciones oficiales y de la industria en el área de la Espectrometría de Masa e interceder por la actividad ante organismos oficiales con el fin de promover la continua adquisición de equipos con novedad tecnológica y fomentar el apoyo en el mantenimiento de los instrumentos ya adquiridos. La Asociación Argentina de Cristalografía se dedica a promover y difundir la Cristalografía en nuestro país, a nuclear a los grupos de trabajo en esta área del conocimiento, y a quienes usan la Cristalografía como herramienta en sus investigaciones.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS Y DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

Si bien no existen en la actualidad revistas científicas en Química de buen nivel publicadas en el país, se pueden mencionar dos publicaciones científicas vinculadas con la disciplina:

Journal of the Argentine Chemical Society (ex-Anales de la Asociación Química Argentina)

Es una revista internacional dedicada a temas interdisciplinarios de química en todos sus aspectos, tanto teóricos como aplicados, con la excepción de la filosofía e historia de la química. Lamentablemente esta revista ha perdido continuidad y no está indexada en el Journal Citation Reports.

Latin American Journal of Pharmacy (ex-Acta Farmacéutica Bonaerense)

Es la publicación científica del Colegio de Farmacéuticos de la Provincia de Buenos Aires. Publica trabajos de investigación en forma de artículos originales o comunicaciones cortas en la mayoría de los aspectos de las Ciencias Farmacéuticas, con fuerte énfasis en originalidad y calidad científica. Más específicamente, pero no exclusivamente, la revista publica informes en química medicinal, farmacología, absorción de fármacos y metabolismo, farmacocinética y farmacodinámica y análisis biomédico, vehiculización de fármacos, tecnología y biotecnología farmacéuticas, y evaluación clínica de fármacos. Se privilegian los artículos de investigación sobre los trabajos de revisión.

Respecto de las publicaciones de divulgación científica, debe destacarse la revista Ciencia Hoy, que ha adquirido prestigio como divulgadora del trabajo de científicos y tecnólogos argentinos y de toda Latinoamérica. Cabe mencionar la publicación en 2012 de un número especial con motivo del año internacional de la Química. Aunque de menor difusión, merece considerarse también a los Anales de la Sociedad Científica Argentina, una de la revistas científicas más antiguas del país (editada desde 1876), donde se suelen publicar artículos de divulgación en Química.

Merece destacarse, en este contexto, la política de nuestro país vecino Brasil respecto de sus publicaciones científicas. El fuerte apoyo brindado por la comunidad química brasilera a la revista Journal of the Brazilian

Chemical Society, por ejemplo, ha logrado ubicarla en una posición envidiable respecto de su factor de impacto internacional. Más aún, la Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior (CAPES) del Ministerio de Educación de Brasil publica un listado de revistas científicas, clasificadas por grupos de acuerdo con varios indicadores, entre ellos el factor de impacto ISI, pero también su importancia regional y nacional. En este listado, el Journal of the Brazilian Chemical Society recibe una ubicación privilegiada en relación con su factor de impacto. Es importante notar que en los concursos para acceder a cargos docentes universitarios, los candidatos reciben un puntaje proporcional a la ubicación de las revistas en las que han publicado sus trabajos, lo que realza la importancia otorgada a las revistas brasileras.

LA QUÍMICA Y SU VINCULACIÓN CON EL PLAN NACIONAL ARGENTINA INNOVADORA 2020

La Química es una ciencia central para todo desafío humano concerniente al mundo material, cruzando horizontalmente las demás disciplinas. Por lo tanto, dentro de los llamados Núcleos Socio-Productivos Estratégicos (NSPE) contemplados en el Plan Argentina Innovadora 2020 del MINCyT, podemos encontrar varios núcleos directamente ligados a actividades relacionadas con la química, como se detalla a continuación.

En el área de la agroindustria, los NSPE 2 y 6 (procesamiento de alimentos, valor agregado, calidad de productos [2] y producción y procesamiento de productos frutihortícolas [6]) se vinculan con química analítica (certificados de origen, trazabilidad, etc.), el núcleo 3, biorrefinerías, bioenergía, polímeros y compuestos químicos, se relaciona con el desarrollo de procesos químicos, la química orgánica (polímeros y compuestos químicos en general, generación de bioproductos y desarrollo de bioprocesos para las biorrefinerías de segunda generación a través de biocatálisis y métodos de química verde). NSPE 7, producción y procesamiento de recursos forestales, está vinculado con la producción de compuestos químicos como actividad derivada de la industria maderera. En cuanto a la producción y procesamiento de recursos oceánicos (núcleo 8), se vincula con la prospección de productos naturales de origen marino de utilidad en ciencias químico-farmacéuticas.

El NSPE 5a plantea el agregado de valor a la producción primaria animal tradicional a partir de profundizar los aspectos relativos al aprovechamiento de subproductos y desechos, y manejo de la contaminación ambiental del suelo y el agua. Uno de los pasos iniciales en aprovechamiento de subproductos y desechos es el estudio de sus componentes, y el desarrollo de procesos que permitan su fraccionamiento para obtener fracciones enriquecidas en productos de interés, y/o su transformación química para producir derivados de valor agregado. Ambos aspectos requieren de la química para su desarrollo. El NSPE 5b plantea el desarrollo de productos derivados, tales como fibras y cueros. Estos procesos suponen actividades químicas destinadas a cambiar las propiedades de dichos materiales, por lo que el conocimiento de su química y de las condiciones en las que sus propiedades cambian debido a las transformaciones sufridas a nivel molecular resulta muy útil para el descubrimiento de materiales con propiedades interesantes que le agreguen valor.

En cuanto al eje ambiente y desarrollo sustentable, los NSPE 10 y 11 (recursos hídricos y restauración de ambientes degradados, respectivamente)

se vinculan con los procesos químicos de remediación y biocatalíticos de biorremediación de suelos y otros recursos contaminados por agroquímicos (u otras actividades industriales). La química resulta indispensable para el desarrollo de sistemas de captación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, y de la metodología analítica que permita el monitoreo confiable de estos contaminantes. También está íntimamente relacionado el núcleo 13, reciclado de distintas corrientes de residuos, a través del reciclado de residuos químicos y biomasa para generación de nuevos recursos económicos. Tanto el tratamiento de residuos como la generación de nuevos usos de residuos suele involucrar la transformación química de algunos de sus componentes. En ambos casos resulta importante el análisis de su composición química y la relación de la misma con productos de menor toxicidad o productos interesantes y el estudio de las condiciones en las que se podrían llevar adelante los procesos químicos que resulten interesantes.

Respecto del eje Energía, el NSPE 21 implica el desarrollo de alternativas de cultivos energéticos y procesos para la producción de biocombustibles de segunda generación (plantas y cultivos de bajo valor alimenticio), lo que está directamente vinculado con la Ingeniería Química, Química Orgánica y Química Analítica.

En el eje Industria, los núcleos 25 y 27, transformación de recursos naturales en productos industriales de alto valor agregado y equipamiento médico, se relacionan con el desarrollo de nanomateriales e incorporación de tecnologías de análisis (Química Analítica), respectivamente.

En cuanto al área Salud, el desarrollo tecnológico e innovación en enfermedades infecciosas y enfermedades crónicas, complejas con componentes multigénicos y asociadas a adultos (NSPE 30 y 31) tienen directa relación con diversos aspectos de la química a través del diseño y descubrimiento de fármacos. También lo tienen la Fitomedicina (NSPE 33), y el desarrollo de productos fitoterápicos, cosméticos y nutracéuticos, que se vincula con la Química de productos naturales. Finalmente, en el núcleo Nanomedicina, el desarrollo de nanopartículas de transporte de medicamentos se vincula con la Química Orgánica y la de Materiales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A los efectos del fortalecimiento del área y con el objeto de lograr un grado de desarrollo mediano o alto en aquellas áreas que se consideran de máxima importancia, tanto en lo que se refiere a formación de recursos humanos, como a infraestructura y equipamiento, y de promover el desarrollo de temas de frontera en el mundo, y de vacancia en nuestro país, se sugieren diversas acciones, en parte producto de las encuestas realizadas entre investigadores del área Química:

Promover viajes internos, becas y subsidios de colaboración entre grupos argentinos, interacción entre grupos de investigadores de áreas complementarias (ejemplo: síntesis de nanomateriales y química analítica, síntesis orgánica y ciencias biológicas); proyectos conjuntos entre grupos multidisciplinarios de investigación del país y del exterior.

Estimular el entrenamiento posdoctoral en áreas de frontera y/o vacancia, brindando la información de las convocatorias con la suficiente antelación como para que los doctorandos en temas afines puedan redefinir sus expectativas futuras en esa dirección. Estimular el regreso al país con un apoyo concreto en equipamiento, infraestructura, estabilidad laboral, para el desarrollo de su línea de investigación.

Promover un apoyo similar para jóvenes investigadores que se radiquen en zonas menos desarrolladas, con la posibilidad de colaborar en redes de trabajo con centros más desarrollados.

Invitar a expertos internacionales a dar cursos o seminarios y a realizar estancias prolongadas para la formación de grupos locales.

Reinsertar investigadores en el sistema científico nacional asociados a proyectos de frontera y/o vacancia, incluyendo financiamiento *start-up*.

Crear programas de financiamiento dirigido a estas áreas que incluyan compra de equipamiento, formación de jóvenes investigadores en grupos de excelencia en el exterior y posiciones especiales de ingreso a CIC de CONICET para estas áreas.

Realizar una fuerte inversión en equipamiento mayor (tecnologías de espectrometría de masas, espectrometrías atómicas por plasma acoplado inductivamente y espectrometría de masas ICP-MS, herramientas de microfabricación, técnicas para caracterización de nanomateriales, construcción de un acelerador de partículas, calorímetro de titulación isotérmica, de barrido, equipos de flujo detenido o *stopped flow*, resonancia plasmónica, equipamiento para síntesis y análisis de moléculas de alta velocidad de procesamiento,

resonancia magnética nuclear de alto campo, espectroscopías de superficie, etc.).

Generar presupuesto para mantenimiento operativo de los equipos y recursos humanos de nivel formado en cada una de esas disciplinas.

Estimular la participación de empresas privadas en proyectos conjuntos. Implementar Doctorados en Ingenierías Instrumentales. Aumentar la formación de profesionales en áreas sensibles.

Incluir temas de frontera y multidisciplinarios en cursos regulares en las Facultades dedicadas a ciencia e ingeniería.

CAPÍTULO 11

QUÍMICA BIOLÓGICA Y BIOLOGÍA MOLECULAR

Coordinadores
Carlos Argaraña
UNC, CIQUIBIC (CONICET-UNC), Córdoba
Nora Calcaterra
UNR, IBR (CONICET-UNR), IQUIR (CONICET-UNR), Rosario

Colaboradores
María Elena Alvarez, UNC, CIQUIBIC (CONICET-UNC), Córdoba
Carlos Arregui, UNSAM, IIB-INTECH (UNSAM-CONICET), Buenos Aires
Marta Aveldaño, UNS, INIBBIB (CONICET), Bahía Blanca
Manuel Aybar, UNT, INSIBIO (CONICET-UNT), Tucumán
Cecilia D´Alessio, Fundación Instituto Leloir, CONICET, Buenos Aires
Maria Teresa Damiani, UNCUYO, IHEM (CONICET-UNCUYO), Mendoza
José Luis Daniotti, UNC, CIQUIBIC (CONICET-UNC), Córdoba
Eleonora García Vescovi, UNR, IBR (CONICET-UNR), Rosario
Daniela Gardiol, UNR, IBR (CONICET-UNR), Rosario
Diego Gómez-Casati, UNR, CEFOBI (CONICET-UNR), Rosario
Adriana Gruppi, UNC, CIBICI (CONICET), Córdoba
Alberto Iglesias, UNL, IAL (UNL-CONICET), Santa Fe
Florencio Podestá, UNR, CEFOBI (CONICET-UNR), Rosario
Gabriela Salvador, UNS, INIBIBB (CONICET), Bahía Blanca
Esteban Serra, UNR, IBR (CONICET-UNR), Rosario
Alejandro Vila, UNR, IBR (CONICET-UNR), Rosario

Agradecimientos

Las diferentes subdisciplinas han sido evaluadas en detalle por distintos investigadores a quienes agradecemos su encomiable colaboración: Dres. Maria Teresa Damiani, Carlos Arregui y Gabriela Salvador (Biología Celular); Dres. José Luis Daniotti y Cecilia D' Alessio (Glicobiología); Dra. Eleonora García Véscovi (Bacteriología Molecular); Dra. Marta Aveldaño (Lípidos), Dres. Florencio Podestá, María Elena Alvarez, Diego Gomez-Casati y Alberto Iglesias (Bioquímica y Biología Molecular de Plantas); Dra. Adriana Gruppi (Inmunología); Dra. Daniela Gardiol (Virología Molecular); Dr. Alejandro Vila (Biología Estructural) y Dr. Manuel Aybar (Biología del Desarrollo).

METODOLOGÍA EMPLEADA

Para la elaboración del informe, se utilizó información proveniente de diferentes bases de datos y de una encuesta a científicos locales elaborada por los coordinadores de las disciplinas relevadas. La encuesta fue enviada para ser respondida online a investigadores que revistan en las categorías Superior y Principal del CONICET, investigadores de carrera del INTA responsables de desarrollos biotecnológicos y Docentes-Investigadores Categoría I y II del Programa de Incentivos Docentes de la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación. En total, se enviaron 232 encuestas, que fueron respondidas por 100 investigadores (43% del total de los encuestados). Cabe mencionar que un porcentaje importante de los investigadores encuestados dirigen grupos de investigación constituido por estudiantes de doctorado, estudiantes posdoctorales e investigadores jóvenes (aproximadamente el 75% de los investigadores encuestados cuenta con un investigador joven en su grupo).

Además, se utilizaron las fuentes de información mencionadas en el Capítulo 1. Es importante también tener presente que la base de datos SCImago se sustenta en datos de Scopus mientras que la base RICyT lo hace a partir de datos ISI, lo cual podría generar diferencias en las denominación de las diferentes subdisciplinas relevadas e incluso en algunos valores y datos de las publicaciones realizadas. En los casos en que la información no resultó pertinente o fue incompleta, esta se solicitó a facultades de universidades públicas y privadas o se recabó en fuentes disponibles online, tales como Scopus.

DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

Inicialmente, en este informe, las Áreas Química Biológica y Biología Molecular fueron consideradas como independientes. Sin embargo, a medida que se avanzaba en la redacción, se constató la existencia de un alto grado de solapamiento entre estas dos áreas del conocimiento. Un análisis por separado de ellas habría sido muy difícil de realizar por el alto grado de superposición de datos. Esto, además, habría debilitado el análisis global y conducido a conclusiones parciales sobre el estado del arte de la Química Biológica y la Biología Molecular en nuestro país. Es por ello que en este informe se analizaron ambas disciplinas en conjunto.

La Biología es la ciencia que se ocupa tanto de la descripción de las características y los comportamientos de los organismos individuales como de las especies en su conjunto, así como de la reproducción de los seres vivos y de las interacciones entre ellos y el entorno. El objeto de estudio de la biología es comprender la estructura y la dinámica funcional comunes a todos los seres vivos, con el fin de establecer las leyes generales que rigen la vida orgánica y sus principios explicativos fundamentales.

La biología y la química abarcan un amplio espectro de campos de estudio que, a menudo, se tratan como disciplinas independientes. Todas ellas, en conjunto, estudian la vida en un amplio rango de escalas, a escala atómica y molecular, en la Biología Molecular y en la Química Biológica.

La Biología Molecular tiene como objetivo el estudio de los procesos que se desarrollan en los seres vivos desde un punto de vista molecular. Concierne principalmente al entendimiento de las interacciones de los diferentes sistemas de la célula, la síntesis de proteínas, el metabolismo, y el modo en que todas esas interacciones son reguladas para conseguir un afinado funcionamiento de la célula. En tanto, la Química Biológica estudia la composición química de los seres vivos y las reacciones químicas que sufren estos compuestos que les permiten obtener energía y generar biomoléculas propias.

La Biología Molecular y la Química Biológica están íntimamente relacionadas; estas áreas no difieren tanto en los objetivos concretos como en los métodos utilizados para lograrlos. Si hubiera que establecer una diferencia, podría decirse que la Química Biológica investiga detalladamente los ciclos metabólicos y la síntesis y degradación de las moléculas que componen los seres vivos (incluyendo los procesos de intercambio energético) mientras que la Biología Molecular aborda el comportamiento biológico de las macromoléculas (ADN, ARN, enzimas, hormonas, etc.) dentro de la célula y las funciones biológicas del ser vivo a nivel molecular.

Estas áreas de la Biología y la Química, a su vez, pueden dividirse en un conjunto de subdisciplinas temáticas.

Subdisciplinas incluidas

En este estudio se definieron las subdisciplinas que se detallan a continuación, considerando que las mismas son generadoras de recursos humanos y en nuestro país han dado lugar a centros de investigación científica de prestigio internacional así como a la creación de sociedades científicas para su fortalecimiento y desarrollo.

Las subdisciplinas relevadas fueron: Biofísica; Biología Celular; Biología del Desarrollo; Bioquímica de Lípidos; Bioquímica y Biología Molecular de Plantas; Biotecnología; Estructura y Función de Biomoléculas; Glicobiología; Microbiología Molecular; Neurobiología/Neuroquímica; Transducción de señales.

Cabe destacar que, si bien se presenta un informe sobre Inmunología, el desarrollo de esta subdisciplina tiene en nuestro país un claro origen biomédico; dado que el objetivo de este informe fue el revelamiento del estado del arte de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en Argentina, el área Inmunologia no fue extensivamente analizada.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

Los avances de la Química Biológica y la Biología Molecular han permitido el desarrollo de la biotecnología moderna, la cual impacta en forma transversal en diversas actividades del hombre, ya que afecta de diferentes maneras a la sociedad. Específicamente, en las cuestiones relacionadas con el conocimiento de las bases de la salud animal y vegetal, la producción de fármacos, la generación de animales y plantas genéticamente modificados para el estudio de procesos biológicos o de la producción, la eliminación de contaminantes, o la trazabilidad de alimentos y técnicas para determinar su inocuidad, la identificación de individuos por trazas genéticas, entre otros.

En las últimas décadas hemos sido testigos de un gran avance en el conocimiento de los procesos biológicos, tanto en situaciones fisiológicas como patológicas. La posibilidad de obtener información completa de genomas individuales en un tiempo récord y con un costo muy inferior al que se imaginaba hace sólo diez años, ha inaugurado la era de la medicina personalizada y la biotecnología al servicio de la humanidad. Tras describir el genoma humano de referencia, se ha puesto mucho esfuerzo en definir sus variaciones y el impacto que estas tienen en la susceptibilidad a distintas enfermedades.

Después de la secuenciación de numerosos genomas, hemos aprendido que no todas las respuestas están contenidas en las secuencias y sus variaciones individuales, sino en un nivel de complejidad mucho mayor, determinado por la propia estructura de la cromatina y por mecanismos de regulación no anticipados y no predecibles con la secuencia lineal. Más aún, es la integración de todos los sistemas del individuo, lo que da lugar a la respuesta personalizada a señales procedentes del exterior. Si bien estas observaciones parecen evidentes, han producido un cambio de paradigma en la estrategia de desarrollo de la investigación científica en Ciencias Biológicas. Los procesos biológicos no pueden ya estudiarse de forma aislada, y cuando pensamos en el desarrollo o funcionamiento de un órgano, cuando estudiamos la progresión de un tumor o cuando observamos las reacciones individuales tras la infección por un mismo patógeno, es evidente que la secuencia de los genes no nos proporciona información suficiente. Necesitamos pasar de las moléculas y los procesos a los sistemas completos. Tras décadas de hegemonía de los ácidos nucleicos, se ha renovado el estudio de la bioquímica de las proteínas, de las rutas metabólicas y se ha hecho evidente la necesidad de integrar la información de diferentes fuentes. La Química Biológica y la Biología Molecular se han convertido en disciplinas abiertas y globales que entienden de fisiología, neurociencias, inmunología, epidemiología, ecología y biodiversidad entre otras áreas de

conocimiento. Pero resulta quizá más relevante que todas esas disciplinas integran a la Química Biológica y la Biología Molecular como parte de ellas mismas.

La importancia de los descubrimientos en el campo de la Química Biológica y la Biología Molecular a nivel mundial, se refleja en el hecho de que en los últimos veinte años muchos de los Premios Nobel otorgados en Química o Medicina y Fisiología se deben a investigaciones desarrollados en relación al estudio de biomoléculas o procesos biológicos que se ubican claramente en los campos arriba mencionados. Solo para citar algunos ejemplos, fueron motivo de Premios Nobel, el descubrimiento de la maquinaria que regula el tráfico de vesículas en células eucariotas (2013), la reprogramación de células maduras a pluripotentes (2012), el descubrimiento y desarrollo de la proteína verde fluorescente (2008) y la generación de ratones knockout (2007), entre otros.

El avance de las Ciencias Biológicas ha cambiado algunos paradigmas y generado nuevas temáticas de investigación, entre las que se reconocen como temas de frontera científica al estudio de las bases moleculares de la muerte y la supervivencia celular, la epigenómica y epigenética, la biología evolutiva del desarrollo (EvoDevo), las OMICAS (proteómica, transcriptómica, metabolómica, lipidómica, glicómica, etc.), la fisiología y biofísica de las membrana biológicas, el tráfico vesicular y fusión de membranas, la oncología molecular y celular, las investigaciones con células madre o troncales, la medicina molecular, la biología sintética, la nanobiotecnología y la bioinformática.

ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

La breve reseña del desarrollo de la investigación bioquímica en Argentina que se describe a continuación ha sido tomada en parte de *RR Brenner (2007) IUBMB-Life, 59: 217-218*.

La disciplina precursora de la investigación bioquímica en Argentina fue la Fisiología. En 1919 se creó el Instituto de Fisiología, en la Escuela de Medicina de la Universidad de Buenos Aires, cuando el Dr. Bernardo Houssay (Premio Nobel de Medicina en 1947) fue nombrado Director. La Química Biológica era enseñada allí por grandes profesores, tales como los Dres. Sordelli, Deulofeu, Rietti y Marenzi. La investigación en Química Biológica fue iniciada más tarde por el Dr. Luis F. Leloir (Premio Nobel de Química en 1971), quien junto al Drs. Raúl Trucco, Ranwel Caputto y Carlos E. Cardini entre otros, fundó en 1947 la Fundación Campomar y el Instituto de Investigaciones Bioquímicas (IIB). Alejandro Paladini fue el primer estudiante del Instituto, seguido progresivamente por Enrique Cabib, Horacio Pontis, José Manuel Olavarría, Armando Parodi, Israel Algranati, Héctor Carminatti, y muchos otros. El tema principal de estudio era la biosíntesis de hidratos de carbono. En 1955, en la Escuela de Medicina de la UBA, el Dr. Andrés Stoppani es nombrado profesor de Química Biológica; él congrega y forma a varios científicos de renombre en Argentina, entre los que se debe mencionar al Dr. César Milstein (Premio Nobel de Medicina, 1984). La actividad científica comienza a expandirse a otras ciudades del país.

Así, en 1956 el Dr. Ricardo Brenner es nombrado profesor de Química Biológica en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de La Plata, impulsando lo que a partir de 1982 sería el INIBIOLP. En 1958, se crea el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CONICET), con Bernardo Houssay como Presidente. Este Consejo promueve y facilita la investigación científica: se crean institutos, se otorgan becas para investigación, lo cual lleva a una rápida expansión de la investigación en Química Biológica en nuestro país. En 1959, el Dr. Alejandro Paladini fue nombrado profesor de Ciencias Biológicas de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA. Allí organizó un grupo de investigación que estudió principalmente la bioquímica de la hormona del crecimiento; esto dio lugar más tarde a la creación del IQUIFIB. En 1963, el Dr. Ranwel Caputto regresa de los EE.UU. y desarrolla la investigación bioquímica en el Departamento de Química Biológica de la Universidad Nacional de Córdoba. Este grupo se convertiría más tarde en el CIQUIBIC. El 15 de marzo 1965, cuatro profesores de distintos laboratorios, los Dres Leloir, Stoppani, Brenner y Cumar, este último de la Universidad Nacional de Córdoba, proponen la constitución

de la Sociedad Argentina de Investigación Bioquímica (SAIB). Desde entonces y hasta 2014, se han celebrado 50 congresos científicos, algunos de ellos junto con otras sociedades de países de América del Sur, principalmente de Chile y Brasil, bajo la organización de PABMB (*Panamerican Association for Biochemistry and Molecular Biology*). En 1970 se crea el Instituto de Bioquímica (INIBIBB) en Bahía Blanca. En Tucumán, la investigación bioquímica también se desarrolla activamente en el periodo 1976-1980, con la creación del CERELA, el PROIMI y el INSIBIO. En Rosario, la investigación bioquímica se inició activamente en 1970, con la creación del CEFOBI y tuvo un gran impulso con la creación del IBR en 1999. En el año 1983, bajo la dirección del Dr. Héctor Torres, se funda el INGEBI, instituto pionero en Argentina en desarrollar investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular. La adopción de técnicas de Biología Molecular se expandió en distintas áreas de la investigación en nuestro país y la SAIB fue renombrada como Sociedad Argentina de Investigación en Bioquímica y Biología Molecular en 1994. Se generan importantes laboratorios de investigación en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, en la Facultad de Medicina y en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA. En otras ciudades, como Rosario, Santa Fe, Córdoba, San Martín y Chascomús, se inician investigaciones en bioquímica y biología molecular de animales, plantas y microorganismos, desarrolladas principalmente en el IBR (Rosario), CIBICI (Córdoba), IAL (Santa Fe), el IIB-Chascomús e IIB-UNSAM.

En 1996 el Poder Ejecutivo crea la Agencia Nacional de Investigación Científica y Tecnológica a fin de promover, a través de financiamiento, la investigación científica y tecnológica y la innovación. Tanto este organismo, como el Ministerio de Ciencia y Técnica e Innovación Productiva, creado en el año 2007, influyó muy positivamente en el desarrollo sostenido de la investigación en Química Biológica y Biología Molecular en nuestro país en estos últimos años. En ese mismo año se aprueba la ley de promoción del desarrollo y producción de la biotecnología moderna (Ley 26.270/2007), dando un gran impulso al desarrollo de la biotecnología aplicada en nuestro país.

En el año 2014, la base de especialistas del CONICET consigna aproximadamente 600 investigadores que realizan estudios en los campos de la Química Biológica y la Biología Molecular (en todas las áreas y categorías de la Carrera del Investigador Científico, CIC) y 50 docentes-investigadores categorizados I y II que se encuentran listados en dicha base de datos. No se pudo lograr la información necesaria para realizar un seguimiento de los últimos 10 años, ya que esta se encuentra disponible solo agrupada para las grandes áreas. Usando la base de datos completa correspondiente al año 2014 de las Grandes Áreas de Ciencias Biológicas y de la Salud y Ciencias Exactas y Naturales del CONICET, se examinó la cantidad de investigadores jóvenes

y formados cuyas líneas de investigación se encuadran en alguna de las subdisciplinas analizadas en este informe. Se definió como investigador jóven a los Investigadores Asistentes e investigador formado a aquéllos que revistan en el resto de las categorías de la CIC y a los docentes-investigadores I y II del programa de Incentivos Docentes presentes en el banco de especialistas del CONICET. Para el análisis de estos datos, es importante tener en cuenta que la metodología utilizada no pudo discriminar investigadores cuyas temáticas de trabajo se encuadran en más de una de las subdisciplinas relevadas, por lo que alguna de ellas pudo resultar sobre valorada.

De los datos generados, que se muestran en el Gráfico 11.1, se desprende que las subdisciplinas menos desarrolladas son la Biología del Desarrollo, el estudio de la Estructura de macromoléculas y la Glicobiología. Esta proporción de investigadores/subdisciplina temática también se refleja en los datos generados a partir de la encuesta a investigadores.

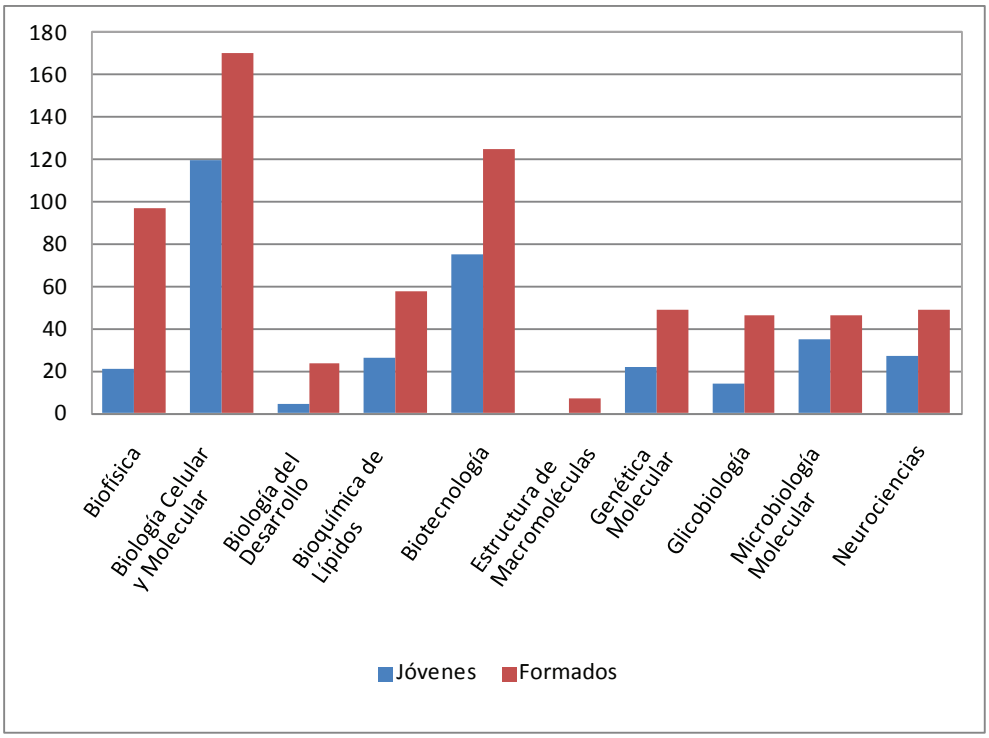


Gráfico 11.1. Número de investigadores jóvenes y formados por subdisciplinas. Los investigadores de Microbiología, Parasitología y Virología Molecular fueron agrupados en la subdisciplina Microbiología Molecular. *Fuente*: CONICET.

Grupos de Trabajo

Los grupos de investigación en Química Biológica y Biología Molecular en Argentina son numerosos, y los principales se encuentran asociados a institutos o centros de doble pertenencia CONICET-Universidades o al INTA. Como Centro de investigación público-privado, se destaca la Fundación Instituto Leloir en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. La distribución geográfica de esos centros se muestra en Gráfico 11.2.

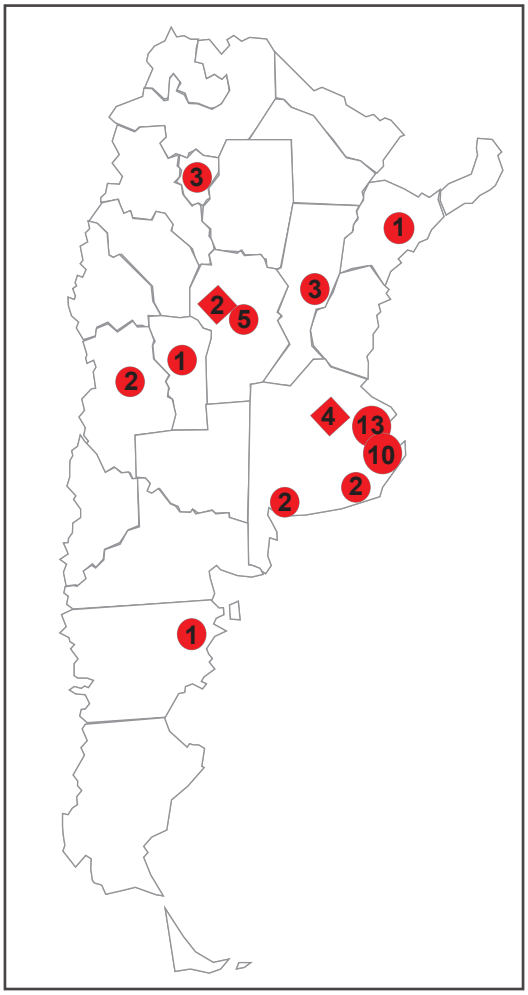


Gráfico 11.2. Distribución geográfica de Institutos de CONICET (círculo) y del INTA (rombo) de Química Biológica y Biología Molecular. Los números indican la cantidad de institutos o centros en las distintas provincias. *Fuente*: CONICET e INTA.

En los últimos años, grupos de investigación con temáticas afines se reorganizaron en Unidades Ejecutoras (UE) dependientes del CONICET, las cuales, a su vez, fueron vinculadas a Centros Científicos Tecnológicos (CCT) regionales. Esto condujo a una parcial descentralización del CONICET y al ordenamiento de investigadores del CONICET en UE, tendiente a lograr una distribución más federal de instituciones abocadas al estudio de las Ciencias Biológicas. Aunque hubiera sido de gran interés, no fue posible conocer el número de investigadores por institución y/o región geográfica.

Infraestructura y Financiación

Los datos mostrados en este apartado corresponden a los aportados por el MINCyT y los generados en la encuesta realizada entre los investigadores, según se describió más arriba. Los datos oficiales de financiamiento de Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica (PICT) otorgados por el Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCyT) para el área de Ciencias Biológicas (año 2003) y Ciencias Biológicas de Células y Moléculas (años 2004-2008 y 2010-2013) muestran un incremento sostenido de la inversión en el área a partir del año 2010. En el año 2009 no se abrieron las convocatorias a PICT en estas áreas (Gráfico 11.3)

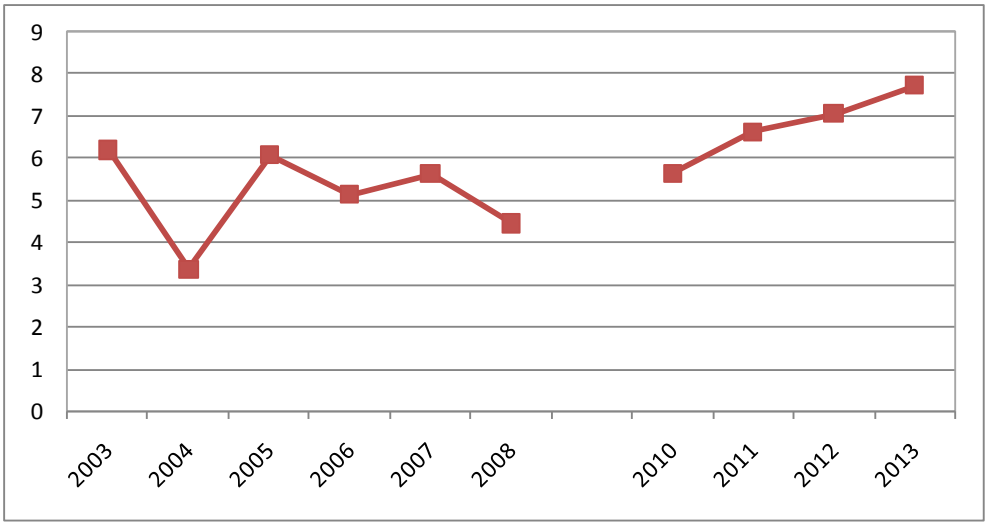


Gráfico 11.3. Financiamiento del FONCyT destinado a investigaciones en Ciencias Biológicas (año 2003) y Ciencias Biológicas de Células y Moléculas (años 2004 en adelante), expresado en millones de dólares. *Fuente*: MINCyT, encuesta a investigadores.

Los datos son expresados en millones de dólares estadounidenses dado que esta es la moneda utilizada para la adquisición de la mayoría de los insumos y equipamientos requeridos para el desarrollo de las investigaciones de las disciplinas relevadas. Los valores del dólar estadounidense utilizados corresponden a la cotización oficial de la moneda durante la primera semana del mes de abril de cada año. No fue posible acceder a datos oficiales de CONICET, universidades u otras organizaciones públicas y/o privadas.

La mayoría de los grupos de investigación encuestados se encuentran financiados por ANPCyT; CONICET y las universidades. Alrededor del 50% de los encuestados indica que en los últimos cinco años ha recibido algún tipo de subsidio internacional (Gráfico 11.4).

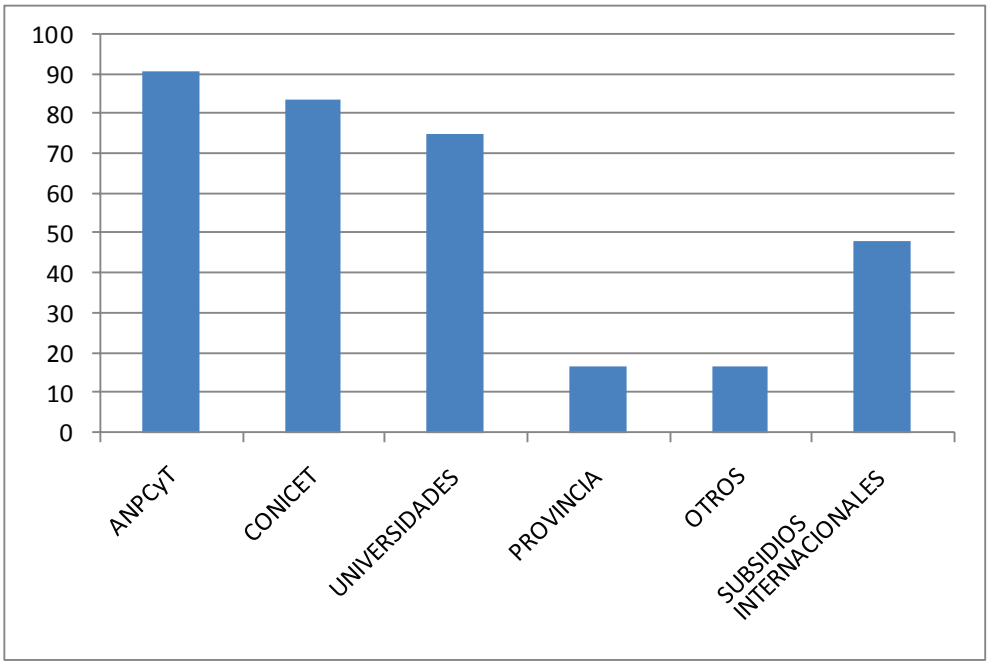


Gráfico 11.4. Número de investigadores encuestados y fuentes de financiamiento. *Fuente*: Encuesta a investigadores.

El 35% de los encuestados ha recibido subsidios de 10-50 mil U$S y un 29% subsidios de 50-500 mil U$S. Teniendo en cuenta que sólo el 43% de los investigadores consultados ha respondido la encuesta, este dato podría estar sesgado. El origen de los fondos internacionales provienen mayoritariamente de Estados Unidos, Alemania, España, Brasil, Francia y Reino Unido.

Alrededor del 25-30% de los investigadores encuestados destacan la falta

de infraestructura, el escaso financiamiento para la adquisición de equipos y la existencia de equipamiento obsoleto; asimismo, mencionan como de gran necesidad disponer de fondos para la reparación o reemplazo de los mismos. En su mayoría, los encuestados destacan los problemas de importación de insumos en general (productos e instrumental) y las dificultades de importación de las donaciones de materiales biológicos, generados a partir de las restricciones impuestas por la Secretaría de Comercio Interior. Un resumen del nivel de necesidades insatisfechas manifestado por los encuestados se muestra en el Gráfico 11.5.

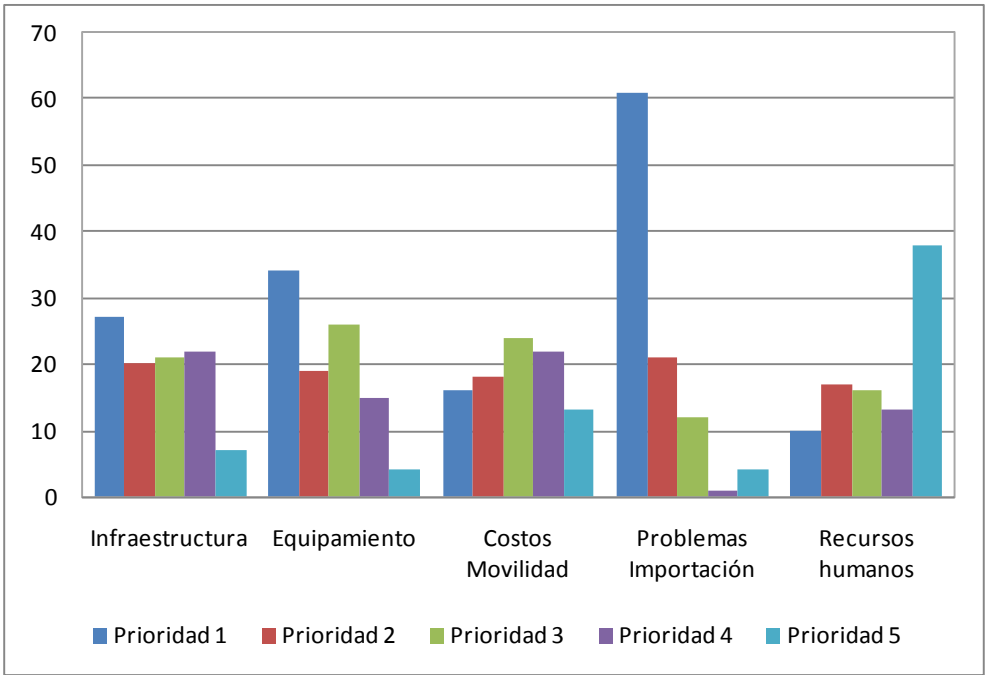


Gráfico 11.5. Para cada uno de los 5 escollos listados se indica el porcentaje de respuestas que identificaron el problema respectivo como altamente importante (Prioridad 1), hasta poco importante (Prioridad 5). *Fuente*: encuesta a investigadores.

Producción científica argentina

En este apartado del informe, se presenta un análisis de las publicaciones científicas realizadas por investigadores argentinos en los lustros 2003-2007 y 2008-2012.

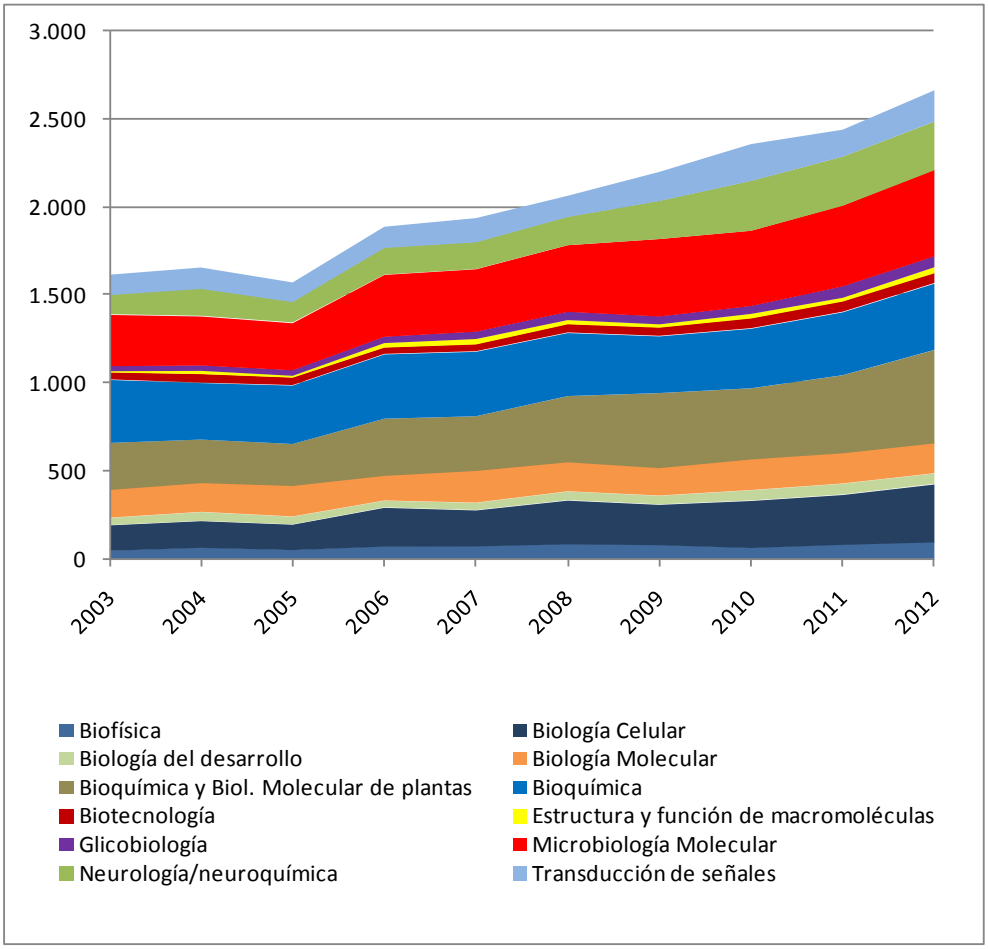
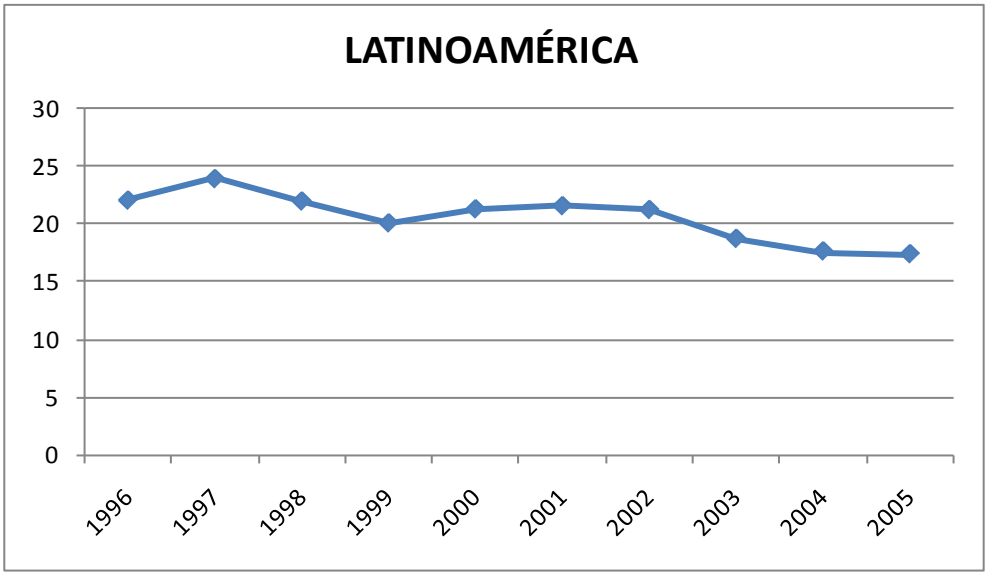


Gráfico 11.6. Cantidad total de artículos con autores argentinos en revistas indexadas, en diversas especialidades, para el lapso 2003-2012. *Fuente*: SCOPUS y SCImago.

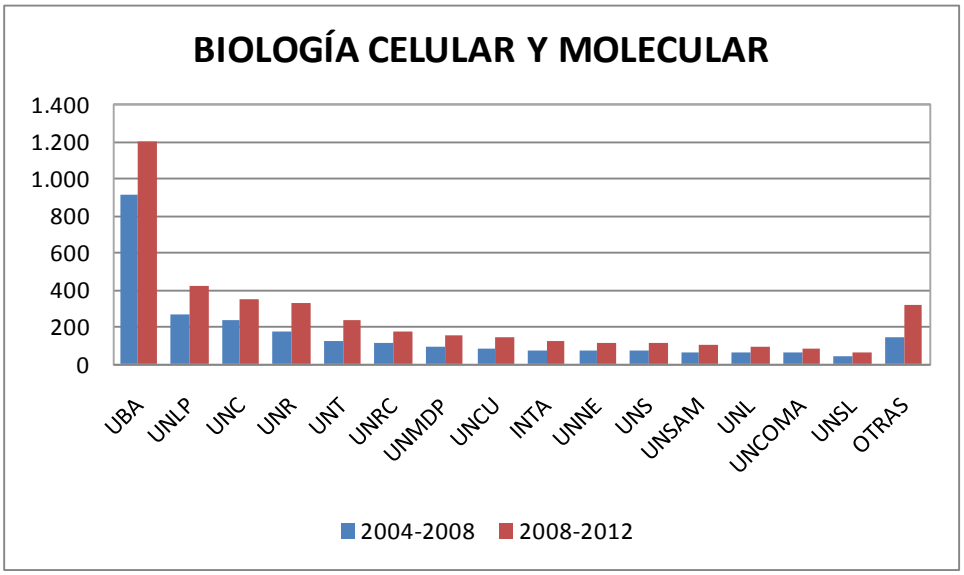
De acuerdo al número de publicaciones se observa que las subdisciplinas de mayor desarrollo son: Microbiología molecular, Bioquímica, Bioquímica y Biología Molecular de plantas, siendo esta última, junto con Biología Celular, las subdisciplinas de mayor crecimiento en el periodo analizado.

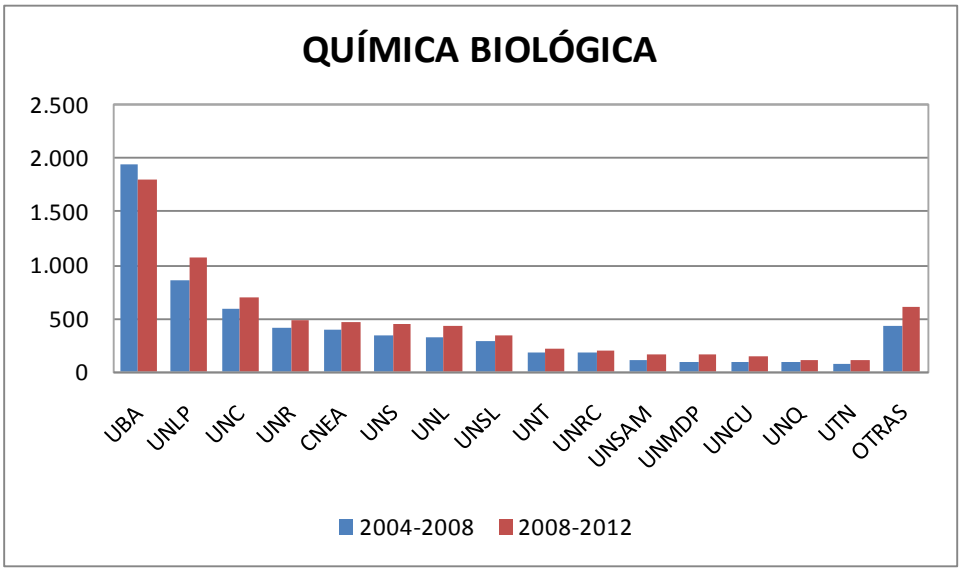
Hubo una disminución de alrededor del 10% en la contribución relativa en Latinoamérica, principalmente debido al aumento de la producción científica de Brasil (que pasó del 38 al 53,2%) y Colombia (que se incrementó del 2,2 al 4,8%), según datos de SCImago. El porcentaje de publicaciones realizadas por científicos argentinos en relación a las publicaciones totales realizadas en todo el mundo se mantuvo relativamente estable en los últimos 20 años. Los datos se muestran en los Gráficos 11.7.



Gráficos 11.7. Porcentaje de artículos con autores argentinos con respecto al total mundial y latinoamericano en el período 1996-2005. *Fuente*: SCImago.

A continuación se detallan las Instituciones Nacionales donde se han generado las publicaciones científicas en Biología Celular y Molecular y Química Biológica durante los últimos dos lustros.





Gráficos 11.8. Número de publicaciones realizadas por institución en Biología Celular y Molecular y Química Biológica en los períodos 2004-2008 y 2008-2012. *Fuente*: RICyT.

Se observa que las 15 principales instituciones sólo muestran cambios menores en la producción relativa, con un incremento generalizado en el número total de publicaciones en el último quinquenio. En todos los casos, la columna *Otras* corresponde a la suma de las producciones de las restantes instituciones relevadas en cada período.

El número de publicaciones totales, de los quinquenios 2003-2007 y 2008-2012, de las Áreas Química Biológica y Biología Molecular de los diferentes países analizados fue normalizado a la población económicamente activa de cada uno de ellos. Los datos muestran que Argentina realizó el mayor número de publicaciones en el quinquenio 2008-2012 cuando se la compara con otros países de Latinoamérica (Gráfico 11.9). Como se mencionó, estos datos han sido normalizados a la población económicamente activa según información del Banco Mundial, a diferencia de los datos mostrados en el Gráfico 11.6, los cuales corresponden a valores absolutos de nuestro país.

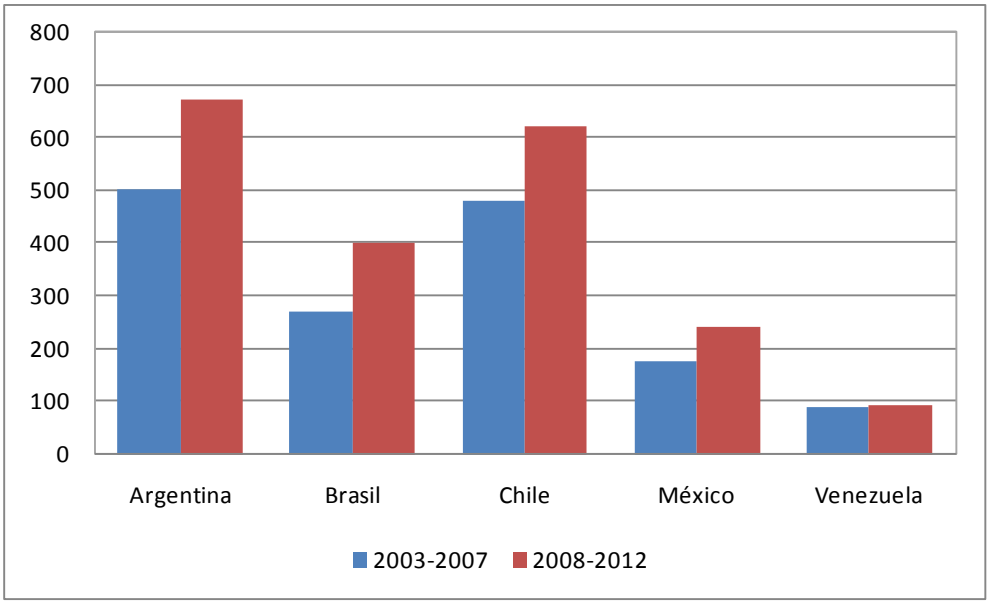


Gráfico 11.9. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuente*: SCImago, SCOPUS y Banco Mundial.

La relación entre el número total de artículos del área por millón de habitantes económicamente activos publicados por Argentina y los publicados por otros países de Latinoamérica muestra un leve aumento de las publicaciones de Brasil y México, y una disminución a leve tendencia decreciente para el caso de Chile y Venezuela (Gráfico 11.10).

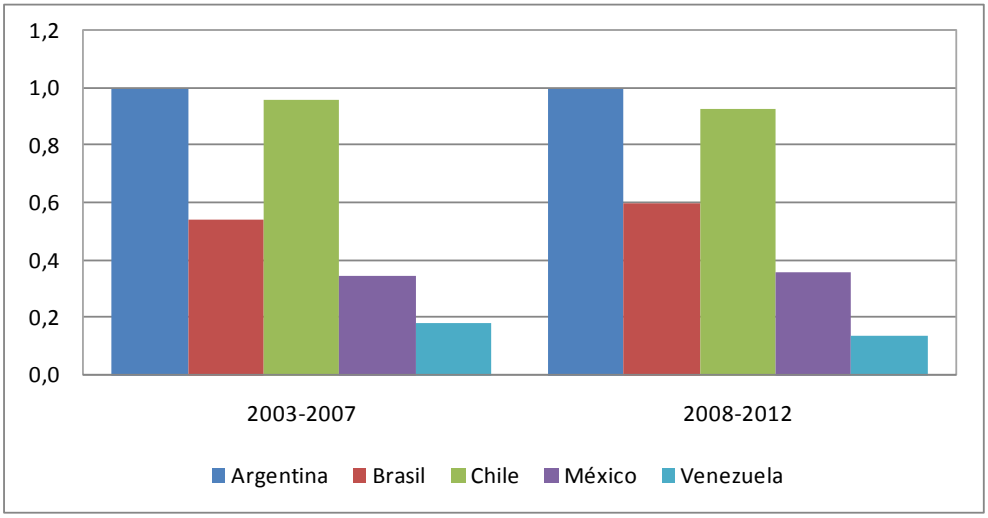


Gráfico 11.10. Relación entre el número total de artículos publicados por millón de habitantes económicamente activos, tomando como unidad la producción argentina. *Fuente*: SCImago, SCOPUS y Banco Mundial.

Si bien Argentina ha aumentado en el número de publicaciones relativas a la población económicamente activa en el último quinquenio, el nivel de producción es aun claramente inferior al de los países desarrollados relevados (Gráfico 11.11).

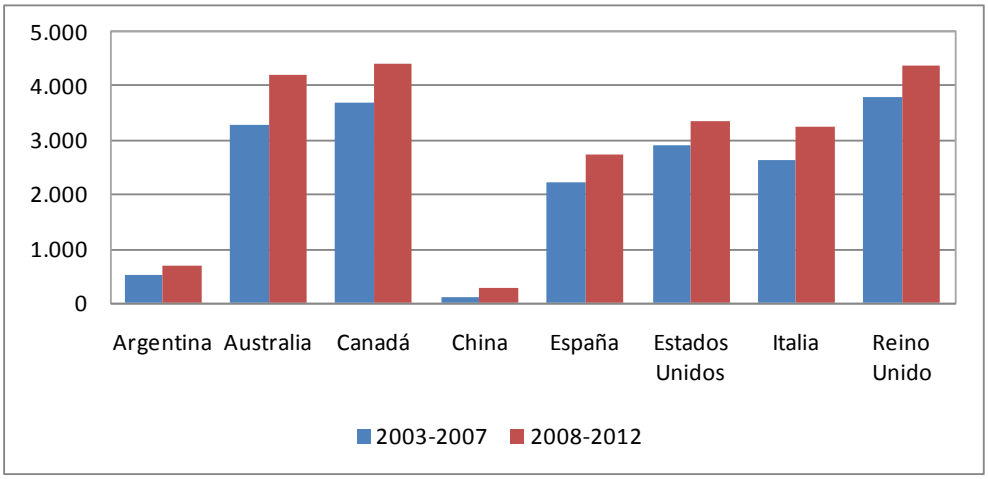


Gráfico 11.11. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuente*: SCImago, SCOPUS y Banco Mundial.

La relación entre el número total de artículos del área por millón de habitantes económicamente activos publicados por Argentina y los publicados por otros países del Mundo, a excepción de China, muestra una leve tendencia decreciente (Gráfico 11.12.).

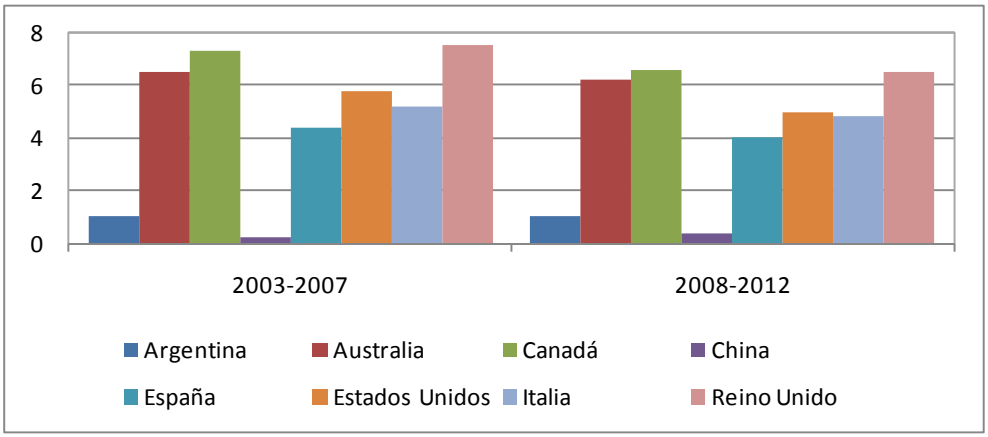


Gráfico 11.12. Relación entre el número total de artículos publicados por millón de habitantes económicamente activos, tomando como unidad la producción argentina. *Fuente*: SCImago, SCOPUS y Banco Mundial.

El Gráfico 11.13 muestra que en el período 2008-2012, respecto al 2003-2007, todos los países relevados han incrementado el número de publicaciones/millón de habitantes, aunque en diferente medida. Los que más aumentaron fueron China (159%), Brasil (49%), México (38%) y Argentina (34%).

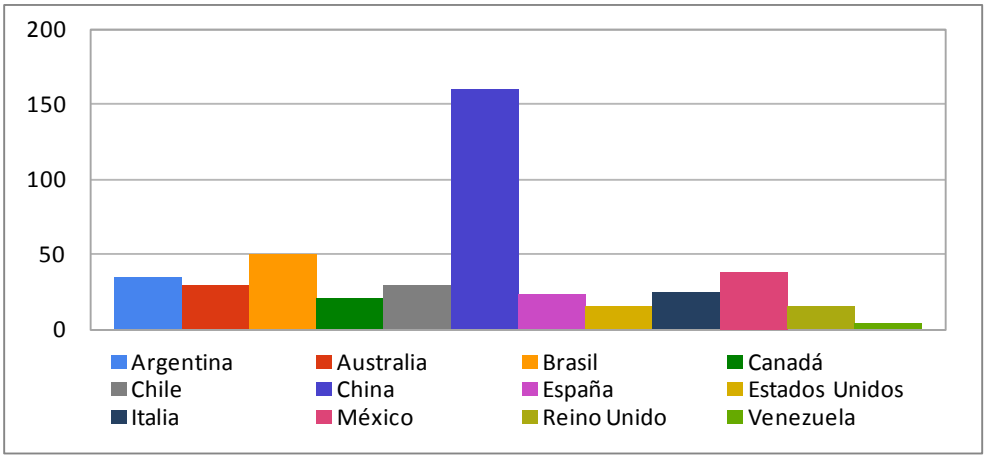


Grafico 11.13. Incremento porcentual del número de artículos por millón de habitantes económicamente activos, publicados en el período 2008-2012 respecto del período 2003-2007. *Fuente*: SCImago, SCOPUS y Banco Mundial.

El impacto de las publicaciones fue estimado por el número de citas promedio de los trabajos publicados en las distintas áreas, eliminando las autocitas. Teniendo en cuenta que el número de citas de los trabajos publicados en lo últimos años es difícil de estimar, se analizó solamente el periodo 2003-2007. En Latinoamérica, Argentina comparte el segundo lugar con México, ocupando Chile el primer lugar, y es superada por todos los países de los otros continentes relevados en este informe, excepto China.

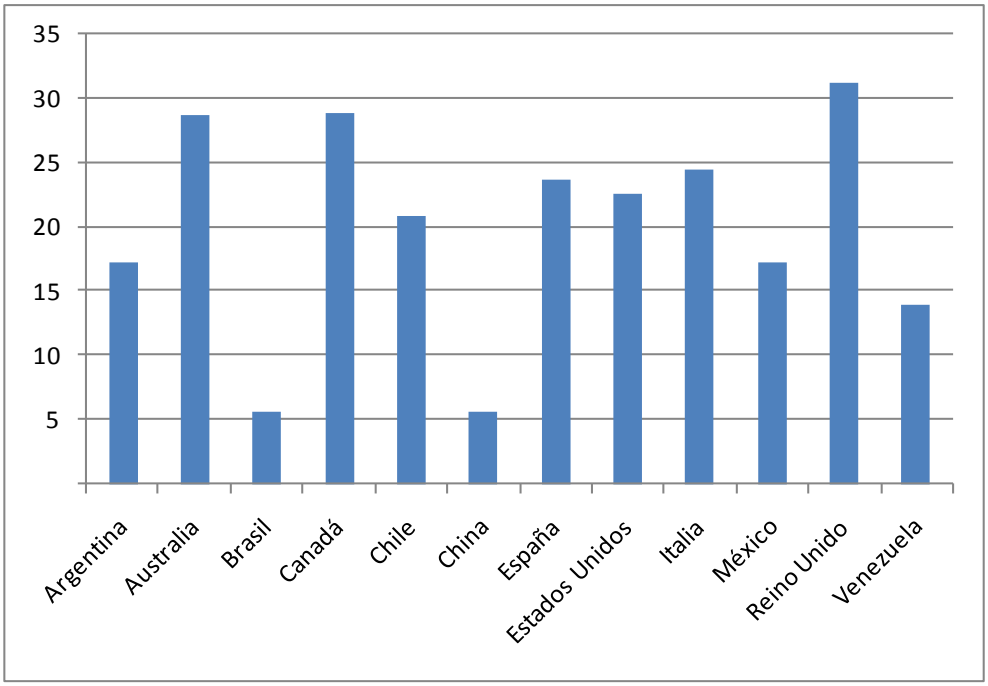


Gráfico 11.14. Número de citas promedio por artículo anual (excluidas autocitas) de cada país incluido en la comparación. Período analizado: 2003-2007. *Fuente*: SCImago

Es importante notar que el número de publicaciones obtenidos en los distintos sistemas de análisis es coherente e indican: el número total de publicaciones en los lustros 2003-2007 y 2008-2012 fue de 11.945 y 16.569, respectivamente (Gráfico 11.6); según las distintas Instituciones Nacionales relevadas, en el 2004-2008 se realizaron 8.921 publicaciones y en el lustro 2008-2012, 11.441 (Gráfico 11.8.); teniendo en cuenta que la población económicamente activa de Argentina en los lustros 2003-2007 y 2008-2012 fue de 23,7 y 24,6 millones, respectivamente; el número de publicaciones totales fue de 11.850 y 16.482 para los correspondientes lustros (Gráfico 11.9).

Si bien los datos del Gráfico 11.8 no coinciden exactamente con los mostrados en los Gráficos 11.6 y 11.9 esta discrepancia puede estar ocasionada en el origen de las bases de datos utilizadas en cada caso. Debido a la ausencia de estas informaciones en una única base de datos, el Gráfico 11.8. fue realizado en usando datos del RICyT, mientras que los Gráficos 11.6 y 11.9 se basaron en datos provenientes de Scopus y SCImago.

En todas las subdisciplinas relevadas, un porcentaje significativo de publicaciones (25-50%) se realiza en colaboración con laboratorios de otros países (Gráfico 11.15). También se observa que en los últimos años, el número de colaboraciones internacionales totales se ha mantenido constante. Los datos fueron tomados del RICyT, por lo cual existen diferencias en los nombres de las sub-areas. Para una mejor visualización, los datos se muestran como el porcentaje (%) por disciplina acumulado por año.

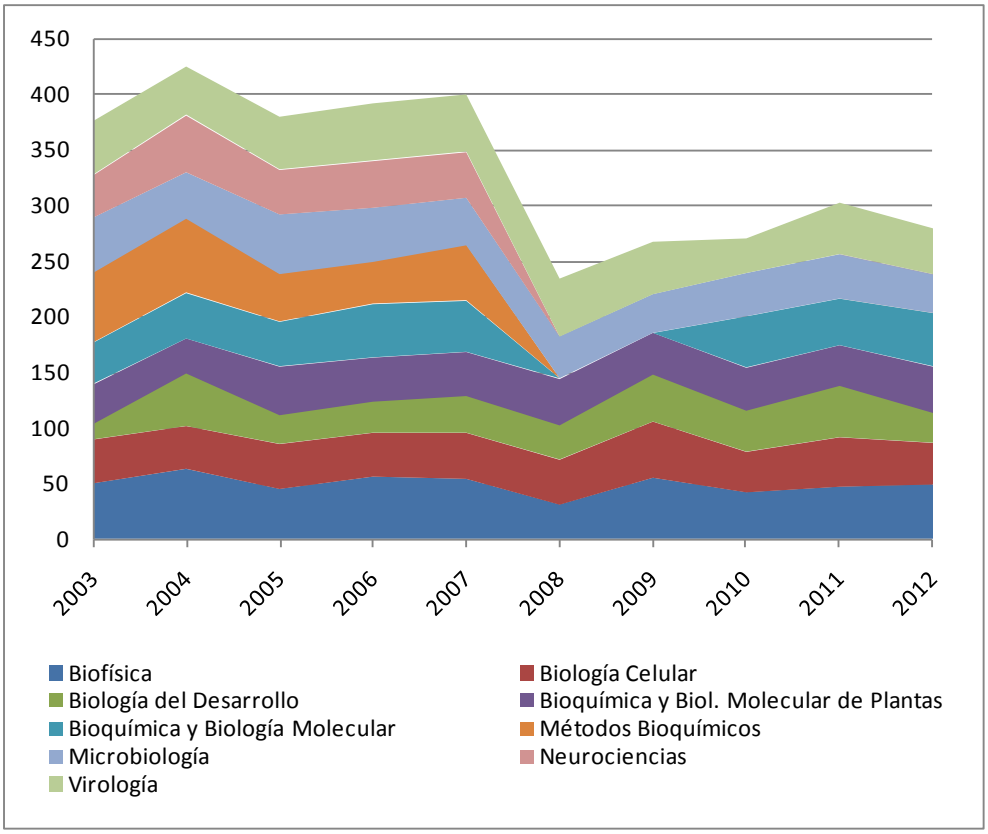


Gráfico 11.15. Porcentaje acumulado de publicaciones generadas en colaboración con investigadores de otros países. *Fuente*: RICyT.

Se debe destacar que a partir del año 2008 no se indican publicaciones realizadas en colaboración en ciertas subdisciplinas. Probablemente esto se deba a la falta de registro por RICyT más que al hecho de que las mismas se hubiesen realizado sin colaboraciones internacionales.

El total de colaboraciones de Argentina con Estados Unidos, España y Brasil superan el de las colaboraciones establecidas con los restantes 12 países (Gráfico 11.16.). Los datos fueron tomados del RICyT, por lo que pueden no corresponderse estrictamente con los datos de otras bases.

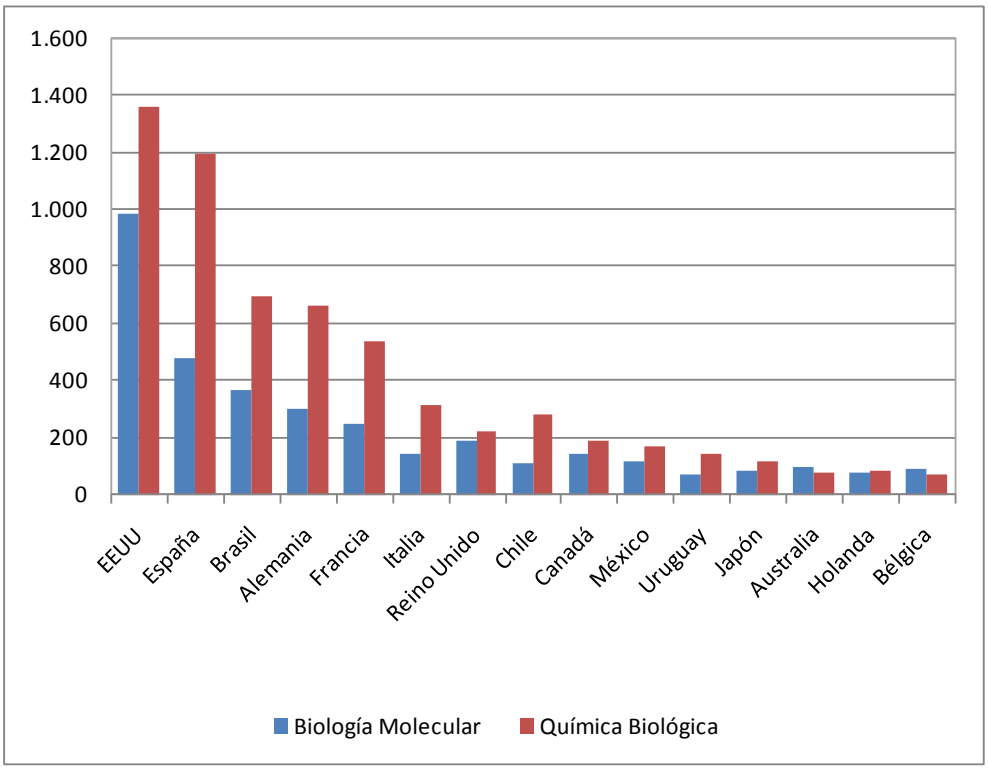


Gráfico 11.16. Nómina de países con los que Argentina ha realizado el mayor número de artículos científicos en colaboración. Se muestran los 15 principales. *Fuente:* RICyT.

Resultados de la encuesta realizada entre investigadores, indican que aproximadamente el 40% de los grupos encuestados ha colaborado con investigadores argentinos residentes en el exterior y la mayoría de los grupos (73%) posee algún investigador joven que ha realizado una pasantía corta en el exterior. Asimismo, alrededor del 70% de los cien grupos encuestados ha recibido algún pasante del extranjero (47%, entre 1 y 3 pasantes, Gráfico 11.17), principalmente provenientes de Latinoamérica o Europa.

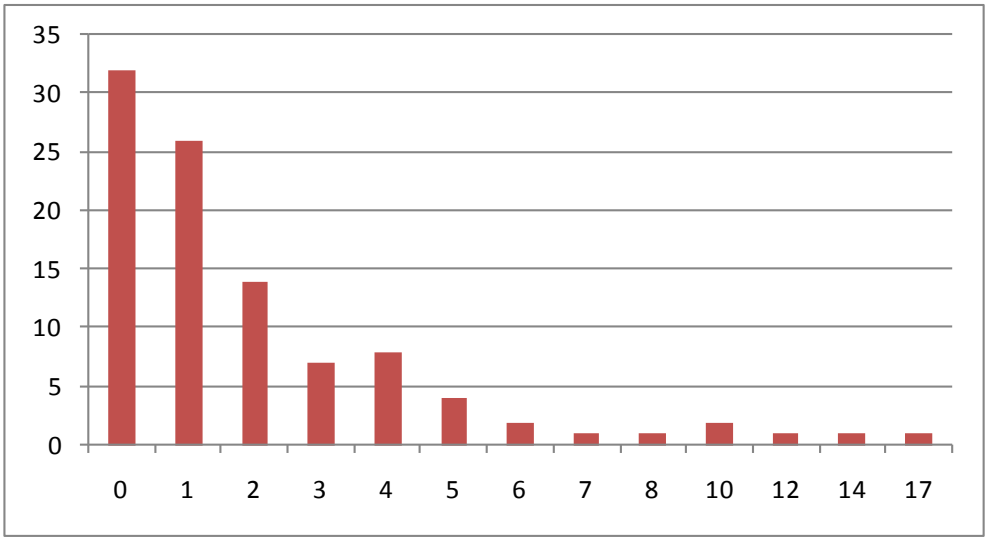


Gráfico 11.17. En el eje horizontal se indica cantidad de pasantes provenientes del extranjero. En el eje vertical se da la cantidad correspondiente de grupos de investigación. *Fuente*: encuesta a investigadores.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El número de egresados de Carreras de Grado en las Facultades de Bioquímica y Ciencias Biológicas de distintas Universidades del país no ha sufrido cambios significativos en los últimos 10 años, siendo el total de egresados en las universidades públicas entre 4 y 5 veces mayor que el de las universidades privadas (Gráfico 11.18).

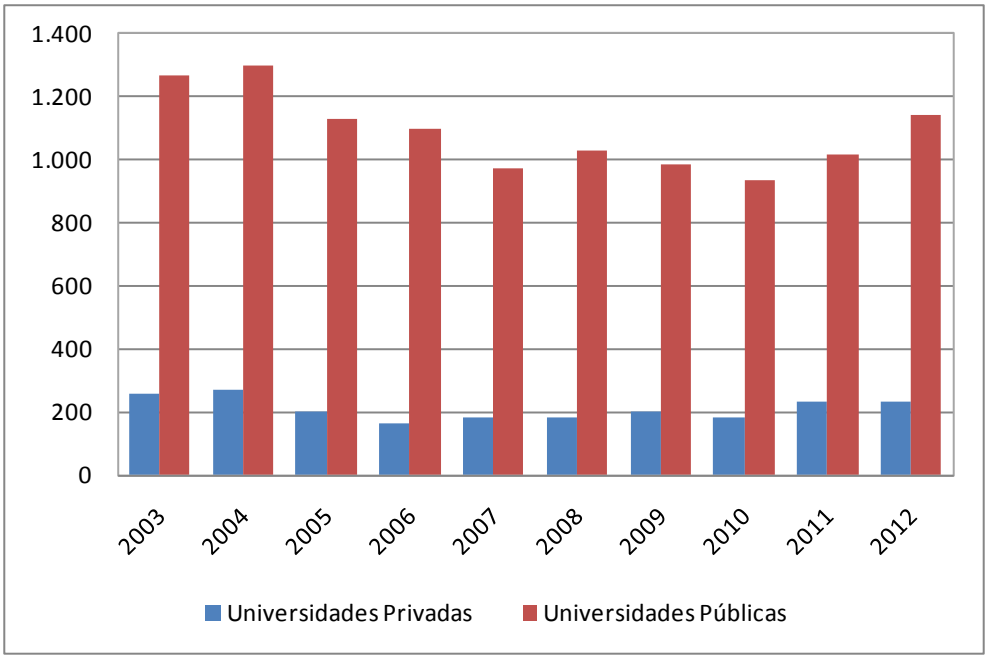
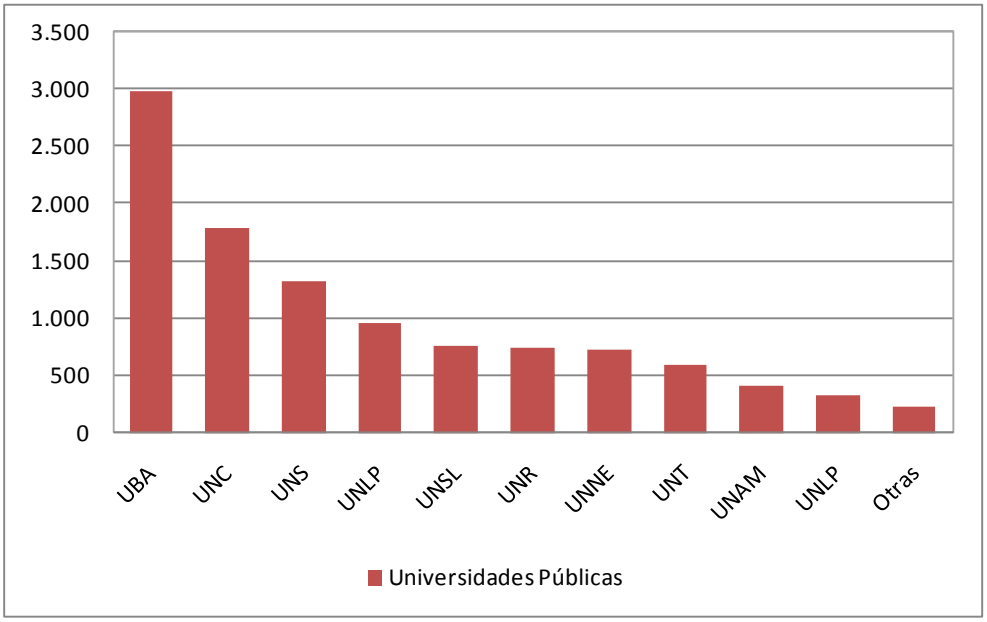
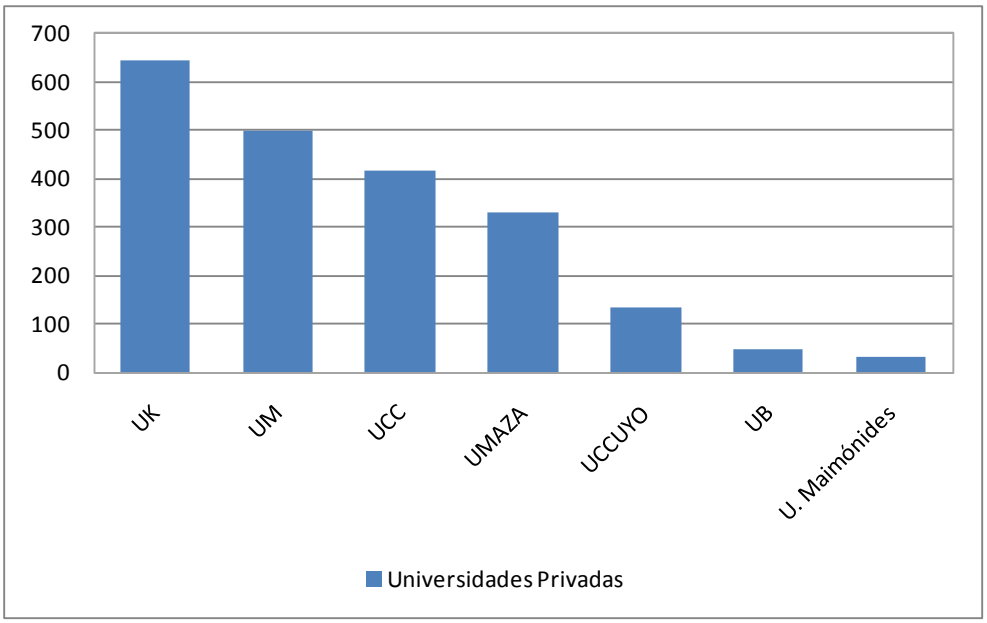


Gráfico 11.18. Evolución del número de egresados en carreras de grado en los últimos diez años. Se grafica el número de egresados en Universidades públicas y privadas en el periodo 2003-2012. *Fuente*: Ministerio de Educación, CONEAU y CUCEN.

Asimismo, se observa que, en el periodo 2003-2012, el 50% de los de los egresados de carreras de grado de las universidades nacionales proviene de las Universidades de Buenos Aires, Córdoba, del Sur y La Plata. Respecto de las universidades privadas, las que mayor cantidad de egresados registran son las Universidades John Fitzgerald Kennedy, la Universidad de Morón y la Universidad Católica de Córdoba. Estos datos pueden apreciarse en los gráficos a continuación (Gráficos 11.19).





Gráficos 11.19. Principales centros de formación de los que egresan los estudiantes de grado en el país acumulativo en el periodo 2003-2012. *Fuentes*: Ministerio de Educación, CONEAU y CUCEN.

Respecto de los egresados de carreras de Doctorado en Bioquímica y Ciencias Biológicas, la cantidad de egresados ha aumentado progresivamente, tanto en las universidades públicas como en las privadas (Gráfico11.20), destacándose un aumento relativo mayor en el número de egresados de las universidades privadas, que fue entre 2 y 3 veces mayor en las universidades públicas. Se debe mencionar que no se han considerado Maestrías debido a su escaso número y no se ha logrado información de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de La Plata.

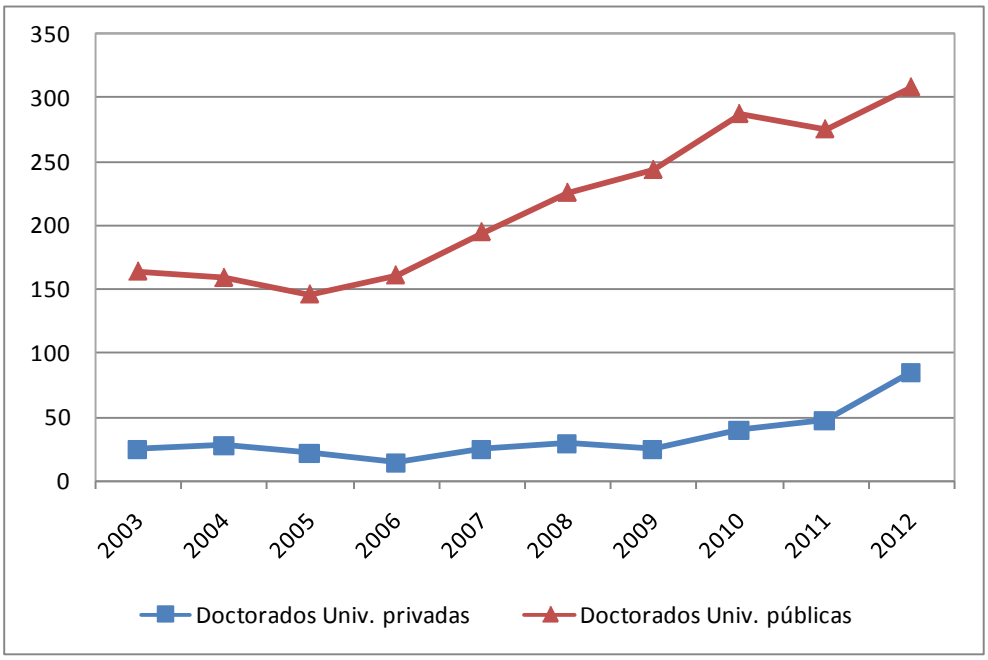


Gráfico 11.20. Evolución del número de egresados de Carreras de Doctorado en los últimos diez años. *Fuentes*: Ministerio de Educación, CONEAU, CUCEN, Secretarías de Posgrado de la UNRC, UNR, UNL y FBF de la UBA.

Con el objetivo de promover la formación de los recursos humanos en Ciencias de la Vida en nuestro país, en julio de 2012 se creó un Consorcio de Doctorados en Ciencias de la Vida, auspiciado por la Secretaría de Políticas Universitarias dependiente del Ministerio de Educación de la Nación. Entre las actividades planteadas, se encuentra la realización de cursos de posgrado con alto valor científico-académico que puedan ser tomados por estudiantes de las Carreras de Doctorado a través de becas del Ministerio de Educación de la Nación, y/o la realización de cursos de posgrado itinerantes, dictados por profesores especializados enseñando en las diferentes sedes.

Con respecto a la participación de los investigadores en la docencia secundaria y/o universitaria de grado o posgrado, los datos surgen de la encuesta a investigadores. Estos muestran que el 58 % de los grupos encuestados posee entre 1 y 4 integrantes involucrados en la docencia universitaria de grado y el 66% de ellos posee entre 1 y 3 integrantes que realizan docencia universitaria de post-grado. Asimismo, se observa que el 56% de los encuestados han supervisado el desarrollo de entre 2 y 6 tesis doctorales. Respecto del destino laboral de los graduados de posgrado, el 50% de los mismos se encuentran en el Sistema Científico Nacional y un 20% en el extranjero. La presencia de egresados del posgrado en otros sistemas nacionales o en empresas públicas o privadas es insignificante. Prácticamente no se detectaron (excepto uno) grupos de investigación involucrados en docencia de escuelas secundarias o terciarias, mientras que el 30% de los encuestados indicó la presencia de 1 investigador involucrado en la difusión y divulgación científica en escuelas secundarias y en la sociedad. Los datos se muestran en el Gráfico 11.21.

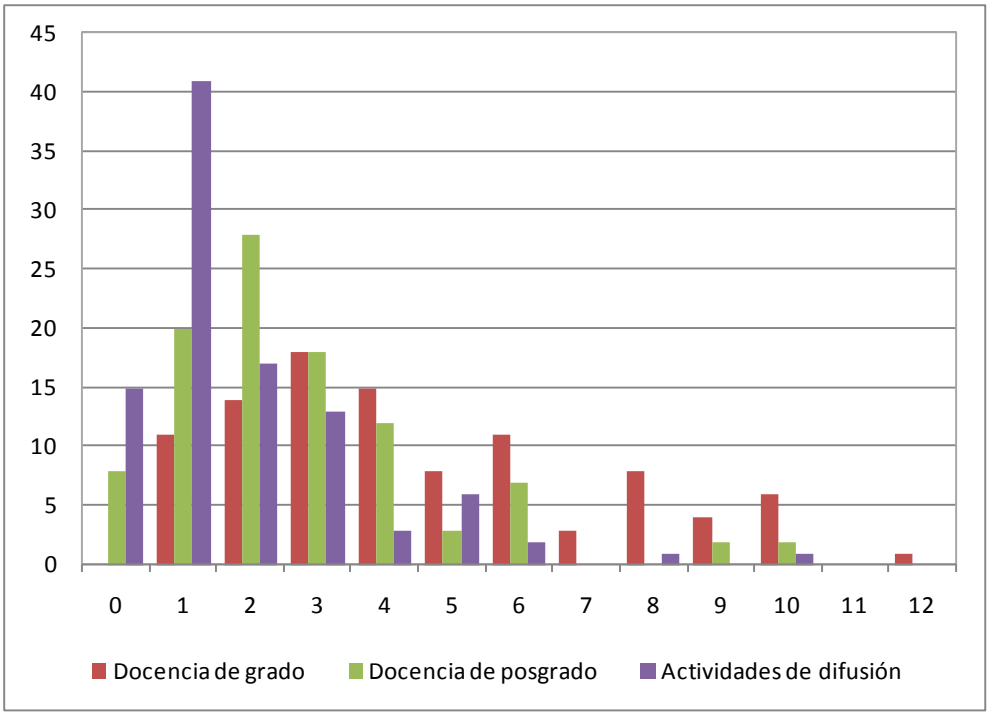


Gráfico 11.21. En el eje horizontal se indica cantidad de investigadores involucrados en tareas de grado, de posgrado y difusión. En el eje vertical se da la cantidad correspondiente de grupos de investigación. *Fuente*: encuesta a investigadores.

En concordancia con el aumento del número de egresados de carreras de doctorado, entre el año 2003 y 2008 ha habido un aumento sostenido del número de becarios doctorales del CONICET, manteniéndose con pocas variaciones entre el 2009 y el 2012. Un sostenido aumento se observa también en el número de becarios posdoctorales, principalmente hasta el 2010 y se mantiene constante hasta el 2012.

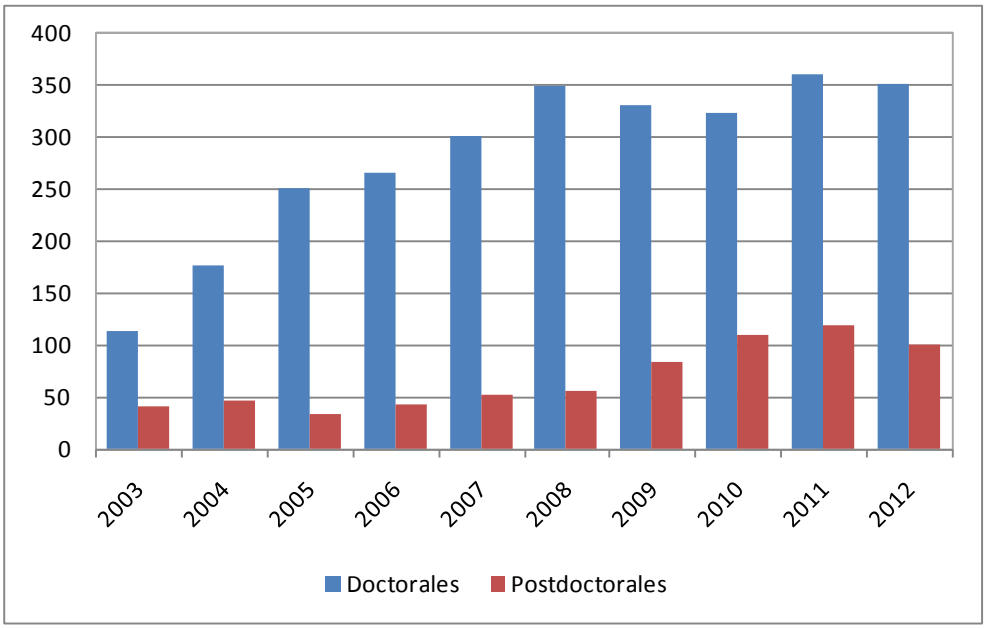


Gráfico 11.22. Número total de becarios doctorales y posdoctorales de CONICET (Disciplina Bioquímica y Biología Molecular), en el período 2003-2012. *Fuente*: CONICET.

SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS

Sociedad Argentina de Investigación en Bioquímica y Biología Molecular (SAIB)

La Sociedad Científica más relacionada con las disciplinas Química Biológica y Biología Molecular en nuestro país es la Sociedad Argentina de Investigación en Bioquímica y Biología Molecular. Esta Sociedad se fundó en 1965 bajo la denominación de Sociedad Argentina de Investigación Bioquímica. En 1994, la Sociedad cambia su nombre a Sociedad Argentina de Investigación Bioquímica y Biología Molecular con la finalidad de incorporar la gran cantidad de trabajos que se generaban en esta última disciplina. Desde su creación, la SAIB tiene por principal objetivo reunir a quienes realizan investigaciones originales en el campo de la Química Biológica y la Biología Molecular, con el objeto de intercambiar informaciones y trabajos, propiciar el adelanto de la Química Biológica y la Biología Molecular en la Argentina y propender a la vinculación con entidades similares de todos los países u organizaciones internacionales existentes o a crearse. La SAIB propicia la realización de congresos, conferencias, estudios, publicaciones, bibliotecas y toda actividad relacionada con el desarrollo de la Química Biológica y la Biología Molecular en nuestro país.

El avance del conocimiento dio lugar a la posterior creación de otras sociedades, con temáticas más específicas. Entre ellas, se destacan las que se describen a continuación.

La Sociedad Argentina de Biofísica (SAB)

Fundada en 1972, es la más antigua de las Sociedades de Biofísica de América Latina. Desde su creación, la SAB ha celebrado ininterrumpidamente una reunión científica anual con la política permanente de promover la comunicación y la cooperación entre los investigadores miembros y las Sociedades Científicas con intereses afines.

La Sociedad Argentina de Investigación en Neurociencias (SAN)

Fue fundada en 1986 como Sociedad Argentina de Neuroquímica, y en el año 2004 se cambia a su actual denominación. Esta Sociedad pretende impulsar el desarrollo de la neuroquímica en el país, propender al adelanto y la divulgación

de conocimientos en el área de la neuroquímica, estrechar las relaciones entre los profesionales pertenecientes a la disciplina, como así también facilitar la presentación y discusión de los trabajos científicos y organizar cursos.

La Sociedad Argentina de Microbiología General (SAMIGE)

Fue creada en 2004. El propósito de esta Sociedad es aglutinar a todos los científicos que realizan investigación básica y aplicada en Microbiología con el objetivo de promover el intercambio de información científica y de materiales, favorecer la formación de recursos humanos, a través de la realización de pasantías y contribuir a la actualización de los microbiólogos.

La Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal (SAFV)

Cuenta con personería jurídica como asociación de carácter civil, bajo el nombre de Asociación Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal. Sus objetivos son: promover el conocimiento de la Fisiología Vegetal y de estudios dirigidos a comprender en un sentido amplio el funcionamiento de las plantas, difundir todo tipo de información que contribuya a estos fines; favorecer el intercambio de conocimientos, ideas y experiencias entre investigadores. Entre las actividades de la SAFV se destaca la organización bienal de la Reunión Argentina de Fisiología Vegetal (RAFV) y cada 6 años del Congreso Latinoamericano de Fisiología Vegetal (CLAFV).

La Sociedad Argentina de Virología (SAV)

Se fundó en 1967 y ha desarrollado, desde sus inicios, actividades dirigidas a microbiólogos interesados en esta rama de la microbiología pero también a jóvenes profesionales en formación.

La Sociedad Argentina de Protozoología (SAP)

Fue fundada efectivamente en el año 1981. Sus objetivos son: promover y difundir la investigación científica y tecnológica de la Protozoología en particular y de la Parasitología en general en todo el país, fortalecer la formación científica de los profesionales en dicha área y estimular la comunicación entre distintas entre distintos grupos de trabajo, del país y del exterior, y forma parte además de la Comisión Internacional de Protozoología, integrada por Sociedades científicas de todo el mundo.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS Y DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

Lamentablemente, no existen revistas argentinas de alto impacto en el área de las Ciencias Biológicas, perteneciendo todas al cuartil inferior de acuerdo con SCImago. Asimismo, se destaca la buena aceptación por la comunidad científica nacional y público en general de la revista *Ciencia Hoy* para temas de divulgación.

Journal of Basic and Applied Genetics

Es la revista oficial de la Sociedad Argentina de Genética (SAG). Esta es una revista electrónica de libre acceso que publica contribuciones (en castellano y en inglés) relacionadas con todas las áreas de la genética en sentido amplio. También pueden ser consideradas las contribuciones en disciplinas o áreas relacionadas (Bioquímica, Fisiología, Sistemática, entre otras) si contienen información de significado directo para la genética en sentido amplio.

BIOCELL

Es la revista oficial de Sociedades Latinoamericanas de Microscopía Electrónica (SLAME), Iberoamericana de Biología Celular (SIABC), Federación Iberoamericana de Biología Celular y Molecular, y de la Sociedad Argentina de Investigaciones en Bioquímica y Biología Molecular (SAIB). Esta revista recibe artículos de investigación en Biología Celular y Molecular, Reproducción y Desarrollo de Vertebrados, Biología de Invertebrados, y Biología de Plantas.

Revista Argentina de Microbiología

Es una publicación trimestral editada por la Asociación Argentina de Microbiología y destinada a la difusión de trabajos científicos en las distintas áreas de la Microbiología.

Ciencia Hoy

Esta publicación tiene como objetivo difundir el trabajo de científicos y tecnólogos de toda Latinoámerica, en el campo de las ciencias formales, naturales, sociales y de sus aplicaciones tecnológicas. La Asociación Ciencia Hoy promueve, participa y realiza conferencias, encuentros y reuniones de divulgación del trabajo científico y tecnológico rioplatense, como así también colabora y realiza intercambios con asociaciones similares de otros países.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la mayoría de las subdisciplinas analizadas, el número de investigadores jóvenes es inferior al de investigadores formados. Aún así, el Gráfico 11.1 muestra que en el año 2014, aproximadamente el 50 % de los investigadores de las áreas Química Biológica y Biología Molecular son Investigadores Asistentes en la CIC-CONICET. Es posible calcular que entre los años 2003 y 2013 ha existido, como mínimo, un incremento del 100% de investigadores Asistentes[1]. Esto concuerda con el aumento de becas doctorales y posdoctorales del CONICET (2003-2012, Gráfico 11.22) para el área y con el Gráfico 11.20 donde se muestra el aumento de egresados de las carreras de Doctorado en los últimos diez años, tanto en Universidades públicas (aproximadamente 100%) como privadas (aproximadamente 300%).

A partir de los datos presentados, se desprende que ha habido un incremento en el número de egresados de carreras de doctorado, aunque el número de egresados de grado no ha variado significativamente. De esto surge también que un mayor número de egresados de carreras de grado han elegido la formación doctoral en el área Química Biológica y Biología Molecular como complemento de su formación académica. La formación de estos estudiantes se puede asociar al incremento del número de becas doctorales que, en mayor número, han sido otorgadas por el CONICET.

Entre los años 2003 al 2008 el nivel de financiamiento a través de FONCyT (los subsidios locales más importantes del área), osciló entre los 3 y 6 millones de dólares estadounidenses/covocatoria anual (Grafico 11.3). A partir de 2010, se observa un crecimiento del financiamiento, alcanzando en 2013 valores cercanos a los 8 millones de dólares estadounidenses por lo que en el período 2003-2013 el aumento del financiamiento en dólares ha sido de 25%. Es de hacer notar que prácticamente todos los insumos y equipamientos utilizados en el área deben ser abonados en divisas. De esto se deduce que, aunque es destacable la incorporación de jóvenes investigadores en el área, se ha producido un desfinanciamiento del sistema, ya que el incremento del monto total de subsidios no ha acompañado el incremento de investigadores mencionado previamente, lo cual dificulta las tareas de investigación en Ciencias Biológicas.

De la encuesta se desprende que la mayor parte del financiamiento para investigaciones proviene del CONICET, el FONCyT y las universidades, si bien un número importante de los encuestados declara tener o haber tenido

1 www.conicet.gov.ar, CONICET en cifras, Categoría y Gran Area/año. Ciencias Biológicas y de la Salud, número de Inv Asistentes, año 2007: 413, año 2013: 852.

financiamiento internacional, principalmente de Estados Unidos, Alemania, España, Brasil, Francia y Reino Unido. La mayoría de los investigadores desarrollan tareas docentes de grado y posgrado en universidades nacionales públicas o privadas. Asimismo, se visualizan como principales inconvenientes los problemas de infraestructura, compra y/o reparación de equipamiento y la importación de drogas e insumos.

En la mayoría de las subdisciplinas relevadas, se observa en los últimos años, un crecimiento en el número absoluto de publicaciones realizadas por investigadores argentinos; el porcentaje de contribución de Argentina a las publicaciones totales de Latinoamérica disminuyó alrededor del 8%, aunque se mantuvo constante con respecto a la contribución a nivel mundial. Una importante proporción de estos trabajos fueron realizados en colaboración con investigadores radicados en otros países, principalmente en Estados Unidos, España y Brasil.

Normalizando por la población económicamente activa, Argentina realizó el mayor número de publicaciones en los quinquenios 2003-2007 y 2008-2012 cuando se la compara con otros países de Latinoamérica. En comparación con algunos países de Norteamérica, Europa y Asia muestra que, aun normalizada a la población económicamente activa, Argentina tiene un nivel de producción al menos 4 veces inferior, excepto en el caso de China. El número de citas promedio de los trabajos científicos argentinos está en la media de los países latinoamericanos y es inferior al del resto de los países relevados, excepto China. Finalmente, Argentina incrementó en un 34% el número de publicaciones por millón de habitantes en el área, cuando se comparan los lustros 2003-2007 y 2008-2012.

La mayor cantidad de Institutos y Centros de investigación que desarrollan tareas en Química Biológica y Biología Molecular se encuentran concentrados en la provincia de Buenos Aires, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y las provincias de Córdoba y Santa Fe.

A partir de diferentes fuentes (entre ellas la opinión de los investigadores encuestados), se detectaron como áreas de vacancia las OMICAS (proteómica, transcriptómica, metabolómica, lipidómica, glicómica, etc.), la nanobiotecnología, la bioinformática, la microscopía avanzada y de super-resolución, la cristalografía de rayos X para el estudio de la estructura de macromoléculas, la generación de animales transgénicos mediante la tecnología CRISPR/Cas, el estudio de fármacos (naturales o de diseño) y las condiciones para realizar ensayos en humanos, el estudio de plantas autóctonas como fuente de alimento y fármacos (naturales o de diseño), entre otras.

Recomendaciones específicas para el área

Además de las recomendaciones comunes a todas las áreas, mencionadas en el Capítulo 1, particularmente se detalla lo siguiente:

Implementar programas para el desarrollo de las áreas de vacancias mencionadas anteriormente. Específicamente, implementar programas destinados a generar centros para realizar secuenciación masiva de ácidos nucleicos, desarrollar las OMICAS, la nonobiotecnología, la bioinformática y las técnicas de microscopía avanzada, incluyendo la microscopia de super-resolución. Asimismo, sería deseable implementar programas tendientes a incrementar el número de laboratorios y la infraestructura necesaria para llevar adelante estudios de estructura de biomoléculas a través de cristalogtafía de Rayos X y otras tecnologías modernas. También es necesario estimular la capacitación de investigadores y el desarrollo de infraestructura necesaria para la generación de transgénicos para su uso en investigación básica.

Anexo Capítulo 11: Química Biológica y Biología Molecular

Microbiología Molecular - Bacterias (Eleonora García Vescovi)

En nuestro país, la biología molecular bacteriana comienza en los años 50 en lo que actualmente es el Instituto ANLIS Dr. Carlos G. Malbrán. En los años 63 y 66, numerosos científicos del área deben emigrar; unos pocos lograron reubicarse en la CNEA. Inspirados por el Dr. Leloir, en 1980 surge el INGEBI, dirigido por el Dr. Héctor Torres, donde se impulsó el desarrollo de la Biología Molecular a través de la docencia de post-grado. Por su parte, el Dr. Rodolfo Ugalde, hace sus primeras incursiones en la biología molecular posibilitando luego el desarrollo de proyectos biotecnológicos de alto impacto y la creación IIBB-CONICET, con sede en la UNSaM. Entre los 70 y 80, en la ciudad de Tucumán, se crean el CERELA, dedicado al estudio de lactobacilos; el PROIMI, donde se aplica la microbiología diversos procesos biotecnológicos; y el INSIBIO, donde se inician trascendentes estudios de bacteriología molecular. A partir del año 1985, se genera en dependencias de la FCByF-UNR, el núcleo fundacional de lo que es hoy el IBR, que alberga numerosos grupos de investigación en genética microbiana, microbiología estructural y la patogénesis bacteriana. En la ciudad de Córdoba se funda, en 1982, el CIQUIBIC, dirigido por el Dr. Ranwel Caputto y, en 2004, el CIBICI. Ambas instituciones se destacan en el desarrollo de líneas de trabajo consolidadas en genética bacteriana. Como un desprendimiento del CIBICI, en la Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, se estableció un grupo de investigaciones en microbiología molecular asociada a la actividad agraria. Como consecuencia del proceso de repatriación de científicos, más recientemente se han establecido grupos orientados a microbiología de suelos en las Universidades Nacionales de La Plata, Santa Fe, Quilmes, San Luis, Bahía Blanca, la Patagonia San Juan Bosco y General Sarmiento; en el CENPAT (Puerto Madryn, Chubut), IIB-CONICET-Univ. Nacional de Mar del Plata) y en FIBA (Mar del Plata). En la actualidad, las dependencias mencionadas, conjuntamente con grupos de investigación radicados en la FCEyN-UBA y el Instituto Malbrán, reúnen el mayor número de científicos abocados a la investigación y la formación de recursos humanos en bacteriología molecular; tales como, genética, patogénesis, interacción planta-patógeno, bioquímica estructural, epidemiología molecular, microbiología del suelo, microbiología de alimentos, ecología y biotecnología. También hay grupos de investigación en unidades del INTA del país, como es el caso del INTA-Castelar (Provincia de Buenos Aires), en que se aplica la bioquímica y genética molecular de bacterias al campo de

la biotecnología pecuaria, centrados en el desarrollo de vacunas y metodología diagnóstica.

El incremento de la bacteriología molecular se refleja en la creación en el año 2004, de la Sociedad Argentina de Microbiología General y a partir de entonces, la organización de un congreso anual. En la reunión correspondiente al corriente año 2015, se presentaron alrededor de 200 trabajos científicos.

A fin de mejorar a nivel nacional aspectos metodológicos y de infraestructura, se debería incrementar facilidades para secuenciación masiva de ácidos nucleicos, análisis de transcriptómica, proteómica y metabolómica, el desarrollo de la bioinformática y de técnicas de microscopia de avanzada incluyendo la microscopia de super-resolución. Asimismo se destaca como vacancia, infraestructura y modelos animales para el análisis de los mecanismos moleculares de patogénesis bacteriana.

Biología Celular (Carlos Arregui, Maria Teresa Damiani, Gabriela Salvador)

La Biología Celular moderna es una disciplina amplia y dinámica, que combina los intereses de una variedad de campos que incluyen a la Biología Molecular, Estructural, Bioquímica, Biofísica, Microbiología, Fisiología, Biología del Desarrollo, Neurobiología, etc. En un sentido estricto, los biólogos celulares investigan a la célula como una unidad básica estructural y funcional de la vida. Como tal no solo se interesan por identificar y categorizar sus componentes sino también por dilucidar las reglas que gobiernan su integración y coherencia espacio-temporal. El desarrollo de la Biología Celular en Argentina es creciente aunque su estado actual es todavía relativamente modesto en relación a otras áreas como la Bioquímica, Fisiología y Neurociencias. Es importante señalar que desde el 2002 a la fecha se ha ampliado notablemente la capacidad de microscopía de los institutos de investigación del país, con la adquisición de más de 100 grandes equipos que incluyen microscopios electrónicos, confocales (aproximadamente 25) y AFM (*Atomic Force Microscopy*).

Como el resto de las ciencias biomédicas, el desarrollo de la Biología Celular le debe su cuota de impulso a los grandes pioneros de la ciencia Argentina, como Bernardo A. Houssay y Luis F. Leloir, ambos galardonados con el premio Nobel, en 1947 y 1970, respectivamente.

Uno de los primeros biólogos celulares en Argentina fue Eduardo de Robertis (1913-1988), quien fue Director del Instituto de Anatomía General Comparada y Embriología de la Universidad de Buenos Aires entre los años 1957 y 1973, y que corresponde al actual Instituto de Biología Celular y Neurociencia

Profesor E. de Robertis. Su grupo introdujo el microscopio electrónico en Argentina y emplearon técnicas ultraestructurales para estudiar los mecanismos de la transmisión sináptica, descubriendo las vesículas sinápticas. Los discípulos directos o indirectos del Dr. De Robertis mantuvieron el alto nivel científico de las publicaciones y trabajos iniciales, formaron investigadores reconocidos internacionalmente. En 1946, E. de Robertis junto a Wiktor Nowinski y Francisco Saez publicaron un libro sobre la morfología y funciones de la célula, muy poco conocidas en aquel tiempo, que se tituló *Citología General*, que fue traducido a más de nueve idiomas. Una versión actual, revisada y corregida de éste libro se titula *Biología Celular y Molecular de De Robertis*, editorial El Ateneo.

Otro evento fundador fue la creación del Instituto de Histología y Embriología (IHEM) de la Universidad de Cuyo en Mendoza por el Dr. Mario Héctor Burgos, en 1957. Su actividad estuvo inicialmente orientada a la Biología de la Reproducción, pero actualmente es un Instituto multidisciplinario que agrupa investigadores muy activos en distintas áreas de biología celular. El IHEM contó desde sus inicios con equipamiento de vanguardia. El primer microscopio electrónico fue adquirido en 1958 por la UNCuyo. Posteriormente se incorporaron tres microscopios electrónicos de transmisión y uno de barrido posicionando al IHEM a la vanguardia del desarrollo de la microscopía electrónica en la región.

En Córdoba se concentran varios grupos importantes de Biología Celular en la Facultad de Ciencias Químicas. En el Departamento de Química Biológica se encuentra el Centro de Investigaciones en Química Biológica de Córdoba, CIQUIBIC-CONICET, el cual fue creado en 1963 y dirigido por el Dr. Ranwel Caputto. En el Departamento de Bioquímica Clínica se encuentra el Centro de Investigaciones en Bioquímica Clínica e Inmunología, CIBICI-CONICET. Otro centro de investigación en biología celular importante en Córdoba es el Instituto de Investigación Médica Mercedes y Martín Ferreyra (actualmente INIMEC-CONICET). El Instituto se creó en 1947 y el primer director fue el Dr. Oscar Orías, discípulo directo del Dr. Bernardo Houssay. En el año 2004 uniendo los esfuerzos del INIMEC y del CIQUIBIC y posteriormente el CIBICI, se crea el Centro de Microscopía cuyos recursos humanos, infraestructura y equipamiento de vanguardia lo convierten en un centro de referencia nacional.

En la ciudad de Buenos Aires se concentran varios grupos que en los últimos años han contribuido a la expansión de la Biología Celular en el país en temas relacionados a control de calidad del plegado de proteínas, regulación de la síntesis de proteínas y la expresión génica en respuesta al estrés celular, mecanismos reguladores del ciclo celular y la estabilidad genómica, función y plasticidad neuronal, neurodegeneración y células madre y mecanismos de señalización y procesamiento de información a nivel celular en diversos sistemas, neuronas, levaduras y células tumorales. Los centros más importantes

son: la Fundación Instituto Leloir; el IFIBYNE (Instituto de Fisiología, Biología Molecular y Neurociencias); el IBYME (Instituto de Biología y Medicina Experimental); el INGEBI (Instituto de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular, Dr. Héctor Torres); el IBCN (Instituto de Biología Celular y Neurociencia, Profesor E. de Robertis). En la FCEyN de la UBA se encuentra el Departamento de Química Biológica y el Centro de Microscopías Avanzadas, que funciona como una unidad dedicada a prestar servicios y promover investigación en diversas áreas, incluida la Biología Celular. Cabe mencionar también el recientemente creado Instituto de Investigación en Biomedicina de Buenos Aires (IBIOBA), Instituto *partner* de la Sociedad Max Planck. En la provincia de Buenos Aires hay grupos que desarrollan investigación en Biología Celular en el IIB-INTECH (Instituto Tecnológico de Chascomús) y la UNSAM. En Bahía Blanca se encuentra el Instituto de Investigaciones Bioquímicas de Bahía Blanca (INIBIBB), asociado al Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia de la Universidad Nacional del Sur. Hacia la década del 80, las líneas de investigación se ampliaron hacia la neurobiología de la transmisión sináptica e incorporaron técnicas de avanzada en electrofisiología, microscopía confocal y de fluorescencia de alta resolución. Otro centro de investigaciones recientemente creado por iniciativa de la UNS y del CONICET, es el Instituto de Ciencias Biológicas y Biomédicas del Sur (INBIOSUR).

En Rosario, provincia de Santa Fé, las investigaciones en Biología Celular han recibido un impulso importante en el Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario (IBR) donde entre otras líneas de trabajo se ha impulsado el uso del pez cebra como un biomodelo para el estudio de la biología del desarrollo.

Diferentes aspectos de Biología Celular se estudian en el INSIBIO (Instituto Superior de Investigaciones Biológicas, Tucumán); IMBICE (Instituto Multidisciplinario de Biología Celular,La Plata); en el LAMAE (Laboratorio de Microscopía Aplicada a Estudios Moleculares y Celulares, entre Ríos), que pertenece a la Facultad de Ingeniería (Bioingeniería - Bioinformática) de la Universidad Nacional de Entre Ríos (campus de Oro Verde). El LAMAE ofrece servicios Microscopia Electrónica de Transmisión y Barrido, varios modos de Microscopia Óptica, etc. No existe una Sociedad de Biología Celular en nuestro país. La Sociedad Argentina de Investigación en Bioquímica y Biología Molecular, SAIB, tiene una sección de biología celular que cuenta con aproximadamente 130 miembros.

Recientemente, una iniciativa de investigadores del Instituto Leloir, Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario (IBR), Instituto de Investigaciones Biotecnológicas-Instituto Tecnológico de Chascomús (IIB-INTECH) y del Centro de Investigaciones en Bioquímica Clínica e inmunología (CIBICI) han logrado establecer un Taller en Biología Celular y del Desarrollo

que durante el corriente año (2014) realizó su segunda versión anual en la localidad de Chascomús, con aproximadamente cien participantes.

Biología del Desarrollo (Manuel Aybar)

La Biología del Desarrollo en Argentina comienza a desarrollarse en los 50, con las primeras investigaciones de los doctores Armando Pisanó y Barbieri en la UNCo y UNT, respectivamente, estudiando el desarrollo embrionario y la biología reproductiva de los anfibios. Las investigaciones realizadas en ese período toman fuerza en los años subsiguientes alcanzando hacia finales de los años 60 una veintena de artículos publicados en las revistas internacionales de primer nivel de esa época. El trabajo de estos pioneros dio lugar al surgimiento de nuevas líneas de investigación y la formación de numerosos discípulos. Entre los años 70 y 80, las investigaciones se orientaron al estudio de la reproducción en *Rhinella arenarum* y de aspectos claves del desarrollo embrionario, tales como el establecimiento de hojas germinales y la participan de glicoproteínas en las interacciones celulares inductivas del desarrollo. En 1978, en la UNT, se crea el DEBIODE (Departamento de Biología del Desarrollo), dependiente de CONICET y dirigido por el Dr. Barbieri, el cual dio luego lugar a la conformación del INSIBIO (CONICET-UNT). Entre los años 1990 y 2000, el INSIBIO sufre la falta de crecimiento en el número de investigadores en el área, que se revierte a partir de la década del 2000, con la incorporación de investigadores formados en el exterior que permitieron incorporar al *Xenopus laevis* como modelo experimental y a la Biología Molecular como herramienta para el estudio del desarrollo embrionario. Así, se lograron importantes contribuciones científicas de alto impacto y la formación de numerosos recursos humanos en la disciplina. Por su parte, en la UNC, la Biología del Desarrollo aparece en los años ’60 con las investigaciones del Dr. Benito Monis, pero es luego de la incorporación de recursos humanos formados en el exterior cuando la disciplina cobra impulso a nivel internacional a través de contribuciones sobre la motilidad de la población de las células de la cresta neural del embrión de pollo. En el año 2002, se crea CEBICEM (FCEFN-UNC) y en 2011, IIBYT (CONICET-UNC). Además, en el Departamento de Fisiología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC, se realizan investigaciones en Biología del Desarrollo utilizando el modelo experimental *Drosophila melanogaster*. En la UNR, las investigaciones en biología del desarrollo se inician en 1987, en la FCByF, estudiando los mecanismos moleculares de la fecundación y el desarrollo embrionario inicial usando *R. arenarum* como modelo experimental. Posteriormente, con la creación del IBR, se incorporó al pez cebra *Danio rerio* como modelo animal para el estudio de los mecanismos moleculares responsables del control de

la expresión génica durante el desarrollo embrionario. En el IBR, también desarrolla sus investigaciones un grupo de científicos abocados al estudio del rol de los micro ARN en el desarrollo vegetal. Este grupo es referente a nivel internacional en esta línea de investigación y ha generado resultados que han sido publicados en las revistas internacionales del más alto nivel en la disciplina. A comienzos de la década de 1990, el Dr. Andrés Carrasco se instala en la Facultad de Medicina de la UBA, luego de su formación posdoctoral en el exterior. El Dr. Carrasco lideró líneas de investigación tendientes a evaluar la participación de genes *Hox* en el desarrollo del sistema nervioso en embriones de *Xenopus laevis*. Los resultados de las investigaciones de este grupo fueron publicados en las revistas internacionales del más alto nivel en la disciplina. Por otro lado, en 1998, en el Instituto Leloir, Buenos Aires, se comenzaron a realizar investigaciones sobre los mecanismos moleculares de respuesta a la hipoxia y la formación de estructuras traqueales utilizando *Drosophila melanogaster*. Estas investigaciones rindieron resultados originales que fueron publicados en las más prestigiosas revistas científicas y numerosos recursos humanos en el área. También en el Instituto Leloir, pero en 2009, se estableció un grupo de investigación que estudia en ratones los mecanismos moleculares que establecen el patrón dorso-ventral en el tubo neural que confiere identidad neuronal. Más recientemente, en el año 2013, jóvenes investigadores que retornaron de su formación postdoctoral en el exterior, conformaron un grupo de investigación en el IIB-INTECH en Chascomús, abocado al estudio del control epigenético del desarrollo y la diferenciación celular en embriones de pollo, y del control molecular del desarrollo gonadal en el pez medaka. Finalmente, en los últimos años se ha repatriado una importante cantidad de científicos jóvenes, que desarrollarán sus tareas de investigación en diferentes temáticas de la Biología del Desarrollo y utilizando variados modelos animales y vegetales, que seguramente impactará positivamente en el desarrollo del área.

El principal desafío es asegurar la disponibilidad de instrumental y recursos tecnológicos de alta complejidad (microscopios confocales, de disección láser, *cell-sorting*, etc.) a los grupos de todo el país. Asimismo, como consecuencia de las dificultades inherentes a su propia materia de estudio (manejo de la temporalidad y la dinámica de los procesos investigados), el ritmo de publicación en la temática es más lento que en otras disciplinas; esto debería ser tenido en cuenta al momento de establecer los criterios para la incorporación y permanencia de los recursos humanos al sistema científico nacional.

Biología Estructural (Alejandro Vila)

Este informe solamente comprende el desarrollo en Argentina de técnicas experimentales poderosas como difracción de rayos X, resonancia magnética nuclear (RMN), crio-microscopia electrónica de alta resolución y la bioinformática estructural. El desafío para Argentina en esta área es cómo posicionarse internacionalmente ante la imposibilidad de realizar inversiones en instrumental costoso de punta, formación de recursos humanos altamente capacitados y trabajo en redes con experiencias complementarias. Si bien otras áreas de la Bioquímica y la Biología Molecular lograron consolidarse en nuestro país, la explosión a nivel internacional de la Biología Estructural en la década del '90 no tuvo un correlato similar, principalmente debido a la falta de recursos humanos. Se intentaron generar grupos de Biología Estructural con argentinos radicados en el exterior, que resultaron infructuosos. Esta situación se revirtió durante este siglo, debido a que la oportunidad de adquirir equipamiento adecuado se realizó cuando ya se contaba con recursos humanos radicados en el país, principalmente en Rosario y Buenos Aires. En 2006 se instaló en el IBR el primer equipo de RMN de alto campo (600 MHz), lo cual junto a la instalación de un difractómetro de última generación en el Instituto Pasteur de Montevideo-Uruguay, devino en la creación en 2008 del Centro de Biología Estructural del MERCOSUR (CeBEM), con tres nodos en Argentina: IBR, FIL-IIBBA y FCEN-UBA. CeBEM ha realizado numerosos cursos *handson* cuyo foco principal fue la formación de recursos humanos y la generación de redes de colaboración a nivel regional. Asimismo, IBRy FIL-IIBBA son nodos de la Plataforma de Biología Estructural y Metabolómica (PLABEM). Sin embargo, la sola disponibilidad de la Plataforma no es suficiente, ya que requiere un alto grado de involucramiento del biólogo estructural en el problema bioquímico, por lo cual es fundamental el desarrollo de grupos de Biología Estructural en los centros de investigación Bioquímica a lo largo del país. Para ello es importante que se disponga de robots de cristalización para luego tercerizar las medidas. El equipamiento disponible en Argentina se incrementó notablemente entre 2006 y 2014, principalmente con financiamiento del FONCyT (instrumentos PME y PPL). Aun así, el conjunto de estos equipos es equivalente (o menor) al disponible en un solo departamento de Bioquímica en una sola institución prestigiosa en Europa o Estados Unidos. En el corto tiempo transcurrido desde la instalación de estos equipos se han logrado resultados de altísima calidad científica.

El desafío para la consolidación de la Biología Estructural en Argentina reside principalmente en fortalecer la alianza regional como estrategia para acceder a las grandes *facilities* que existen en otros países de la región, principalmente Brasil. Asimismo, la PLABEM está en condiciones de coordinar

los pedidos de acceso a los sincrotrones europeos con los cuales MINCyT tiene convenios específicos (Soleil en Francia, Petra en Alemania, dependiente de EMBL), para que no se diluyan los pedidos individuales y se logre potenciar la actividad en todo el país.

Bioquímica y Biología Molecular de Plantas (María Elena Alvarez, Diego Gómez-Casati, Florencio Podestá)

En Argentina, la Bioquímica Vegetal comenzó a desarrollarse a principios de la década del 70. Su origen estuvo mayormente asociado a los Departamentos de Bioquímica, Fisiología Vegetal y Botánica que ya existían en distintas Universidades y laboratorios del INTA. En los años 90, muchos de estos centros incorporaron la Biología Molecular, disciplina que impactó tanto en la investigación básica como en desarrollos tecnológicos.

En Buenos Aires, la Fundación Campomar (hoy Instituto Leloir) fue otro centro pionero en el campo de la Bioquímica Vegetal. En este Instituto, se han estudiado características bioquímicas de los polisacáridos de plantas, enzimas del metabolismo de hidratos de carbono, señalización por luz y temperatura y su efecto en el desarrollo vegetal, y mecanismos de tolerancia al estrés oxidativo, entre otros. Posteriormente, en la década del 60 se comenzó a formar un grupo de investigadores abocados al estudio de Fisiología de Plantas en la Facultad de Agronomía de la UBA, que dio lugar al Instituto de Fisiología Vegetal (IFEVA, CONICET-UBA) en la década de los 80. Actualmente allí se desarrollan investigaciones sobre germinación, arquitectura de la planta y floración, crecimiento y desarrollo modulados por señales lumínicas, entre otros. Por otra parte, en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA se estudian mecanismos que regulan el crecimiento de plantas bajo condiciones de estrés, así como moléculas nitrogenadas y especies reactivas del oxígeno en respuesta a estrés, entre otros. En la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA se estudian las respuestas al estrés en tomate, maíz, arroz y otros, y aspectos bioquímicos de glucoproteínas vegetales.

En Mar del Plata, investigadores provenientes de la Fundación Bariloche generaron la Fundación para Investigaciones Biológicas Aplicadas (FIBA), pionera en el desarrollo de ciencias biológicas y formación de recursos humanos en Bioquímica y Biología Molecular Vegetal. Además, en el ámbito de la UNMdP uno de los principales centros de investigación en Bioquímica de Plantas es el Instituto de Investigaciones Biológicas (IIB-CONICET), donde se estudia el papel del óxido nítrico y el estrés, la biología de solanáceas y trigo, y vías de señalización intracelular.

En la provincia de Santa Fe, a mediados de la década del 70 se estableció en Rosario un grupo de investigación en Bioquímica Vegetal en el Centro de Estudios Fotosintéticos y Bioquímicos (CEFOBI, CONICET - UNR). Allí se realizaron estudios básicos del proceso fotosintético y la fijación de CO_2, evolucionando años más tarde hacia Biotecnología Vegetal y Enzimología avanzada para actualmente contar con varios grupos independientes trabajando en diferentes aspectos de Bioquímica y Biología Molecular Vegetal (metabolismo del almidón, estrés biótico y abiótico, fisiología y bioquímica de frutos, etc.). También en Rosario, ya en la década del 90 se crea primero el Programa Multidisciplinario de Biología Experimental (PROMUBIE), el que luego daría lugar al Instituto de Biología Molecular de Rosario (IBR, CONICET-UNR), donde varios grupos de investigación realizan estudios sobre metabolismo, génesis y función de miRNAs, señalización y biología del estrés e interacción planta patógeno. En 2008, en la ciudad de Santa Fe un núcleo de investigadores formados en el CEFOBI e IBR crea el Instituto de Agrobiotecnología del Litoral (IAL, -UNL), en el cual se aborda la caracterización avanzada de enzimas, el análisis comparado de sus propiedades en células autótrofas y heterótrofas, el estudio de factores de transcripción vegetales y su uso en biotecnología, mecanismos de expresión genética en plantas, biogénesis de mitocondrias, metabolismo redox en plantas, entre otras.

En Córdoba, grupos radicados en la década del 60 en las facultades de Ciencias Exactas Físicas y Naturales y Ciencias Químicas de la UNC sentaron las bases para el desarrollo de la Fisiología y Bioquímica Vegetal estudiando procesos de senescencia y respuestas al estrés y de fitoquímica y química orgánica de productos naturales. Años más tarde, investigadores que retornaron de estadías en el exterior incorporaron la Biología Molecular a investigaciones de bioquímica de plantas formando nuevos grupos en ambas facultades. En la facultad de Ciencias Químicas se estudia fitopatología molecular y el fenómeno de autoincompatibilidad, mientras que en facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales se estudian alteraciones redox y respuestas a estrés, así como transportadores de nucleobases. En la facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC, la Bioquímica Vegetal se desarrolló principalmente asociada al campo de la tecnología de alimentos. Por otra parte, en la UNRC, las investigaciones se enfocaron principalmente al estudio de lípidos que participan en cascadas de señalización, hormonas vegetales, mecanismos de fitoremediación e interacción microrganismo-planta.

En Tucumán, la Bioquímica Vegetal comenzó a desarrollarse a mediados de los 80 y a mediados de los 90 se inició la biología molecular de plantas en el INSIBIO, hoy Laboratorio de Biotecnología Vegetal, con el estudio de respuestas al estrés abiótico en soja y pasturas, posteriormente la señalización de defensas en frutilla, así como otros estudios en modelos de citrus (limón), soja, caña,

Arabidopsis y tabaco. En esta ciudad, la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) fundada en 1912, viene desarrollando desde sus orígenes tecnología agrícola de nivel internacional en especies regionales de interés industrial (caña de azúcar, soja, citrus, palta, hortalizas, trigo, etc.), y ha incorporado recientemente la sección Biotecnología donde se realizan estudios de Biología Molecular y Bioquímica.

La Bioquímica y Biología Molecular de plantas también se desarrolló en otros centros y laboratorios de investigación radicados en universidades nacionales, incluyendo las de Cuyo (facultad de Ciencias Agrarias), del Nordeste (IBONE-CONICET), del Sur, de La Plata, de San Martin (donde funciona el Instituto de Investigaciones Biotecnológicas, con sede también en Chascomús), entre otros.

Fuera del ámbito universitario, la Biología Molecular se desarrolló en el INTA, asociada a programas de mejoramiento genético de cultivos, genotipificación, micropropagación, transgénesis, análisis fitosanitarios, entre otros. El INTA ha impulsado de forma sostenida a la Biotecnología Vegetal moderna, adquiriendo capacidades e instrumental necesarios para su desarrollo. El Instituto de Biotecnología del INTA-Castelar cuenta con plataformas biotecnológicas de proteómica, transcriptómica, metabolómica, genómica, bioinformática y de transformación de plantas, que constituyen un conjunto de equipamiento y técnicas que permiten aplicar tecnologías modernas de alta complejidad. Su misión es desarrollar la biotecnología moderna para el sector agropecuario, tales como la aplicación de herramientas moleculares para el uso y la conservación de la diversidad genética forestal, genómica de diferentes especies vegetales. La Estación Experimental Agropecuaria INTA-Balcarce desarrolla actividades de investigación y experimentación en Biotecnología agronómica, calidad agroalimentaria, ecofisiología de cultivos y productos agrícolas, recursos fitogenéticos, mejoramiento y sanidad vegetal. El Instituto de Fitopatología y Fisiología Vegetal (IIFIVE)- INTA-Córdoba (actualmente CIAP) trabaja en diversas temáticas incluidos el estudio y tipificación de virus y microbios fitopatógenos, respuestas al estrés, tolerancia a salinidad, entre otros, con desarrollos bioquímicos y de Biología Molecular. Este Instituto fue el primer centro en disponer de un secuenciador de nucleótidos en la provincia de Córdoba (adquirido en el marco de un proyecto con la Agencia Internacional de Cooperación de Japón - JICA) y ha incorporado nuevas temáticas y capacidades en los últimos años.

Bioquímica de Carbohidratos, Glicobiología (CeciliaD´Alessio, José Luis Daniotti)

El desarrollo sostenido de la investigación bioquímica en el país estuvo sustentado, en gran medida, por un sólido y continuo crecimiento de la investigación en bioquímica de lípidos y carbohidratos, lo cual perdura en la actualidad en numerosos y reconocidos grupos de investigación. Particularmente, el desarrollo en la Argentina de la investigación bioquímica en el área de carbohidratos-glicobiología ha sido sostenido durante los últimos setenta años. Actualmente, nuestro país mantiene un claro liderazgo regional en esta disciplina científica, contribuyendo al conocimiento global con significativos hallazgos. La contribución directa o indirecta del Dr. B. Houssay al desarrollo en el país de la Glicobiología, en general, y de la Bioquímica de Carbohidratos, en particular, es ineludible. El trabajo del Dr. Houssay en relación al rol de la glándula pituitaria sobre el metabolismo de carbohidratos le significo el Premio Nobel en el año 1947, compartido con los Dres. Carl y Gerty Cori (USA). En 1933, Luis Federico Leloir conoció al Dr. Bernardo Houssay, quien dirigió su tesis doctoral acerca de las glándulas suprarrenales y el metabolismo de los hidratos de carbono. Por iniciativa del Dr. Houssay, en el año 1947 se creó la Fundación Campomar, siendo el Dr. Leloir su primer Director. Las investigaciones llevadas a cabo junto a los doctores Carlos Eugenio Cardini, Ranwell Caputto, Raúl Trucco, Enrico Cabib, y el entonces becario Alejandro Paladini, dieron como resultado, entre otros importantes descubrimientos, el aislamiento y caracterización de la glucosa 1,6 difosfato y de la uridinadifosfatoglucosa. Estos hallazgos sobre la activación de los azúcares formando compuestos denominados genéricamente nucleótido-azúcares puso en evidencia caminos metabólicos no conocidos por entonces y se transformó en un concepto básico para posteriores investigaciones en todo el mundo, lo que le valió al Dr. Leloir la concesión en 1970 del Premio Nobel de Química.

Estado actual de la investigación en bioquímica de glicoconjugados en Argentina

En Buenos Aires, en la Fundación Instituto Leloir, diversos grupos de trabajo continúan con la tradición en investigaciones en el campo de la Glicobiología en diversos modelos experimentales: bacterias, levaduras, tripanosomas, células de mamífero y plantas. Un grupo estudia el control de calidad de plegamiento de glicoproteínas; otro, las funciones de los N-glicanos en los estadios iniciales luego de su transferencia a glicoproteínas y otro los factores que regulan la eficiencia de la N-glicosilación de proteínas y su relación con las enfermedades congénitas de la glicosilación; otro grupo estudia la genética de la biosíntesis

de polisacáridos bacterianos; otro grupo estudia el papel de un polisacárido acídico en la organización espacial de biopelículas bacterianas y, finalmente, un grupo estudia modificaciones postraduccionales en O-glicoproteínas y sus roles funcionales en la expansión celular en plantas.

En el Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME, CONICET) y Departamento de Química Biológica de la FCEFN,UBA, se desarrollan investigaciones en la interfase entre la Glicobiología, la Inmunología y la Biología Vascular, para comprender cómo las interacciones moleculares entre las lectinas endógenas, y sus ligandosglicosilados pueden mediar procesos celulares relevantes para la regulación inmune y la angiogénesis en tumores y microambientes inflamatorios crónicos. Además, mediante el establecimiento de una plataforma de glicoanálisis, se estudia la influencia de diversos factores en la alteración estructural de N- y O-glicanos en células de pacientes, con especial enfoque en enfermedades inflamatorias crónicas y cáncer.

En el Centro de Investigación en Hidratos de Carbono (CIHIDECAR, CONICET-UBA) y Departamento de Química Orgánica de la FCEFN de la UBA, los estudios se focalizan en la Glicobiología de Trypanosomacruzi; estudios estructurales de glicoconjugados presentes en bacterias y parásitos protozoarios, contribuyendo en este sentido al desarrollo, síntesis y actividad de glicomiméticos, moléculas útiles para inhibir o acelerar procesos biológicos esenciales. Asimismo, existen investigaciones sobre el uso de las ß-carbolinas como matrices UV-MALDI óptimas para el análisis de hidratos de carbono, glicoconjugados y polímeros sintéticos. Se realizan estudios sobre polisacáridos y proteoglicanos de paredes celulares de algas y plantas y síntesis de sustratos, inhibidores y compuestos dirigidos al estudio de las enzimas relacionadas con la glicobiología de microorganismos patógenos. Asimismo, se desarrollan estrategias sintéticas novedosas, así como glicosidaciones estereoselectivas para la síntesis de oligosacáridos presentes en microorganismos patógenos, que posibilitan estudiar su función, elaboración de agentes terapéuticos y test de diagnóstico.

El Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE, CONICET-UBA), radicado también en la FCEFN de la UBA, lleva adelante estudios en Glicobiología Estructural. Utilizando técnicas de bioinformática, datos de cristalografía y RMN, se trata de comprender las bases termodinámicas y estructurales de la interacción proteína-hidratos de carbono.

En el Instituto de Investigaciones Biotecnológicas-Instituto Tecnológico Chascomús (IIB-INTECH, CONICET), con sede en la UNSAM, se desarrollaron importantes contribuciones particularmente en aspectos bioquímicos, funcionales y estructurales de enzimas trans-sialidasas de tripanosomas. Actualmente, las investigaciones están orientadas a la búsqueda de compuestos químicos que puedan constituir la base para el diseño racional de inhibidores

y el desarrollo de anticuerpos neutralizantes de la actividad trans-sialidasa de T. cruzi. Además, se realizan estudios bioquímicos y estructurales de la enzima trans-sialidasa del parásito y se investiga su efecto en la fisiología del sistema inmune.

En la Universidad de Quilmes, se estudia la presencia de azucares en la superficie celular, como blancos para inmunoterapia en cáncer pulmonar.

El desarrollo de la Glicobiología en la región centro del país, y fundamentalmente en la UNC, tiene como artífice al Dr. Ranwel Caputto, quien en el año 1963, a los 49 años de edad, regresa a la Argentina para asumir como Director del Departamento de Química Biológica de la dicha universidad. Posteriormente, en el año 1982, surge elCentro de Investigaciones en Química Biológica de Córdoba (CIQUIBIC, UNC-CONICET). Inicialmente, las líneas de investigación del Departamento de Química Biológica-CIQUIBIC estuvieron relacionadas al metabolismo de los carbohidratos y glicolípidos. Actualmente, diferentes grupos continúan en estas mismas áreas. Las investigaciones involucran el estudio de la síntesis, distribución intracelular y degradación de glicolípidos, la biogénesis de glucógeno, la repuesta inmune humoral dirigida a gangliósidos, antígenos blanco de anticuerpos presentes en enfermedades neurológicas autoinmunes, y la biosíntesis de O-GalNAcglicanos del tipo mucinas.

En la ciudad de Córdoba, el Centro de Estudio de las Metabolopatías Congénitas (CEMECO-UNC) realiza investigaciones y diagnóstico de enfermedades asociadas al metabolismo de glicoproteínas y glicolípidos, en tanto en el Instituto de Investigaciones Médicas Mercedes y Martin Ferreyra (IMMF, CONICET-UNC) se realizan investigaciones tendientes a comprender el rol patogénico de anticuerpos anti-gangliósidos asociados al Síndrome de Guillain Barré.

Otras instituciones del país en las que grupos integrantes están investigando en el área de Glicobiología son: Instituto de Química y Físicoquímica Biológicas, facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA (transportadores de nucleótido-azúcar y desordenes congénitos de glicosilación; contribución de Galectina-1 a la diseminación del carcinoma hepatocelular), en el Departamento de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Exactas, UBA (caracterización de glicosíltransferasas) y en la facultad de Ciencias Biomédicas de la Universidad Austral (inhibición de la síntesis de ácido hialurónico e inmunoterapia génica en el carcinoma hepatocelular asociado a cirrosis).

Un reflejo del estado actual de la Glicobiología en Argentina fue puesto de manifiesto en el reciente evento científico denominado Primer Simposio Argentino de Glicobiología (GlycoAR 2014), el cual tuvo lugar en abril del 2014 en las instalaciones de la Fundación Instituto Leloir. Asistieron a dicho evento 110 personas y se contó con la presencia de 23 oradores tanto nacionales

como internacionales (Canadá, Chile, Brasil, Israel, Suiza). Teniendo en cuenta la dilatada tradición del país en el área de bioquímica de carbohidratos y del creciente número de grupos en el área de Glicobiología, esta es la primera vez que se realizó un congreso específico del área que nucleó a sus representantes en todo el país y sentó las bases para la posible creación de una entidad que agrupe a los investigadores del área y su relación con sociedades científicas nacionales e internacionales.

Análisis de la producción científica Argentina en Glicobiología en el período 1994-2014

El estudio fue realizado utilizando la base de datos bibliográficos SCOPUS (Elsevier), el que arrojó un total de 3.977 trabajos publicados entre los años 1994 y 2014 (hasta noviembre de este último año). De la evolución de la producción científica anual en Glicobiología en el país se demuestra una tendencia creciente y sostenida en las últimas dos décadas, con un total de 62 publicaciones registradas para el año 1994, 193 en 2004 y 264 en 2013, con la mayoría de las filiaciones correspondientes a instituciones pertenecientes al sistema universitario y al CONICET.

Palabras clave utilizadas en la búsqueda del área Glicobiología

Carbohydrate, Galectin, Ganglioside, Glucosidase, Glycan, Glycanase, Glycobiology, Glycoconjugates, Glycolipids, Glycomics, Glycoproteins, Glycosidase, Glycosphingolipids, Glycosylation, Glycosyltransferase, Lectin, Oligosaccharides, Polysaccharides, Saccharides, Sphingolipid, Sugar

Perspectivas de mejoramiento y/o consolidación de la Bioquímica de Carbohidratos/Glicobiología

Las investigaciones en el área se desarrollan fundamentalmente en el terreno de la bioquímica, biología celular, síntesis química, análisis estructural, inmunología, cáncer, microbiología, entre otras. No obstante y dada la considerable variabilidad estructural y funcional de glicanos y glicoconjugados, se espera un mayor desarrollo de la glicómica en el país, así como un incremento en las colaboraciones con diversos centros y consorcios internacionales dedicados al estudio sistemático de glicanos. En particular, consideramos que resulta fundamental estimular el desarrollo de las áreas de la glicómica funcional y comparativa, así como la formación de recursos humanos capacitados en el manejo de plataformas bioinformáticas en el área, indispensables para el almacenamiento, integración y comprensión de datos provenientes de la glicómica y de otras disciplinas.

Inmunología (Adriana Gruppi)

La Inmunología en Argentina, luego de esfuerzos aislados realizados en las décadas del 50 y del 60, oficialmente nació el 5 de mayo de 1972 cuando un grupo de pioneros, liderados por Christiane Dosne Pasqualini, Osías Stutman, Jorge Manni, Juan Andrada, Alois Bachmann y Marta Braun, crearon la Sociedad Argentina de Inmunología (SAI). Veinte años más tarde se fundó la Asociación Latinoamericana de Inmunología (ALAI) cuya primera reunión científica fue realizada en Buenos Aires en 1984. Varios años antes, en 1949, otra sociedad, la Asociación Argentina de Alergia e Inmunología había sido creada para funcionar como un foro de especialistas en alergia e inmunología clínica.

A mediados de la década del 60 los pocos inmunólogos que había en Argentina se reunían informalmente en un llamado Club de Inmunología, organizado por investigadores de distintas regiones del país. La mayoría de ellos provenían de otras disciplinas como la microbiología, la patología, la reumatología, la endocrinología, la clínica o la oncología, entre otras. Los primeros esfuerzos de la comunidad de inmunólogos en Argentina se dedicaron al estudio de fiebre hemorrágica, lepra, tuberculosis y enfermedad de Chagas, aunque también hubo fuertes pioneros dedicados al estudio de autoinmunidad y un grupo dedicado a la inmunidad antitumoral.

Ese grupo pequeño de pioneros que formaron el Club de Inmunología avizoraron que la inmunología se iba relacionando o integrando dentro de un marco mucho más general de las ciencias biomédicas, y que la fisiología o la fisiopatología de diversas enfermedades tenían componentes de mecanismos inmunológicos “puros” como la inflamación, las enfermedades autoinmunes, la respuesta inmune contra tumores o las inmunodeficiencias primarias y secundarias, entre otros. Así, de ser una disciplina aislada y/o periférica de la microbiología, la Inmunología pasó a estar en el centro de la escena, esencialmente como sistema integrador de procesos fisiológicos o bioquímicos.

Uno de los hechos que impulsó la disciplina fue que, a mediados de la década del 60, el Dr Ricardo Margni creó la primera cátedra de Inmunología en el país -y en América Latina-, en la facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires. Luego, a principios de la década del 70, las cátedras de Inmunología se extendieron a otras universidades como las de Córdoba, Rosario y Tucumán. En La Plata, la cátedra de Inmunología se inició en la década del 80, y posteriormente se generó en San Luis. Esta penetración de la Inmunología en la enseñanza de grado en las universidades nacionales tuvo un impacto enorme en la formación de profesionales en el área biomédica y en el suministro de graduados universitarios interesados en este campo de la ciencia. De esta forma, si se analiza el árbol genealógico de la SAI se podrá entender hoy por qué en esas provincias/regiones hay más desarrollo o grupos

de investigación en inmunología, que en otras.

Basados en datos de la SAI podemos tener una idea sobre la distribución actual de inmunólogos en Argentina. La SAI tiene más de 500 socios, en su mayoría ubicados en Capital Federal (57%, con laboratorios en el Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME), la Academia Nacional de Medicina, la facultad de Farmacia y Bioquímica, la facultad de Ciencias Exactas y Naturales y la facultad de Medicina de la UBA, el Hospital de Niños Ricardo Gutiérrez, el Hospital de Clínicas José de San Martín y el Hospital Nacional de Pediatría Juan Garrahan). En segundo lugar, se ubican en Córdoba (nucleados principalmente en el Centro de Investigaciones en Bioquímica Clínica e Inmunología (CIBICI), en la facultad de Ciencias Químicas de la UNC), en tercer lugar en La Plata (localizados en su mayoría en la facultad de Ciencias Exactas de la UNLP) y un número similar de socios se distribuyen en Rosario (UNR) y Tucumán (ubicados principalmente en el Centro de Referencia para Lactobacilos, CERELA). Un foco más pequeño pero altamente productivo se ubica en San Luis (UNSL) y un número menor se encuentra en Mendoza, Corrientes, Santa Fe, La Pampa y en la Provincia de Buenos Aires (Universidad del Centro en Tandil y UNNOA).

La inmunología es una de las disciplinas de mayor crecimiento en Argentina

En los últimos años, el financiamiento para la investigación biomédica en Argentina, incluyendo la Inmunología, se incrementó. Notablemente, las propuestas de proyectos que involucran Inmunología son alrededor del 23% de todos los proyectos biomédicos presentados y un 3% de los proyectos totales financiados por la ANPCyT de los últimos 3 años. La consecuencia más visible de un apoyo financiero sostenido es el incremento en el número y calidad de las publicaciones. El incremento en competitividad de los inmunólogos argentinos es reflejado también en el establecimiento de programas de cooperación internacional de larga duración.

Si bien la investigación en inmunología ha crecido y tiene un futuro promisorio, aún tiene debilidades, tanto en la investigación básica como en la Inmunología Clínica. Así por ejemplo el desarrollo y fortalecimiento de grupos de investigación en Inmunología Clínica es una tarea pendiente. Existen evidencias que este camino, aunque incipiente, ha comenzado a recorrerse. Por otra parte, existe un déficit local en el desarrollo de herramientas para estudiar el sistema inmune. En general las investigaciones se realizan utilizando insumos y equipamientos importados, los cuales demoran demasiado tiempo en llegar a los laboratorios para que éstos sean competitivos a nivel internacional, y a costos muy por encima de los que acceden laboratorios en otras regiones del mundo. Actualmente, en lo que respecta a Inmunología básica experimental uno de los limitantes importantes para responder a preguntas claves es la disponibilidad

de ratones modificados genéticamente (mutantes o transgénicos). Es necesario agilizar el sistema de importación de animales y aportar recursos para mejorar las infraestructuras disponibles así como establecer el congelamiento de embriones para el mantenimiento de cepas existentes. Más aún, la Inmunología argentina debe sumergirse en nuevas estrategias experimentales actualmente disponibles en otros países, pero que por falta de financiamiento, equipamiento y formación de recursos humanos adecuados no pueden llevarse a cabo. Entre estas estrategias se debe fortalecer la manipulación de genes en células y animales de experimentación, así como estrategias de *screening* para los arreglos de genes. Es necesario un nuevo ciclo de equipamiento, con equipos de mayor envergadura y otros que no se encuentran disponibles en el país. Un gran déficit en nuestro país, tanto para estudios en Inmunología como para Microbiología y Epidemiología es la casi ausencia de laboratorios y de bioterios de seguridad tipo III y IV, lo cual impide la realización de estudios en patógenos de importancia nacional y regional. Además es importante destacar que la docencia en Inmunología, como asignatura con temas únicamente inmunológicos, está circunscripta a las facultades de Farmacia y Bioquímica. Si bien hay algunas facultades de Medicina, que la incorporaron a su curricula, no se ha avanzado demasiado en la incorporación de Inmunología como asignatura obligatoria en las carreras de Medicina, Odontología, Veterinaria y Ciencias Biológicas. Disponer de profesionales relacionados a las ciencias biomédicas con formación inmunológica sólida es importante para la salud de la población.

Lípidos (Marta I. Aveldaño)

Los estudios sobre la Química Biológica de los lípidos tienen una larga trayectoria en nuestro país. En la década del 40, en la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA, el Profesor Pedro Cattáneo estudiaba la composición de ácidos grasos de lípidos de plantas. Uno de sus discípulos fue un destacado investigador cuyo nombre se asocia sólidamente con los lípidos y los ácidos grasos, el Dr. Rodolfo R. Brenner. Con base en la cátedra de Bioquímica de la facultad de Medicina de la UNLP, reunió uno de los grupos de trabajo que ha mantenido por más tiempo en forma continuada en el país investigaciones en este campo. Él y sus colaboradores hicieron aportes pioneros sobre el rol, la localización subcelular y la regulación por diferentes hormonas, de las desaturasas de ácidos grasos en distintos tejidos, en especial el hígado, y su modificación en enfermedades como la diabetes y el cáncer.

Otro eminente investigador, una de cuyas líneas de interés principales era la biosíntesis y función de los gangliósidos, fue el Dr. Ranwell Caputto, quien

alrededor del 60 regresó al país para hacer base en el Departamento de Química Biológica de la UNC. Allí comenzó el desarrollo de un vigoroso y productivo grupo, muchos de cuyos discípulos resultaron ser distinguidos referentes en el tema de la bioquímica y de la biofísica de los esfingolípidos. En el grupo inicial colaboró el Dr. R. E. Trucco, quien más tarde hizo base en la facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA, y quien al mediar los 70 había contribuido al conocimiento sobre las interacciones lípido-proteína en membranas. Algunos de sus discípulos se establecieron en Tucumán, de donde derivaron sólidos grupos dedicados a la biofísica, demostrando que cambios en la composición lipídica modifican la actividad, transiciones alostéricas y parámetros cinéticos de las enzimas de membrana.

Antes de llegar los 70, en la facultad de Medicina de la UBA, en el grupo de trabajo de un pionero de la neuroquímica en nuestro país, el Dr. Eduardo de Robertis, se formó entre sus numerosos y destacados discípulos el Dr. Eduardo Lapetina. Juntos estudiaron el metabolismo de distintos lípidos en membranas de corteza cerebral, y a mediados de los 70 contribuyeron a establecer que el estímulo de distintos receptores por sus agonistas incrementaba el recambio de los polifosfoinosítidos. Contemporáneamente, en la facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA, el Profesor Dr. Carlos Gómez y sus discípulos también contribuían a las neurociencias con sus investigaciones sobre los proteolípidos y aspectos del metabolismo de fosfolípidos y su regulación por hormonas en el sistema nervioso.

En 1970 se formó en Bahía Blanca, en las cátedras de Química Biológica de la carrera de Bioquímica de la UNS, un grupo cuyo objeto de estudio eran los lípidos y ácidos grasos del cerebro, la retina, y otros sistemas biológicos. Pocos años después (1976), el avance de lo logrado en el país en el campo de los lípidos se reveló en el hecho de que este grupo, junto con el de La Plata, organizó el Primer Simposio Internacional sobre Funciones y Biosíntesis de Lípidos, que contó con la presencia de investigadores de distintos países del mundo que en esa época eran considerados referentes en distintos campos de la investigación sobre los lípidos. La conferencia inaugural de aquél Simposio fue dictada por el Dr. Luis F. Leloir, quien expuso sus hallazgos sobre el rol de los dolicoles en la glicosilación de las proteínas.

Desde estos comienzos, el progreso de la investigación sobre los lípidos en el país en las décadas que siguieron fue paralelo al que experimentaron otros campos de la ciencia. Se sucedieron varias generaciones de grupos de investigación dedicados al estudio de los lípidos que paulatinamente se consolidaron ampliando sus proyectos al estudiarlos con herramientas de la Química, de la Bioquímica, de la Biofísica, de la Biología Celular y Molecular, y de la Genética, entre otras disciplinas. A esto se sumó el incremento del número de jóvenes que se formaron, tanto en el país como en el exterior,

quienes contribuyeron a fortalecer la investigación con proyectos propios. De ello resultó una importante transformación cualitativa y cuantitativa de las líneas de investigación en el campo de los lípidos. Se ampliaron y diversificaron los enfoques sobre la base del avance del conocimiento en dicho campo, de la posibilidad de aplicar nuevas herramientas experimentales y modelos de estudio, de la sofisticación del equipamiento, y del avance de la tecnología y de la informatización. En las últimas décadas la investigación sobre los lípidos también se vigorizó con el incremento de la cantidad y calidad de recursos humanos y de subsidos destinados a la investigación en el país, así como de la creación sostenida en el tiempo de nuevos institutos y centros de investigación, lo que abrió la posibilidad, que es necesario continuar y expandir, de compartir equipamiento avanzado entre distintos centros.

La mayor parte de los proyectos que se desarrollaron a lo largo de las últimas décadas en el campo de los lípidos fueron investigaciones básicas en el área de las Ciencias Biológicas y de la Salud, con contribuciones principalmente desde la Bioquímica, de la Biología Celular y Molecular, de la Biofísica, y de las Ciencias Médicas. Se investigaron los lípidos de tejidos y células de origen humano, animal y vegetal, así como de otros organismos vivos (multicelulares y unicelulares), incluyendo bacterias patogénicas. En los últimos años han empezado a desarrollarse también proyectos aplicados en áreas como la de Ingeniería de Procesos, o la de Desarrollo Tecnológico y Social, en las que se proyecta utilizar plantas, algas, o bacterias para producir lípidos potencialmente aplicables a la elaboración sustentable de biocombustibles o de metabolitos bioactivos de interés farmacéutico. Con un foco en los lípidos, en muchos laboratorios hoy se investigan la actividad y la expresión génica de enzimas involucradas en su biosíntesis y catabolismo, proteínas estructurales, receptores, y proteínas transductoras de señales que responden a la acción de lípidos en su calidad de ligandos, proteínas de las membranas e intracelulares transportadoras de lípidos, proteínas que actúan como factores de transcripción nucleares activadas por lípidos, genes que se activan para estimular la expresión de enzimas que sintetizan y remodelan los lípidos de las membranas durante la proliferación y la diferenciación celular, enzimas que se expresan para modificar lípidos celulares en respuesta a factores ambientales, sólo por mencionar unos pocos ejemplos.

Entre las instituciones donde actualmente desarrollan sus actividades grupos de investigación dedicados a estudiar a los lípidos desde los ángulos de la bioquímica, la biofísica, o la biología celular y molecular, con solidez y protagonismo en la formación y perfeccionamiento de recursos humanos, podemos mencionar el Instituto de Investigaciones Bioquímicas de la Plata (INIBIOLP), el Centro de Investigaciones en Química Biológica de Córdoba (CIQUIBIC), el Instituto de Investigaciones Bioquímicas de Bahía Blanca

(INIBIBB), el Instituto de Química y Fisicoquímica Biológicas (IQUIFIB) en Buenos Aires, el Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario (IBR), el Instituto de Histología y Embriología de Mendoza (IHEM), el Instituto Multidisciplinario de Investigaciones Biológicas de San Luis (IMIBIO-SL), el Instituto de Investigaciones Biomédicas (INBIOMED) en Buenos Aires, el Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO) en Tucumán, el Instituto de Investigaciones Biológicas (IIB) en Mar del Plata, el Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud Humana (IICSHUM) en La Rioja, el Instituto de Fisiopatología y Bioquímica Clínica (INFIBIOC) en Buenos Aires, el Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari en Buenos Aires, el Centro de Investigaciones y Transferencia de Santiago del Estero (CITSE), el Centro Regional de Investigación y Desarrollo Científico Tecnológico (CRIDECIT) en Comodoro Rivadavia, la facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la UN del Litoral, Santa Fe, y la Facultad de Ciencias Exactas, Fisicoquímicas y Naturales de la UNRC. La mayor parte de estos centros de investigación son de dependencia compartida entre una universidad nacional y el CONICET.

Una importante proporción de los resultados de las investigaciones surgidas de los proyectos sobre lípidos que se desarrollan en el país se difunde en publicaciones de prestigio y se presentan en reuniones científicas internacionales y nacionales. Entre estas últimas cabe mencionar a la Sociedad Argentina de Investigación en Bioquímica y Biología Molecular (SAIB), la Sociedad Argentina de Investigación Clínica (SAIC), la Sociedad Argentina de Neurociencias (SAN) y la Sociedad Argentina de Biofísica (SAB), además de asociaciones científicas de otras disciplinas. Con una frecuencia bianual, se realizan las Jornadas sobre Bioquímica y Biología Molecular de Lípidos y Lipoproteínas, de las cuales la sexta se realizó en agosto de 2014 en Santa Fe. El reconocimiento internacional de nuestro país como generador de investigaciones de calidad en el campo de los lípidos ha quedado de manifiesto en la designación de la República Argentina como sede de la 56º Conferencia Internacional de la I*nternational Society on the Bioscience of Lipids* (ICBL), celebrada por primera vez en nuestro país en septiembre de 2015.

Virología Molecular (Daniela Gardiol)

El desarrollo de la Virología en nuestro país tuvo sus orígenes en los años ’50, cuando comienzan a formarse varios grupos de investigación, como los liderados por el Dr. Armando S. Parodi y el Dr. Ignacio Pirosky, abocados al estudio del virus Junín. En 1956 se crea el INTA y los esfuerzos se focalizaron en lograr una vacuna contra el Virus Aftosa, y en 1958 se crea el Instituto de Virología en la Facultad de Medicina de Córdoba dirigido por el Dr. José María

Vanella, donde se investigaron en un principio el virus de la rabia y arbovirus. Como en otras partes del mundo, la consolidación de la Virología en Argentina se vio altamente favorecida por la incorporación de la Biología Molecular.

En la actualidad existen numerosos laboratorios de Virología en nuestro país, algunos con doble pertenencia universidad-CONICET o bien dentro de Hospitales públicos o dependencias del INTA. La mayoría de los grupos tienen asiento en la ciudad de Buenos Aires, pero existen algunos laboratorios en el interior del país. Dentro del ámbito universitario, se pueden enumerar grupos trabajando en la Universidad de Buenos Aires, de La Plata, de Quilmes, de Misiones, de Rosario, de Córdoba, de Tucumán, Río Cuarto, del Centro de la provincia de Buenos Aires, de Belgrano y del Litoral. Dentro de la UBA se ubican en las facultades de Ciencias Médicas, Farmacia y Bioquímica, Veterinaria, y Ciencias Exactas, que han sido pilares fundamentales en el desarrollo de la temática.

Entre los institutos de CONICET se pueden mencionar el Centro de Virología Animal (CEVAN), que fue creado en el año 1974, y que, a partir del año 2007, dio lugar al Instituto de Ciencia y Tecnología César Milstein –ICT Milstein. De reciente creación, el Instituto de Investigaciones Biomédicas en Retrovirus y Sida (INBIRS) reemplazó al Centro Nacional de Referencia para el Sida (CNRS), que aborda principalmente la problemática del virus de inmunodeficiencia humana. Este instituto cuenta con laboratorios de seguridad biológica según normas internacionales. Asimismo, hay líneas de trabajo en Virología dentro de institutos multidisciplinarios y no específicos para temáticas virales, entre otros, Fundación Instituto Leloir y el IBR, donde existen grupos en Virología molecular básica.

Cabe destacar la acción de institutos que actúan como laboratorios de referencia, coordinan redes nacionales y participan en la vigilancia epidemiológica e investigación como los institutos Malbrán, Maiztegui y Vanella, en los cuales la Biología Molecular ha impactado fuertemente. Son importantes también las investigaciones dentro de los hospitales públicos. A modo de ejemplo, dentro de los Hospitales Profesor Dr. Juan P. Garrahan y el, Hospital de Niños Ricardo Gutiérrez, ambos en la ciudad de Buenos Aires.

La mayoría de los laboratorios mencionados investigan la epidemiología, los mecanismos moleculares de la patogénesis y el ciclo de replicación, diagnóstico y prevención en modelos de virus de importancia en salud humana o animal y virus de plantas. Entre los virus de relevancia en biomedicina estudiados se encuentran los arenavirus (en especial virus Junín), arbovirus (en especial el virus del dengue), retrovirus, virus papiloma humano, virus de hepatitis, herpesvirus y los virus respiratorios. Durante los últimos años también se han establecido laboratorios abocados al estudio de virus con fines biotecnológicos, como, por ejemplo, en la Universidades de La Plata, del

Litoral y de Quilmes. Desde el punto de vista de virus que infectan animales o plantas de interés agropecuario, el INTA, cuenta con importantes plataformas biotecnológicas que han permitido desarrollar tecnología de última generación con importante impacto en sus investigaciones, alberga a institutos de alto prestigio; como el Instituto de Virología del INTA y el Instituto de Biotecnología.

Los avances en Biología Molecular han impactado favorablemente en el estudio de los virus y se han publicado trabajos de altísima excelencia en temas sobre patogénesis, mecanismos de replicación o análisis estructural de componentes virales. Asimismo, la Biología Molecular ha permitido la identificación y análisis de nuevas variantes genotípicas circulantes en la población o en vectores y al desarrollo de nuevas metodologías diagnósticas.

Algunas acciones para la consolidación de la Virología Molecular en Argentina son:

Fortalecimiento de redes regionales y nacionales que permitan y faciliten la ejecución de proyectos competitivos multidisplinarios, donde puedan además, aplicarse variantes y aislamientos virales regionales en investigaciones básicas moleculares.

Mayor integración entre miembros del equipo de salud e investigadores. Esta modalidad no se encuentra muy diseminada en el país, sobre todo en el interior, y debería intensificarse y potenciarse.

Promoción del establecimiento de instalaciones e infraestructura con alto nivel de seguridad biológica en las distintas regiones del país y potenciar la formación de recursos humanos en esta temática.

Apoyo y financiamiento sostenido a grupos dedicados a la Virología molecular básica en el interior del país, que permitiría una incremento en la formación de recursos humanos calificado en esta disciplina a lo largo de todo del territorio.

ABREVIATURAS

AAA: Asociación Argentina de Astronomía
AACr: Asociación Argentina de Cristalografía
AAGG: Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas
AAIFQ: Asociación Argentina de Investigación Fisicoquímica
AAQA: Asociación Argentina de Químicos Analíticos
ABRAS: Centro Astronómico Argentino Brasileño
ACM: Asociation for Computing Machinery
ADS (Harvard-NASA): Astrophysics Data System
ADS: Accelerator Driven Systems
AFA: Asociación Física Argentina
AGI: Año Geofísico Internacional
AGN: Núcleos de Galaxias Activas
ALMA: Atacama Large Millimeter Array
AMIC: Consorcio de Institutos de Matemática Argentinos
ANC: Academia Nacional de Ciencias
ANCEFN: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
ANDES: Agua Negra Deep Experiment Site
ANEP: Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva
ANPCyT: Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica
APA: Asociación Paleontológica Argentina
AQA: Asociación Química Argentina
ARSAT:
AR-SIAM: Argentinean Section of Society for Industrial and Applied Mathematics (EEUU)
ASADES: Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente
AsAE: Asociación Argentina de Ecología
ASAMACI: Asociación Argentina de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial
CAB: Centro Atómico Bariloche
CABA: Ciudad Autónoma de Buenos Aires
CAC: Centro Atómico Constituyentes
CACIC: Congreso Argentino de Ciencia de la Computación
CADIC: Centro Austral de Investigaciones Científicas
CAECE: Centro de Altos Estudios en Ciencias Exactas
CALTECH: California Institute of Technology (Instituto de Tecnología de California)

CAPES: Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nivel superior (Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior)
CAREM: Central Argentina de Elementos Modulares
CASLEO: Complejo Astronómico El Leoncito
CBPF: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (Rio de Janeiro, Brasil)
CCAD: Centro de Computación de Alto Desempeño
CCT: Centros Científicos Tecnológicos
CE: Comité Ejecutivo
CECOAL: Centro de Ecología Aplicada del Litoral
CEFN: Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
CEFOBI: Centro de Estudios Fotosintéticos y Bioquímicos
CEGA: Centro de Estudios Geológicos Andinos
CENPAT: Centro Nacional Patagónico
CEPAVE: Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores
CEQUINOR: Centro de Química Inorgánica
CERELA: Centro de Referencia para Lactobacilos
CERZOS: Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida
CESSI: Cámara de Empresas de Software y Servicios Informáticos
CIBICI: Centro de Investigaciones en Bioquímica Clínica e Inmunología
CIC: Carrera del Investigador Científico
CIC: Comisión de Investigaciones Científicas
CICESE: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
CICOMARA: Cámara de Informática y Comunicaciones de la República Argentina
CICTERRA: Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra
CICyT: Consejo Interinstitucional de Ciencia y Tecnología
CICYTTP: Centro de Investigaciones Científicas y Transferencia de Tecnología a la Producción
CIEM: Centro de Investigación y Estudios de Matemática de Córdoba
CIFASIS: Centro Internacional Franco-Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas
CIFICEN: Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires
CIG: Centro de Investigaciones Geológicas
CIGEOBIO: Centro de Investigaciones de la Geósfera y Biósfera
CIHIDECAR: Centro de Investigaciones en Hidratos de Carbono
CIMA: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera
CIMA: Competencia Interuniversitaria Matemática Argentina
CIOp: Centro de Investigaciones Ópticas
CIPD: Centro de Información Puerto Deseado

CIQUIBIC: Centro de Investigaciones en Química Biológica de Córdoba
CITEDEF: Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa
CLAFV: Congreso Latinoamericano de Fisiología Vegetal
CNC: Comisión Nacional de Comunicaciones
CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica
CNEGH: Comisión Nacional de Estudios GeoHeliofísicos
CNIAPSO: Comité Nacional para la Asociación Internacional para las Ciencias Físicas del Océano
CNR: Consiglio Nazionale delle Richerch
CNRC: Centro Nacional de Radiación Cósmica
CNRS: Centre national de la recherche scientifique (Centro Nacional para la Investigación Científica de Francia)
CNUGGI: Comité Nacional para la Unión Geofísica y Geodésica Internacional
COBE: Cosmic Background Explorer (Explorador del Fondo Cósmico)
CONACyT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (México)
CONAE: Comisión Nacional de Actividades Espaciales
CONEAU: Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria
CONICET: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
COPLA: Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental Argentina
CRILAR: Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica de La Rioja CRyA: Centro de Radioastronomía y Astrofísica
CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España)
CTA: Cerenkov Telescope Array
CUCEN: Consejo Universitario de Ciencias Exactas y Naturales
CyT: Ciencia y Técnica
DAAD: Deutscher Akademischer Austauschdienst (Servicio Alemán de Intercambio Académico)
DCAO: Departamento de Ciencias de la Atmósfera y el Océano
DCM: Departamento de Ciencias Marinas
DES: Data Encription Standard
DF: Departamento de Física
DRAO: Dominion Radio Astrophysical Observatory
DTS: Desarrollo Tecnológico y Social
ECI: Escuela de Ciencias Informáticas
EBAI: Escuelas Argentino Brasileñas de Informática
EFPU: Estación Fotobiológica Playa Unión
ESLAI: Escuela Superior Latinoamericana de Informática
ESO: Observatorio Europeo del Sur
FAMAF: Facultad de Matemática, Astronomía y Física (UNC)
FANs: Floraciones Algales Nocivas

FAPESP: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fundación para el avance de la ciencia en San Pablo)
FCEIA: Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
FCEN (UBA): Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires
FCAGLP (UNLP): Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad de La Plata
FFyB: Facultad de Farmacia y Bioquímica
FI: Factor de Impacto
FIBA: Fundación para Investigaciones Biológicas Aplicadas
FLAQ: Federación Latinoamericana de Asociaciones Químicas
FOMEC: Fondo para la Mejora de la Calidad en la Enseñanza de Grado de las Ciencias
FONCyT: Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica
FONTAR: Fondo Tecnológico Argentino
GAATN: Gerencia de Área de Aplicaciones de la Tecnología Nuclear
GAEN: Gerencia de Área de Energía Nuclear
GAIyANN: Gerencia de Área de Investigación y Aplicaciones No Nucleares
GF: Gerencia Física
GIDDoF: Grupo de Investigación y Desarrollo en Docencia en Física
GIIEF: Grupo Interdisciplinario de Investigación en Enseñanza de la Física
GIyA: Gerencia, Investigación y Aplicaciones
IAA: Instituto Antártico Argentino
IADO: Instituto Argentino de Oceanografía
IAFE: Instituto de Astronomía y Física del Espacio
IAG: Instituto Astronómico y Geofísico
IAI-SAFER: Inter-American Institute for Global Change Research - Sensing the Americas' Freshwater Ecosystem Risk
IAL: Instituto de Agrobiotecnología del Litoral
IALP: Instituto de Astrofísica de La Plata
IAM: Instituto Argentino de Matemática Alberto Calderón
IANIGLA: Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales
IAPSO: International Association for the Physical Sciences of the Oceans (Asociación Internacional para las Ciencias Físicas del Océano)
IAR: Instituto Argentino de Radioastronomía
IATE: Instituto de Astronomía Teórica y Experimental
IAU: International Astronomical Union
IB: Instituto Balseiro
IBIGEO: Instituto de Bio y Geociencias del NOA
IBM: Instituto de Biología Marina
IBM: International Business Machines Corp.

IBONE: Instituto de Botánica del Nordeste
IBODA: Instituto de Botánica Darwinion
IBR: Instituto de Biología Molecular y Celular de Rosario
IC: Instituto de Cálculo
IC: Informática y Comunicaciones
ICATE: Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio
ICC: Instituto de Ciencias de la Computación
ICIC: Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación
ICRAnet: International Center for Relativistic Astrophysics Network (Pescara, Italia)
I&D: Investigación y Desarrollo
IDC: Instituto de Desarrollo Costero
IDEAN: Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber
IEGEBA: Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires
IFAS: Instituto de Física Arroyo Seco
IFEG: Instituto de Física "Enrique Gaviola"
IFEVA: Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas vinculadas a la Agricultura
IFIBA: Instituto de Física de Buenos Aires
IFIMAR: Instituto de Investigaciones Físicas de Mar del Plata
IFIMAT: Instituto de Física de Materiales Tandil
IFIR: Instituto de Física de Rosario
IFIS Litoral: Instituto de Física del Litoral
IFISUR: Instituto de Física del Sur
IFLP: Instituto de Física de La Plata
IFLYSIB: Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos
IGCyC: Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario
IGEBA: Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires
IHEM: Instituto de Histología y Embriología de Mendoza
IIB: Instituto de Investigaciones Biológicas
IIB-INTECH: Instituto de Investigaciones Biotecnológicas, Instituto Tecnológico de Chascomús
IIMyC: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
ILAV: Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión
ILPLA: El Instituto de Limnología Dr. Raúl A. Ringuelet
IMAF: Instituto de Matemática, Astronomía y Física
IMAL: Instituto de Matemática Aplicada del Litoral
IMAM: Instituto de Materiales de Misiones
IMAS: Instituto de Investigaciones Matemáticas Luis A. Santaló
IMASL: Instituto de Matemática Aplicada San Luis

IMBECU: Instituto de Medicina y Biología Experimental de Cuyo
IMBIV: Instituto Multidisciplinario de Biologia Vegetal
IMIT: Instituto de Modelado e Innovación Tecnológica
IMS: Espectrometría de Movilidad Iónica
IMU: International Mathematical Union
INA: Instituto Nacional del Agua
INALI: Instituto Nacional de Limnología
INBIOLP: Instituto de Investigaciones Bioquímicas de La Plata
INBIOMA: Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente
INCITAP: Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa
INENCO: Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional
INFAP: Instituto de Física Aplicada
INFIP: Instituto de Física del Plasma
INFIQC: Instituto de Investigaciones en Físico-química de Córdoba
INGEBI: Instituto de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular, "Dr. Héctor N. Torres"
INGEIS: Instituto de Geocronología y Geología Isotópica
INGEOSUR: Instituto Geológico del Sur
INIBBIB: Instituto de Investigaciones Bioquímicas de Bahía Blanca
INIDEP: Instituto Nacional de Investigaciones y Desarrollo Pesquero
INIFTA: Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas
INMABB: Instituto de Matemática de Bahía Blanca
INREMI: Instituto de Recursos Minerales
INRIA: Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique
INSIBIO: Instituto Superior de Investigaciones Biológicas
INSUGEO: Instituto Superior de Correlación Geológica
INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
INTEC: Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química
INTEMA: Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales
INTEQUI: Instituto de Investigaciones en Tecnología Química
INTI: Instituto Nacional de Tecnología Industrial
INQUIMAE: Instituto de Química Física de los Materiales, Medioambiente y Energía
INQUINOA: Instituto de Química del Noroeste Argentino
INQUISAL: Instituto de Química San Luis
INQUISUR: Instituto de Química del Sur
INVAP: Investigación Aplicada Sociedad del Estado
IQUIFIB: Instituto de Química y Fisicoquímica Biológicas
IQUIR: Instituto de Química Rosario
ISAL: Instituto de Salud y Ambiente del Litoral
ISISTAN: Instituto Superior de Ingeniería del Software

ISON: International Scientific Optical Network
ITeDA: Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas
ITER: International Thermonuclear Experimental Reactor
IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)
JAIIO: Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa
JAPV: Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados
KIAM: Keldysh Institute of Applied Mathematics (Rusia)
LACEGAL: Latin-America Chinese European Galaxy Formation Network
LAFIAT: Laboratorio de Física de la Atmósfera
LaFiSo: Laboratorio de Física del Sólido
LHC: Large Hadron Collider (Gran colisionador de hadrones)
LIGO: Observatorio de interferometría láser de ondas gravitacionales (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)OAC: Observatorio Astronómico de Córdoba
LLAMA: Large Latin American Millimetre Array
LPP: Laboratorio de Paleoecología y Palinología de Mar del Plata
LTS: Laboratorio de Técnicas Satelitales
MACN: Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia
MC: Materia Condensada
ME: Ministerio de Educación de la Nación
MEMS: Micro-Electro-Mechanical Systems
MINCyT: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva
MYRRHA: Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications
NEA: Nordeste argentino
NIH: National Institutes of Health (EEUU)
NOA: Noroeste argentino
NSA: National Security Agency
NSF: National Science Foundation (Fundación Nacional para la Ciencia)
NSPE: Núcleos Socio-Productivos Estratégicos
OAFA: Observatorio Astronómico Félix Aguilar
ONFCSM: Observatorio Nacional de Física Cósmica de San Miguel
PABI: Programa Argentino Brasileño de Investigación y Estudios Avanzados en Informática
PABMB: Panamerican Association for Biochemistry and Molecular Biology
PAE: Programa de Áreas Estratégicas
PBI: Producto Bruto Interno
PEA: Población Económicamente Activa
PHYS: Physics and Astronomy
PICT: Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica
PIP: Proyectos de Investigación Plurianuales

PLAPIQUI: Planta Piloto de Ingeniería Química
PME: Proyectos de Modernización de Equipamientos
PNA: Prefectura Naval Argentina
PROBIBEGA: Programa de Estrellas Binarias Interactuantes, Estrellas Be y Radiación Gama de muy Altas Energías
PROFOEG: Programa de Fotometría y Estructura Galáctica
PROIMI: Planta Piloto de Procesos Industriales Microbiológicos
PROMINF: Programa de Mejoramiento de la Enseñanza en Carreras de Informática
QCD: Cromodinámica cuántica
RAFV: Reunión Argentina de Fisiología Vegetal
RedUNCI: Red de Universidades con Carreras de Informática
RELAQ: Red Latinoamericana de Química
REM: Revista de Educación Matemática
RICyT: Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología
RIKEN: Laboratory of Advanced Brain Signal Processing, Bain Science Institute
RIO: Escuela de Verano de Ciencias Informáticas
RMN: Resonancia Magnética Nuclear
ROECyT: Registro de Organismos y Entidades Científicas y Tecnológicas
ROV: Vehículos de Operación Remota
RP: Región Pampeana
SAB: Sociedad Argentina de Biología
SAB: Sociedad Argentina de Biofísica
SAByB: Sociedad Argentina de Biocatálisis y Biotransformaciones
SAC: Sociedad Argentina de Computación
SADIO: Sociedad Argentina de Informática e Investigación Operativa
SAE: Sociedad Argentina de Estadística
SAEM: Sociedad Argentina de Endocrinología y Metabolismo
SAFIM: Sociedad Argentina de Física Médica
SAFV: Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal
SAG: Sociedad Argentina de Genética
SAIB: Sociedad Argentina de Investigación en Bioquímica y Biología Molecular
SAIQO: Sociedad Argentina de Investigaciones en Química Orgánica
SAM: Sociedad Argentina de Materiales
SAMIGE: Sociedad Argentina de Microbiología General
SAN: Sociedad Argentina de Investigación en Neurociencias
SAP: Sociedad Argentina de Protozoología
SAV: Sociedad Argentina de Virología
SCI: Science Citation Index
SECyT: Secretaría de Ciencia y Tecnología
SEDRONAR: Secretaría de Programación para la Prevención de la Drogadicción

y la Lucha contra el Narcotráfico
SEGEMAR: Servicio Geológico Minero Argentino
SENID: Servicio Naval de Investigaciones y Desarrollo
SHN: Servicio de Hidrografía Naval
SIABC: Sociedad Iberoamericana de Biología Celular
SINAQO: Simposio Nacional de Química Orgánica
SINC(i): Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional
SJR: SCImago Journal Rank
SKA: Square Kilometre Array
SLAME: Sociedades Latinoamericanas de Microscopía Electrónica
SNBDM: Sistema Nacional de Bases de Datos del Mar
SNCAD: Sistema Nacional de Computación de Alto Desempeño
SOHO: Solar and Heliospheric Observatory
SOLECOL: Sociedad de Ecología de Chile
SPU: Secretaria de Políticas Universitarias
SRON: Netherlands Institute for Space Research
STAN: Servicios Tecnológicos de alto nivel
STEREO: Solar Terrestrial Relations Observatory
TIC: Tecnologías de Información y Comunicación
TRACE: Transition Region and Coronal Explorer
TOROS: Transient Optical Robotic Telescope of the South
UAI: Universidad Abierta Interamericana
UADE: Universidad Argentina de la Empresa
UB: Universidad de Belgrano
UBA: Universidad de Buenos Aires
UBP: Universidad Blas Pascal
UCA: Universidad Católica Argentina
UCASAL: Universidad Católica de Salta
UCAECE: Universidad Centro de Altos Estudios en Ciencias Exactas
UCCUYO: Universidad Católica de Cuyo
UCH: Universidad Champagnat
UCSE: Universidad Católica de Santiago del Estero
UdA: Universidad del Aconcagua
UdeMM: Universidad de la Marina Mercante
UE: Unidad Ejecutora
UFASTA: Universidad FASTA
UK: Universidad Argentina John F. Kennedy
UM: Universidad de Mendoza
UM: Universidad de Morón
UMA: Unión Matemática Argentina

UMAZA: Universidad Juan Agustín Maza
UMYMFOR: Unidad de Microanálisis y Métodos Físicos Aplicados a Química Orgánica
UNaF: Universidad Nacional de Formosa
UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM: Universidad Nacional de Misiones
UNC: Universidad Nacional de Córdoba
UNCa: Universidad Nacional de Catamarca
UNComa: Universidad Nacional del Comahue
UNCUYO: Universidad Nacional de Cuyo
UNGS: Universidad Nacional de General Sarmiento
UNICEN: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
UNISUR
UNJu: Universidad Nacional de Jujuy
UNL: Universidad Nacional del Litoral
UNLaM: Universidad Nacional de La Matanza
UNLAR: Universidad Nacional de La Rioja
UNLP: Universidad Nacional de La Plata
UNLPam: Universidad Nacional de La Pampa
UNLu: Universidad Nacional de Luján
UNM: Universidad Nacional de Moreno
UNMdP: Universidad Nacional de Mar del Plata
UNNE: Universidad Nacional del Nordeste
UNPA: Universidad Nacional de la Patagonia Austral
UNPSJB: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
UNR: Universidad Nacional de Rosario
UNRC: Universidad Nacional de Río Cuarto
UNRN: Universidad Nacional de Río Negro
UNS: Universidad Nacional del Sur
UNSa: Universidad Nacional de Salta
UNSAM: Universidad Nacional de General San Martín
UNSE: Universidad Nacional de Santiago del Estero
UNSJ: Universidad Nacional de San Juan
UNSL: Universidad Nacional de San Luis
UNT: Universidad Nacional de Tucumán
UNTDF Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur
UP: Universidad de Palermo
USAL: Universidad del Salvador
UTDT: Universidad Torcuato Di Tella
UTN: Universidad Tecnológica Nacional

UVic: Universitat de Vic
WYMPs: Weakly Interacting Massive Particles
YBCO: Yttrium Barium Copper Oxide
YTEC: YPF Tecnología

ISBN 978-987-46127-0-0