

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 (IEGEB-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, Helminología, 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.

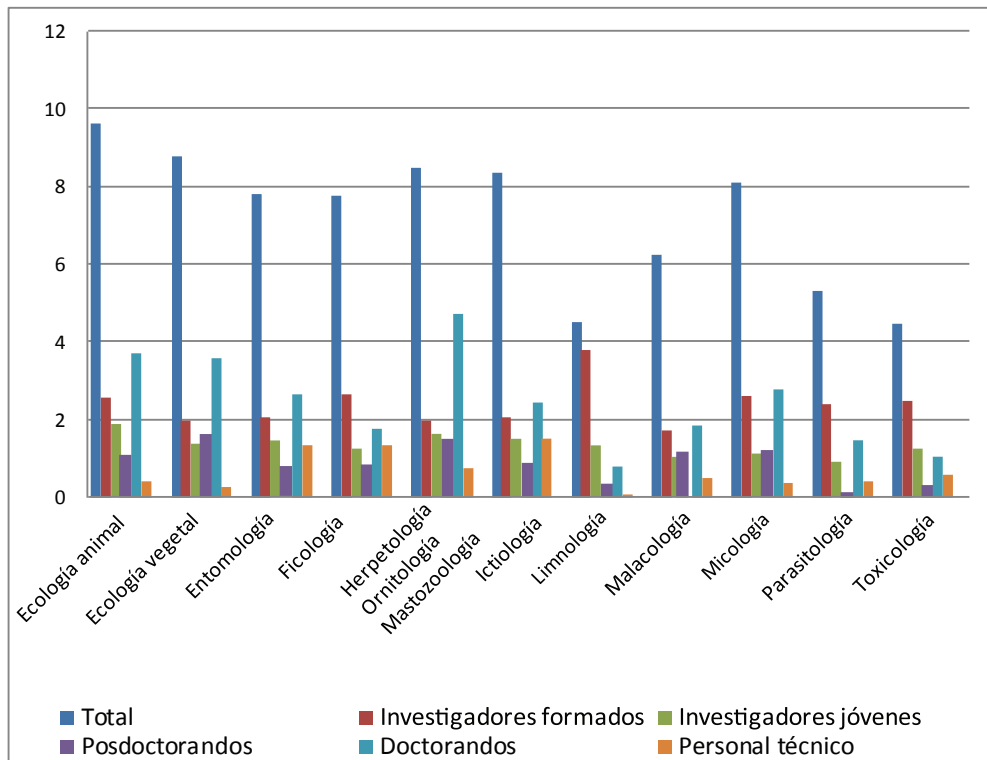


Gráfico 3.1. Cantidades promedio de investigadores formados, en formación, posdoctorandos, doctorandos y personal técnico por grupo de investigación, discriminadas según especialidad. *Fuente:* encuesta (cantidad de grupos relevados: 195).

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 (IEGEB, 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 clásicas, 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).

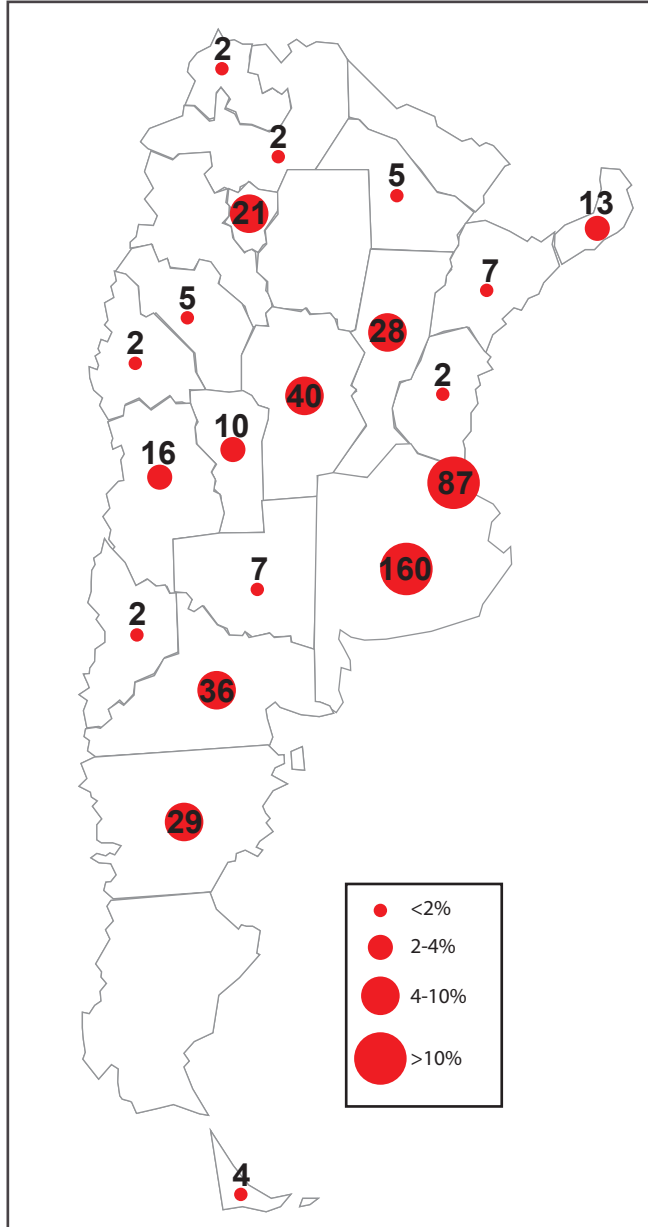


Gráfico 3.2. Distribución por provincias de grupos de investigación de Biología de Sistemas. *Fuente:* encuesta.

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.

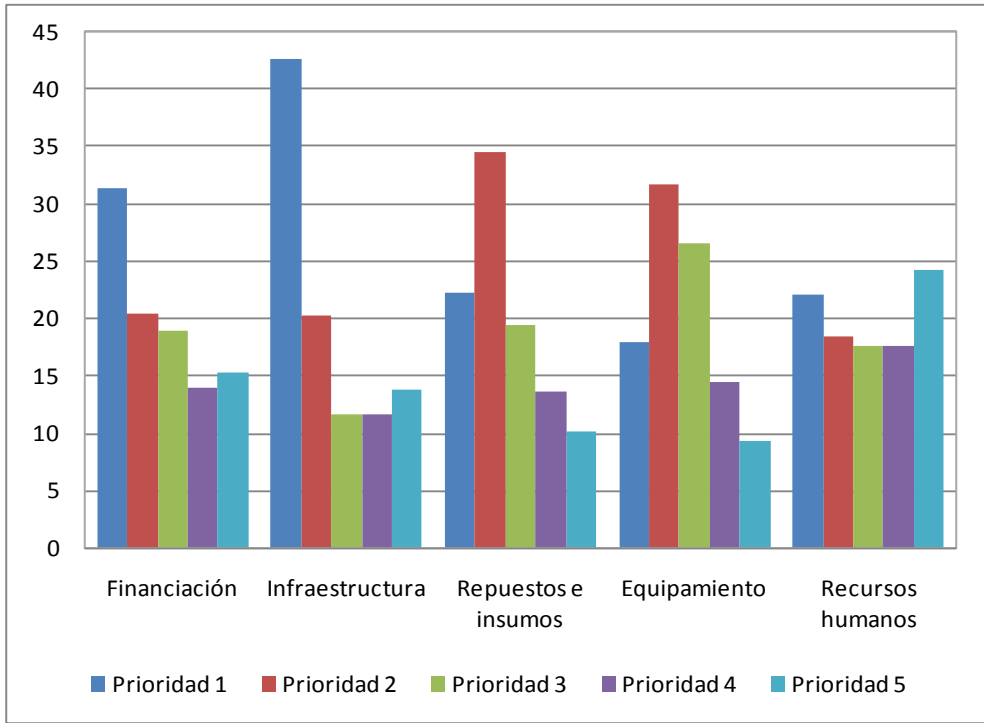


Gráfico 3.3. Para cada uno de los 5 escollos listados se indica el porcentaje de respuestas que identificaron el problema respectivo como altamente importante (Prioridad 1), hasta poco importante (Prioridad 5). *Fuente:* encuesta.

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.

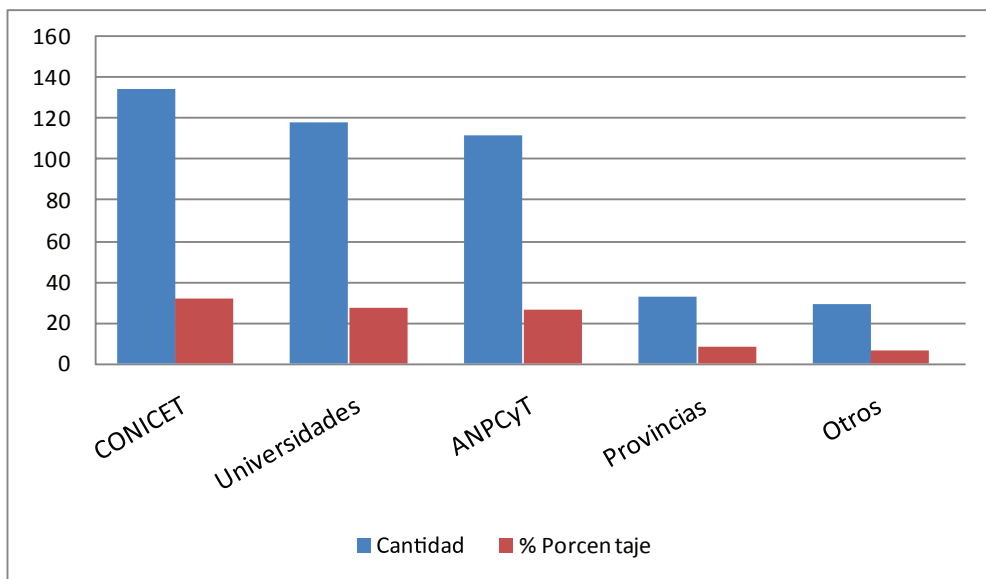


Gráfico 3.4. Fuentes de financiación de los proyectos de investigación. Se indica la cantidad de jefes de grupo que las reconocieron como tales y su frecuencia relativa. Fuente: encuesta.

De estos, la mayoría mencionaron haber recibido entre 5,000 y 50,000 U\$, seguidos por aquéllos que recibieron menos de U\$ 5,000, y finalmente los que recibieron más de U\$ 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.

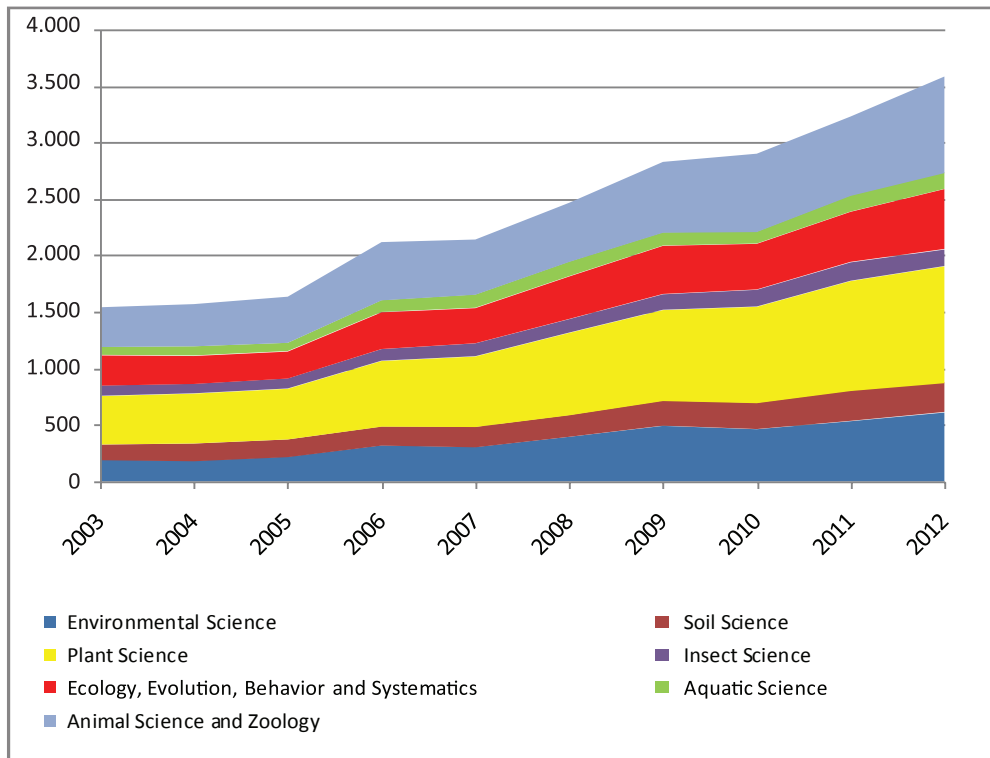


Gráfico 3.5. Cantidad total de artículos con autores argentinos en diversas especialidades de la Biología de Sistemas, para el lapso 2003 y 2012. *Fuente:* SCImago.

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.

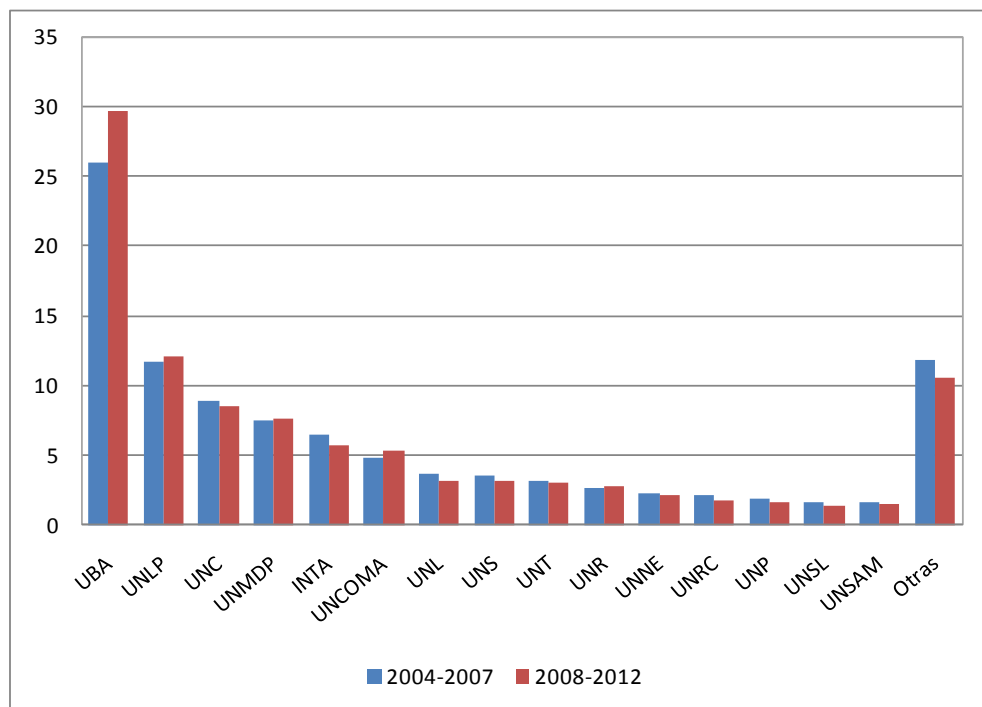


Gráfico 3.6. Porcentaje de la producción científica en revistas internacionales indexadas, discriminada por afiliación institucional de los autores para los períodos 2004-2007 y 2008-2012. La categoría “Otras” incluye 25 instituciones. Fuente: SCI, datos proporcionados por RICyT.

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 involucren 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.

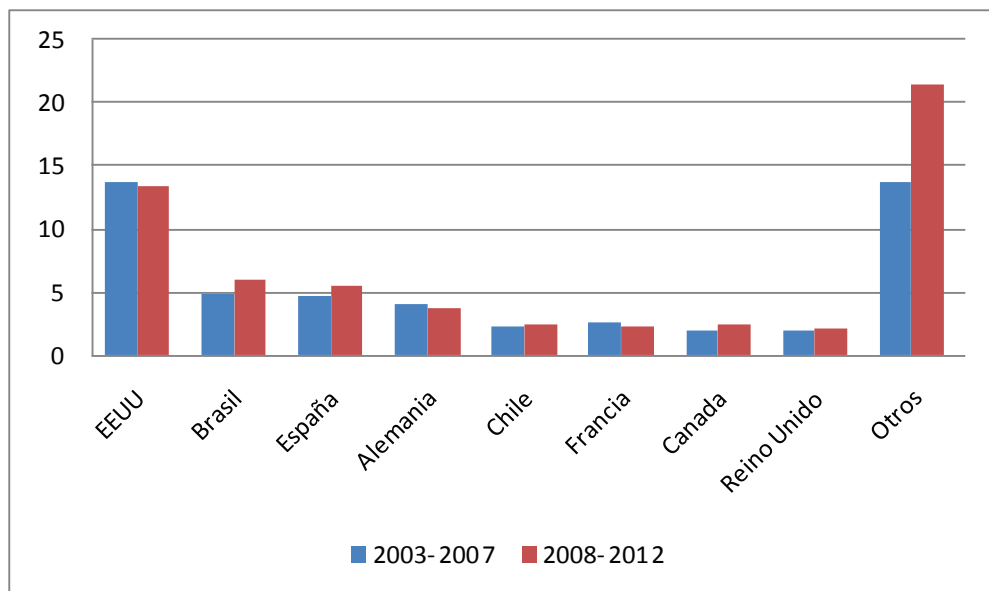


Gráfico 3.7. Porcentaje de publicaciones con autores de afiliación argentina en colaboración con colegas de otros países en los períodos 2003-2007 y 2008-2012. Fuente: SCI, datos proporcionados por RICyT.

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.

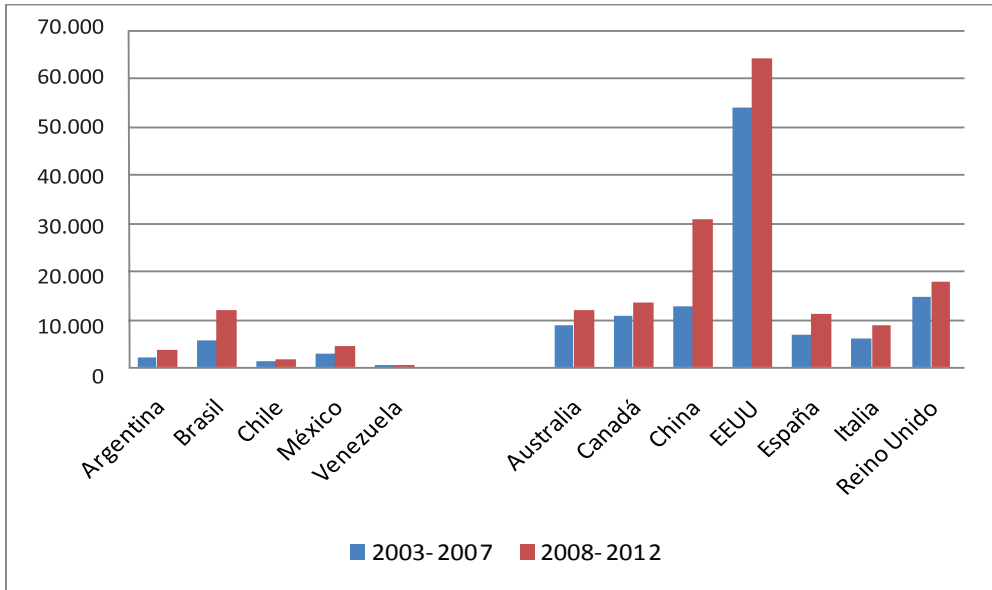
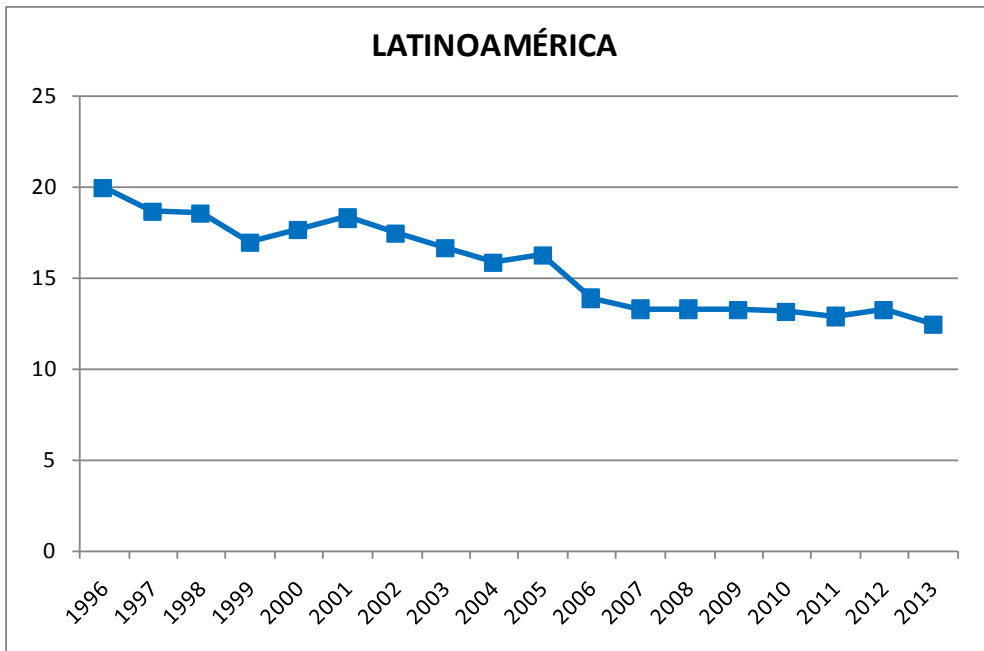
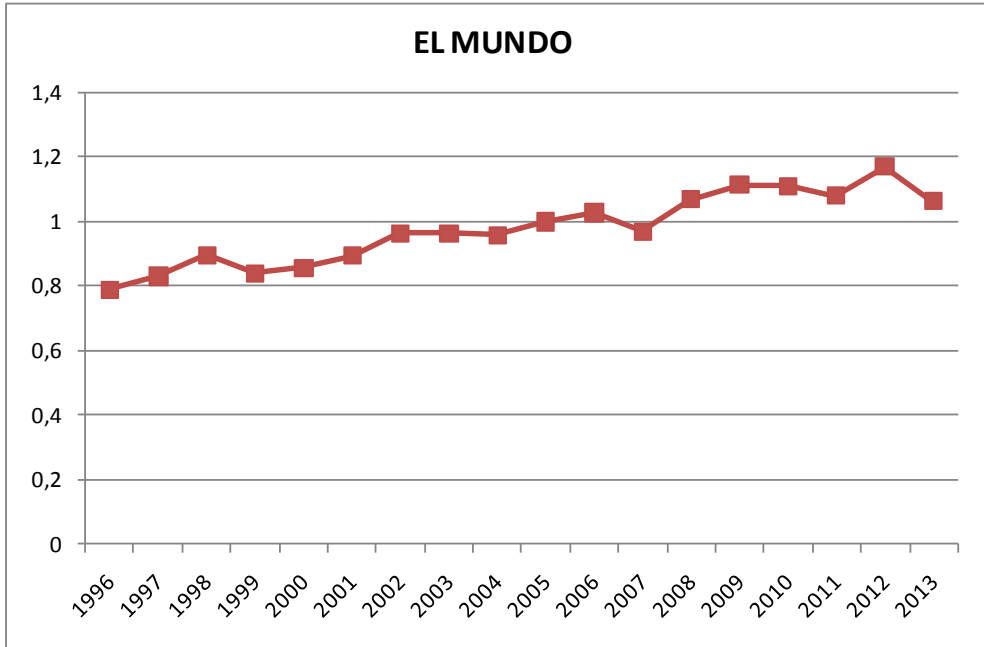


Gráfico 3.8. Promedios anuales de artículos publicados para los períodos 2003-2007 y 2008-2012 considerando las subáreas de *Agricultural and Biological Sciences: Animal Science and Zoology, Aquatic Science, Ecology Evolution, Insect Science, Plant Science y Soil Science*, y la totalidad de las subáreas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

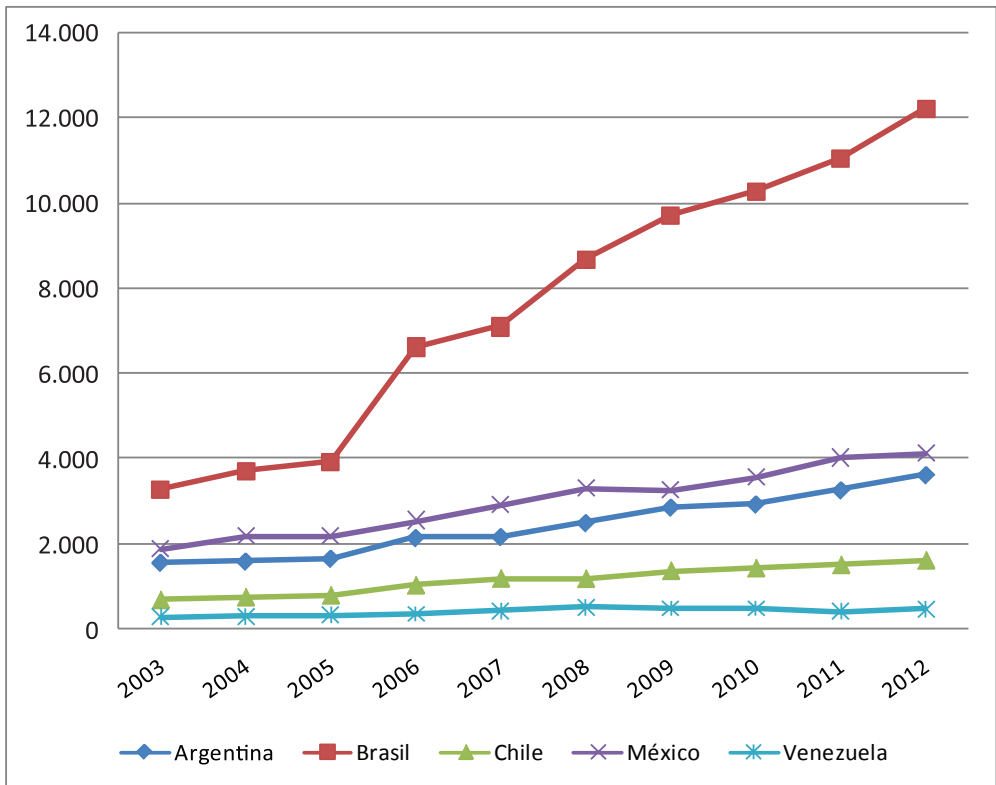


Gráfico 3.10. Artículos con autores argentinos en comparación con las de autores de otros países de Latinoamérica en el período 2003-2012. Fuente: SCImago.

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).

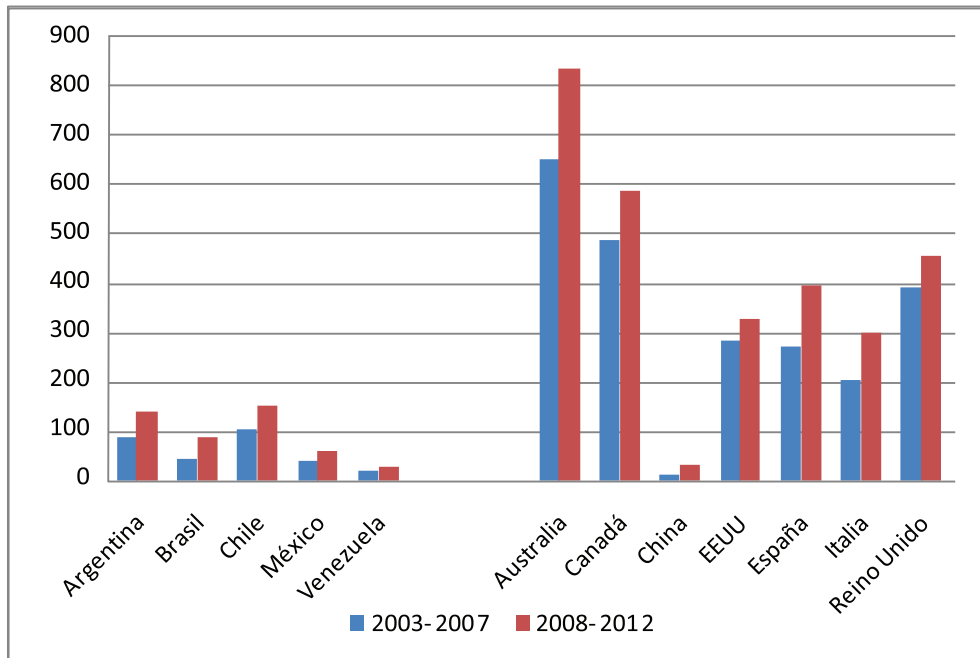


Gráfico 3.11. Número de artículos en los períodos 2003-2007 y 2008-2012 pesado por millón de personas económicamente activas. *Fuente:* SCImago y Banco Mundial.

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 de Sistemas). 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.

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

	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
Proporción 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
Proporción 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]	Hydrobiologia [0.876]	Phycologia [0.679]	Malacologia [0.478]	Neotrop [0.612]	Ornitol [0.202]
	J Arid Env [0.824]	Limnologica [0.606]	J Phycol [0.864]	Biocell [0.232]	Rev Suisse [0.245]	Ecol Austral [0.29]
	J Veg Sci [1.486]	Ecol Austral [0.29]	Limnetica [0.383]	[0.499]	J Fish Biol [0.789]	J Arid Envir [0.824]
	Austral Ecology [0.854]	Freshw Biol [1.615]	Hydrobiologia [0.876]	Hydrobiologia [0.876]	Aquac Res [0.667]	Emu [0.748]
	Forest Ecol Manag [1.529]	J Plankton Res [1.305]	Biores Technol [2.112]	Ameghiniana [0.414]	Ecol Austral [0.29]	Mem Inst [0.619]
	Oecologia [1.601]	Photochem [1.997]	Diat Res [0.449]	Amer Malacol [0.468]	Fish Res [0.775]	Oswaldo Cruz [0.885]
	Plant Ecol [0.832]	Photobiol [0.709]	J Plankton Res [1.305]	Braz J Biol [0.217]	Biol Trace Elem Res [5.473]	Polar Biol [0.885]
	Appl Veg Sci [5.473]	Oceanogr [1.997]	Phycol Res [5.473]	Biol Inv [1.257]	Elem Res [5.473]	Mammal Biol [5.473]
	Ecology [3.246]	Photochem [5.473]	Bot Mar [0.453]	Veliger [0.419]	Check List [0.306]	Condor [0.639]
	Biodiv Cons [1.004]	Photobiol Sci [5.473]	Darwiniana [0.165]		J Appl Ichthyol [0.427]	Ecology [3.246]
		Bull Environ Cont Toxicol [0.557]				
		Polar Biol [0.885]				
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

	Micología	Entomología/ Aracnología/ Carcinología	Herpetología/ Ornitología/ Mastozoología	Parasitología
	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]	Zootaxa [0.51]	Zootaxa [0.51]	J Paras [0.547]	Paras
Mycotaxon [0.468]	Mem Inst	Mastozool	Paras	Latinoamer [0]
Int J Food Microbiol [1.386]	Oswaldo Cruz [0.619]	Neotrop [0.268]	Latinoamer [0]	Paras Res [0.992]
Mycopathologia [0.401]	Florida Entomol [0.514]	Mamm Biol [0.521]	Paras Res [0.992]	Rev Arg
Mycorrhiza [0.916]	Ann Entomol [0.652]	J Morphol [0.602]	Rev Arg	Microbiol [0.245]
Int J Syst Evol Microbiol [0.906]	Soc Am [0.652]	Mammalia [0.307]	Mem Inst	Mem Inst
FEMS Microbiol Ecol [1.372]	Neotrop [0.459]	Ornitol Neotrop [0.202]	Oswaldo Cruz [0.619]	Oswaldo Cruz [0.619]
Int Biodet Biodegr [5.473]	Cladistics [2.05]	Palaeogeogr [0.307]	Comp Paras [0.408]	Comp Paras [0.408]
Rev Arg Microbiol [0.245]	J Med Entomol [0.867]	Palaeoclimat [1.433]	Salud (i) Ciencia [0.101]	Salud (i) Ciencia [0.101]
Europ J Plant Pathol [0.73]	Rev Biol Trop [0.278]	J Zool [0.93]	Acta Bioq Clin Latinoamer [0.183]	Acta Bioq Clin Latinoamer [0.183]
	Ecol Austral [0.29]	Mol Phylog Evol [1.783]	Paras Int [0.836]	Paras Int [0.836]
	Stud Neotrop Fauna Envir [0.371]	Quat Int [0.969]	Syst Paras [0.458]	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 correspondiente 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 citas 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 citas 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 citas), los indicadores de Argentina, Brasil, Chile, México y Venezuela probablemente serían significativamente más bajos que los de Australia, Canadá, EEUU y el Reino Unido.

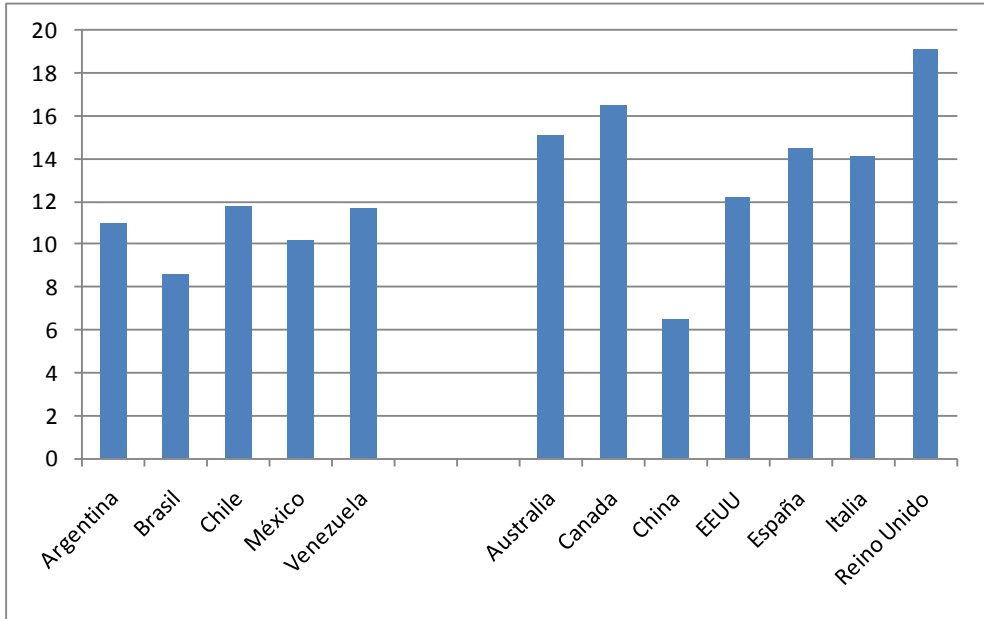


Gráfico 3.13. Promedio de citas por artículo anual (excluyendo autocitas) para el período 2003-2007. Fuente: SCImago.

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 citas (0,40 citas 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) citas 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 citas, 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 citas (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.).

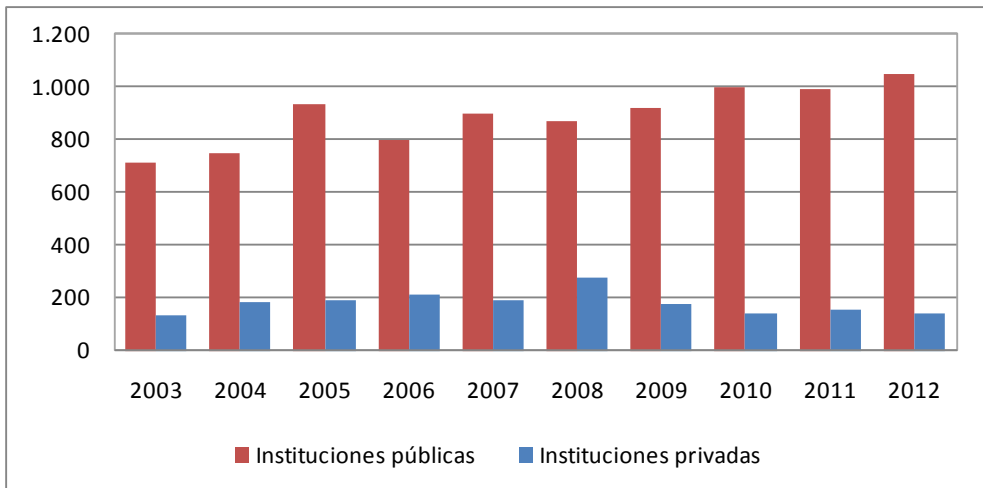


Gráfico 3.15. Evolución de la cantidad de egresados de grado en instituciones públicas y privadas. Fuente: Ministerio de Educación de la Nación.

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.

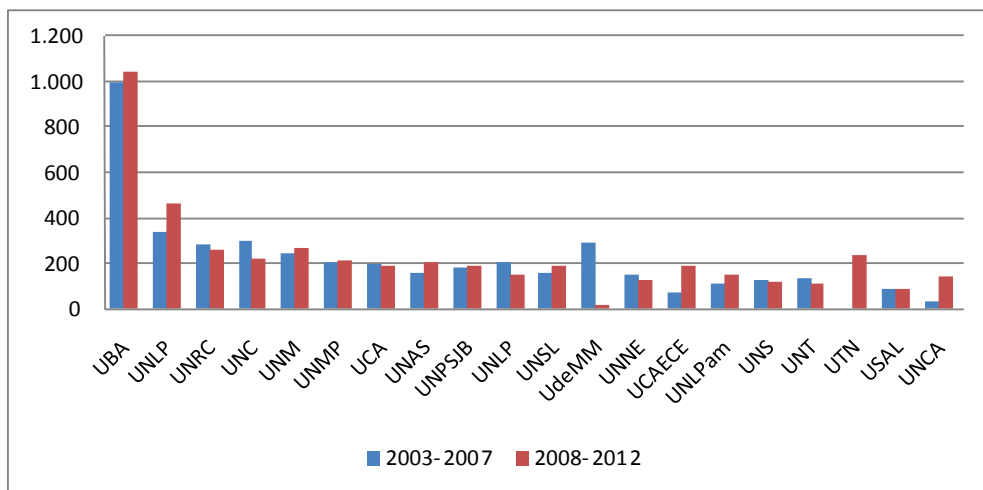


Gráfico 3.16. Total de egresados de grado de Carreras de Biología y ramas afines en 20 instituciones públicas y privadas en los períodos 2003-2007 y 2008-2012. Fuente: Anuario de Estadísticas Universitarias 2012 de la Secretaría de Políticas Universitarias.

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).

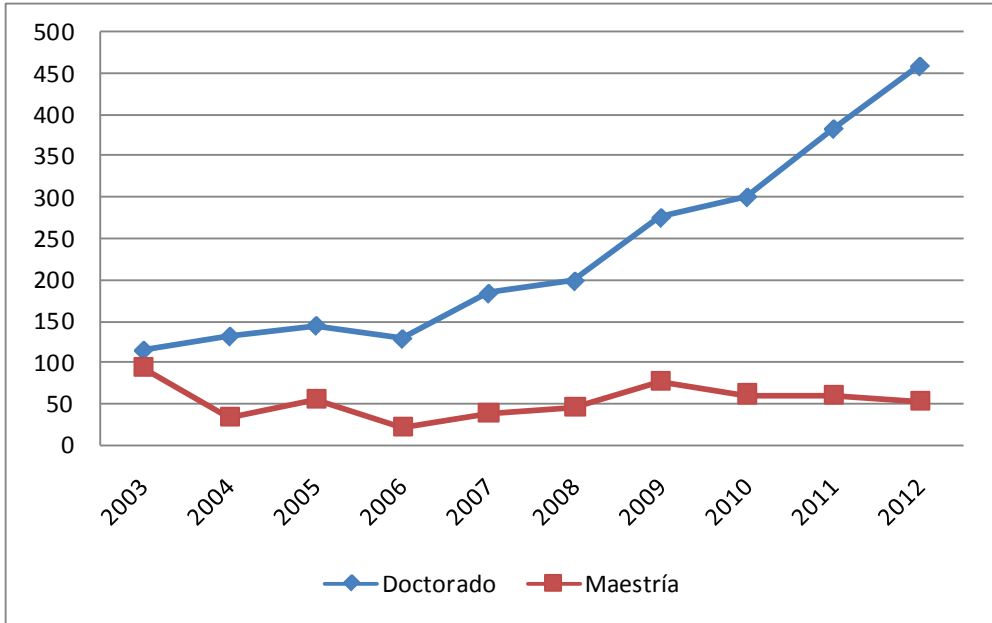


Gráfico 3.17. Evolución del número de egresados de postgrado en Biología de Sistemas entre 2003 y 2012 en instituciones públicas.

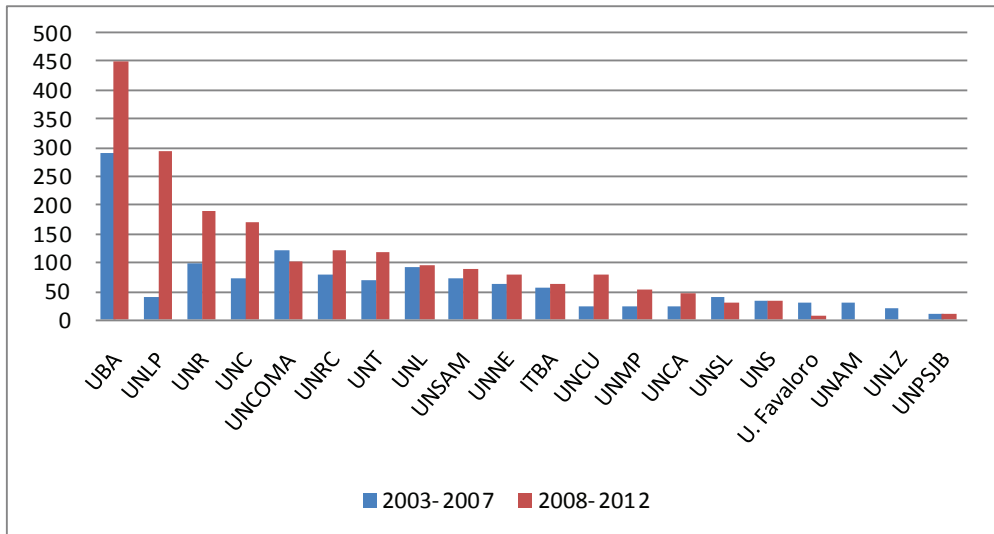


Gráfico 3.18. Cantidad total de egresados de postgrado (Maestría y Doctorado) de Carreras de Biología y ramas afines en 20 instituciones públicas y privadas en los períodos 2003-2007 y 2008-2012. Fuente: Anuario de Estadísticas Universitarias 2012 de la Secretaría de Políticas Universitarias.

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).

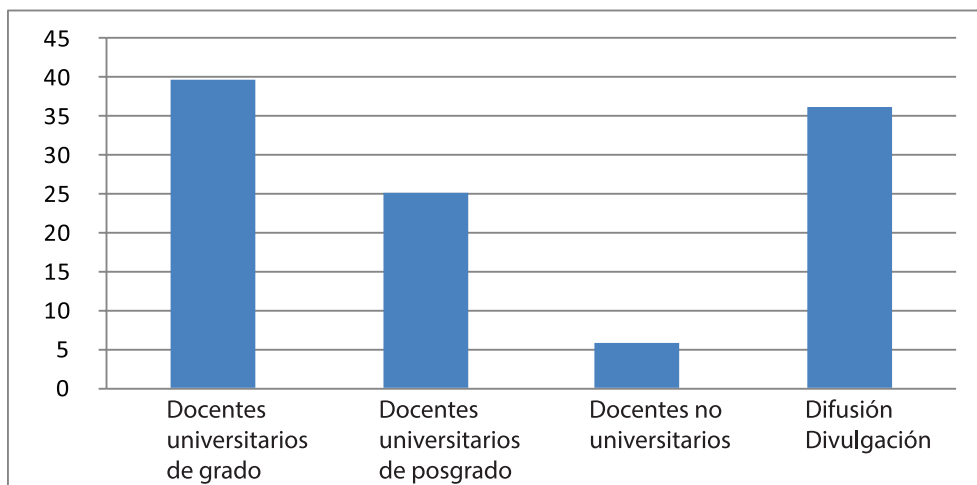


Gráfico 3.19. Porcentaje de participación de los miembros de los grupos de trabajo relevados (incluyendo todos los niveles de formación) en tareas de docencia y de divulgación de la ciencia. *Fuente:* encuesta.

Lamentablemente, no se ha podido conseguir información detallada sobre la disponibilidad y evolución temporal de becas de posgrado, 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 posgrado 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 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 Asociación 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 simbioses 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 cápita* 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 Médio* 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 aquella 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 irrefutables asertos: 1.º 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.º 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 hartamente 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.

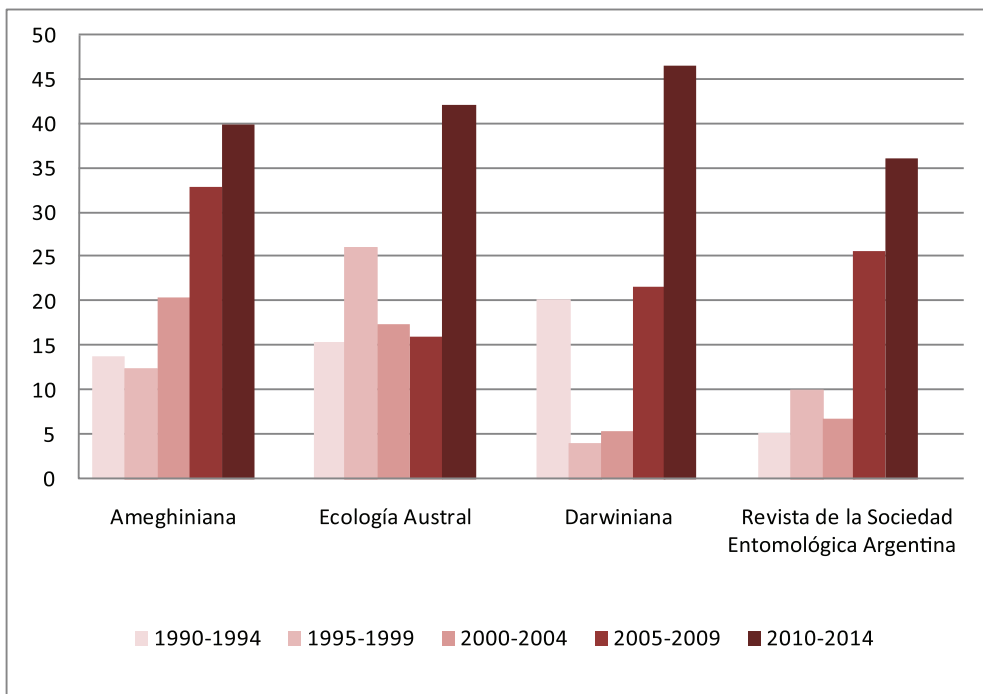


Gráfico 3.20. Cantidad promedio por quinquenio de artículos en inglés en cuatro revistas científicas argentinas de Biología de Sistemas entre 1990 y 2014.

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 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 millones 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.