

Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena 2005

Presentación



Capítulos Transversales



	<i>páginas</i>
1 Ciencia y Sociedad	1 - 20
2 Enseñanza de las Ciencias a nivel escolar y formación en Ciencia en el Pregrado Universitario	21 - 49
3 Posgrado	51 - 73
4 Publicaciones y Patentes	75 - 107
5 Inversión Nacional en Investigación y Desarrollo (1995-2004)	109 - 132
6 Relaciones Internacionales de la Ciencia Chilena	133 - 140

Capítulos Temáticos



	<i>páginas</i>
7 Biología	141 - 157
8 Biomedicina	159 - 168
9 Ciencias Químicas	169 - 195
10 Ciencias Matemáticas	197 - 221
11 Física	223 - 237
12 Astronomía	239 - 259
13 Ciencias Agronómicas y Forestales	261 - 293
14 Ciencias Ambientales	295- 331
15 Ciencias de la Ingeniería	333 - 342
16 Ciencias de la Tierra	343 - 374
17 Ciencias del Mar	375 - 402

Conclusiones y Recomendaciones



Presentación

1. Antecedentes

La Academia Chilena de Ciencias, en su breve historia, ha sentido la responsabilidad de hacer periódicamente una reflexión introspectiva sobre el estado de la ciencia en nuestro país. Con ese objetivo ha convocado a la comunidad científica nacional a tomar inventario y a examinar su quehacer con miras a presentarle al país una visión sobre la realidad del progreso científico-tecnológico nacional y nuestra opinión sobre las medidas necesarias para impulsar su actividad para el beneficio del desarrollo cultural y socio-económico de Chile.

En 1982, la Academia, en conjunto con la Corporación de Promoción Universitaria, publicó un estudio titulado *“Las actividades de investigación y desarrollo en Chile”* Apablaza (coordinador), Santiago de Chile, Alfabetá (1982). Una década más tarde, en 1993, con motivo de la reunión de la Asamblea General del Consejo Internacional de Ciencias en Santiago, la Academia y el Comité Nacional ICSU realizó el estudio titulado *“Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena”* (J.E. Allende y T. Ureta editores, Alfabetá, Santiago, 1993) y junto con ese estudio publicó el primer Directorio de Investigadores en Chile. En el Directorio se publicó una lista de los investigadores activos según criterios internacionales que el país tenía en 8 áreas de las ciencias.

El año 2000, motivados por la gran discusión sobre la Era del Conocimiento que se iniciaba con el nuevo siglo y el nuevo milenio, la Academia, nuevamente junto con el Comité Nacional ICSU y el Consejo de Sociedades Científicas de Chile, convocó a un estudio que se tituló *Chile-Ciencia 2000. Ciencia y Tecnología y la Sociedad Chilena: un Encuentro Necesario*. En esa ocasión se consiguió una amplia participación nacional mediante la organización de foros desarrollados en los principales centros universitarios regionales. Dicho estudio analizó de la situación en 18 áreas disciplinarias y acordó una serie de planteamientos en 5 tópicos principales en los cuales se hicieron recomendaciones al Estado, a la comunidad científica, a las universidades, al sector productivo y a los medios de comunicación.

Este año 2005 hemos sentido que es nuevamente necesario analizar cómo lo estamos haciendo como país en el desarrollo científico-tecnológico. Nos parece especialmente atinente hacerlo en este momento porque creemos que Chile está en un punto de inflexión que pudiera llevarnos al desarrollo cultural y socioeconómico del país con todos los beneficios que eso podría implicar con respecto al bienestar de su gente. Sentimos que este logro, en los años en que el país conmemora sus 200 años de vida independiente, depende en gran medida de las decisiones que tomemos con respecto a las políticas nacionales de ciencia y tecnología. Por esta razón nos parece responsable hacer un diagnóstico de la situación actual y presentarle al país y a sus autoridades nuestras recomendaciones de cómo avanzar con mayor celeridad en este campo y de cómo poner el conocimiento al servicio del país.

Para la concreción del presente estudio, se firmó un Convenio entre la Academia Chilena de Ciencias y el Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología (PBCT) de CONICYT que es co-financiado por el Banco Mundial. El estudio es una actividad realizada en el marco del Observatorio Chileno de Ciencia, Tecnología e Innovación (KAWAX) del PBCT.

Los objetivos de este estudio son los siguientes: *Primero*: Conocer con profundidad los indicadores que marcan la calidad, amplitud, productividad, inserción internacional y la preparación de los cuadros que crean conocimientos en las diferentes grandes áreas de las ciencias exactas y naturales en Chile. Comparar el progreso de esos indicadores en el tiempo y con los que se obtienen en América Latina y en otras regiones del mundo. *Segundo*: Analizar el

desarrollo de 8 áreas de las ciencias exactas y naturales en cuanto a su progreso en el tiempo; a las fortalezas y debilidades que presentan y a su incidencia en el desarrollo científico-tecnológico nacional. En el análisis se incluirán nuevas áreas como la informática (incluida dentro de las ciencias de la ingeniería), agronomía y biomedicina. Proyectar el futuro desarrollo que esas áreas deberían tener. *Tercero:* Presentarle a CONICYT, al gobierno y a la comunidad nacional, la opinión de la comunidad científica representada por la Academia y por las Sociedades Científicas representadas en el CN-ICSU y en el Consejo Nacional de Sociedades Científicas, sobre la situación de desarrollo científico nacional con sus recomendaciones sobre cómo resolver los problemas que limitan actualmente ese desarrollo.

2. Equipo de trabajo y la estructura del estudio

Pretendemos que este estudio sea un fiel reflejo de las reflexiones y opiniones de la comunidad científica nacional. Por esa razón la Academia Chilena de Ciencias convocó a participar activamente al Comité Nacional ICSU y al Consejo de Sociedades Científicas de Chile. También consideramos fundamental recoger la opinión de los jóvenes científicos que investigan en nuestro país y para ello se integraron a los equipos del Programa de Ciencias de Frontera, un grupo de destacados investigadores seleccionados por la Academia en diferentes ámbitos de las disciplinas científicas.

En la discusión con el Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología, planteamos que el Estudio debería restringirse a las áreas en las cuales la Academia y sus socios participantes tienen conocimiento directo y representatividad. Pensamos que la validez y autoridad que puedan tener el análisis y las opiniones que resulten del Estudio, dependen en gran medida de cuán representativos y conocedores del tema son los autores. Esta decisión implica que áreas importantes del conocimiento, como las ciencias sociales, las humanidades, las ciencias de la medicina clínica, aspectos de la ingeniería y del área agropecuaria, no fueron incluidas en este Estudio. La relevancia de esas áreas y su vinculación fundamental con las ciencias y la tecnología nos hacen insistir con mucha energía que estudios similares sean realizados por entidades idóneas y representativas para llevar dichos estudios a cabo. Consideramos esencial que el país disponga de una visión del estado del conocimiento en todas sus áreas.

Siguiendo el esquema del Estudio de 1993, hemos estructurado el Estudio en 18 capítulos. Los primeros tocan temas comunes a todas las disciplinas: Ciencia y Sociedad, Enseñanza de las Ciencias a nivel escolar y formación en Ciencia en el Pregrado, Posgrado, Publicaciones y Patentes, Gasto Nacional en Investigación y Desarrollo (1995-2004), y Relaciones Internacionales de la Ciencia Chilena. Los siguientes 11 capítulos se dedican a analizar el estado de igual número de grandes disciplinas de la ciencia y sus aplicaciones: astronomía, biología, biomedicina, ciencias agronómicas, ciencias ambientales, ciencias de la ingeniería, ciencias de la tierra, ciencias del mar, física, matemáticas, química. Como ya se ha dicho, los capítulos de biomedicina, ciencias agronómicas y forestales y ciencias de la ingeniería, no incluyen los aspectos más profesionales de estas temáticas.

A cargo de cada uno de estos capítulos se integraron grupos que en la mayoría de los casos incluyeron miembros de la Academia, representantes de las sociedades científicas y jóvenes del Programa Ciencia de Frontera. Una vez constituidos los comités, estos tuvieron libertad de integrar a otros miembros que aportaron en áreas necesarias o en mayor representatividad de instituciones o regiones.

Se acordó un formato común para los 11 capítulos que analizan disciplinas (llamados Capítulos temáticos) y se solicitaron y aprobaron los temas a ser tratados por los 6 capítulos transversales en reuniones plenarias.

Aunque el texto y contenido de cada capítulo aparece bajo la responsabilidad de sus autores, se realizaron 3 reuniones plenarias los días 12 de enero, 1 de abril y 29 de julio, en las

que se invitó a participar a más de 100 personas que integraron los diferentes comités. En esas reuniones se aprobaron criterios generales, se conoció el avance en la redacción y en la obtención de datos por cada capítulo y se aprobaron las fechas para la entrega de las diversas versiones del trabajo realizado.

El coordinador de cada capítulo firmó un convenio con la Academia para recibir fondos para los gastos inherentes a la preparación de los capítulos. Sin embargo, hay que destacar que ninguno de los autores de este Estudio recibió remuneraciones por el considerable trabajo realizado.

Cuando el trabajo estaba suficientemente avanzado y fueron aflorando las principales conclusiones, se constituyó un comité para preparar el Capítulo 18, que recoge las Conclusiones y Recomendaciones del Estudio. Para asegurarnos que ese capítulo reflejara adecuadamente el sentir de la comunidad científica nacional, se tomaron varias providencias: se colocó su texto en la página Web de CONICYT y de la Academia y se le envió a todos los miembros de la Academia y a los Presidentes de todas las sociedades científicas, solicitando opiniones, críticas y sugerencias. También se organizaron foros para discutir el texto con las comunidades científicas de Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Talca, Concepción, Temuco y Valdivia. La versión final de dicho capítulo trata de recoger las principales ideas y planteamientos que surgieron de esos foros y consultas.

La labor editorial la desarrollaron Tito Ureta, Jorge Babul, Servet Martínez y Jorge Allende.

3. El Directorio de Investigadores

Uno de los componentes que definen la capacidad de un país para realizar investigación científica-tecnológica es el cuadro de recursos humanos del más alto nivel con que esa nación cuenta en cada gran área de las ciencias y tecnologías.

Por esa razón, al igual que en 1993, el actual Estudio dedicó gran parte de su esfuerzo a confeccionar un Directorio de Investigadores Activos en Chile, usando parámetros internacionales en cada una de las áreas de los 11 capítulos temáticos. Aunque la responsabilidad de la preparación del Directorio en cada área recae en los responsables de los respectivos capítulos, hubo un criterio general que fue aprobado en sesión plenaria y que cada capítulo adaptó a las particulares características de su disciplina.

El criterio general, muy similar al de 1993, fue el siguiente: la productividad científica reciente (últimos 5 años) del investigador, avalada por publicaciones *in extenso* en revistas de circulación internacional que cuenten con un Comité Editorial selectivo.

Este Directorio es un aporte fundamental al conocimiento de lo que es el estado actual de la ciencia y la tecnología en Chile y también sobre su potencialidad para generar un mayor desarrollo para nuestro país. Sin duda que esta lista, a pesar de los errores y omisiones que pudiese tener, es un indicador básico acerca de nuestras fortalezas y debilidades y, por ende, un componente esencial para elaborar políticas nacionales en ciencia y tecnología. El hecho que haya sido preparado por comités de pares de reconocida capacidad en las diferentes disciplinas, avala su utilidad y su necesidad. Por esta razón la Academia quisiera comprometerse a mantener actualizado el directorio que se ha preparado en esta ocasión.

Consideraciones Finales

La preparación de este Estudio nos permite asegurar que la Academia Chilena de Ciencias, las sociedades científicas, y los jóvenes investigadores del Programa Ciencia de

Frontera están cumpliendo con su responsabilidad de informar y asesorar al país sobre como lo está haciendo Chile en el campo de la Ciencia y la Tecnología en este momento.

Quisiéramos que este Estudio se use para abrir un amplio y profundo debate nacional sobre este tema. Creemos que los datos, ideas y conclusiones que surgen del estudio debieran ser las bases de Políticas Nacionales para acelerar el desarrollo del país en este campo.

La comunidad científica y tecnológica, cuyas opiniones y propuestas se expresan en este estudio, tendrá que ser uno de los actores principales en la ejecución de cualquiera política en este campo. En la participación de esta comunidad radica la importancia del contenido de las páginas que siguen a continuación.

El Comité Coordinador del Estudio *Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena-2005* estuvo constituido por:

Jorge E. Allende (*coordinador*)

Jorge Babul

Gloria Cárdenas-Jirón

Galo Cárdenas

Juan Carlos Castilla

Tomás Cooper

Victor Cortés

Francisco Hervé

Nibaldo Inestrosa

Fabián Jaksic

Edgar Kausel

Alejandro Maass

Raúl Manasevich

Pablo Marquet

Servet Martínez

Leopoldo Soto

Enrique Tirapegui

Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena 2005

Índice

Autores

Presentación

páginas

i - iv

Capítulos Transversales

1	Ciencia y Sociedad	1 - 20
2	Enseñanza de las Ciencias a nivel escolar y formación en Ciencia en el Pregrado Universitario	21 - 49
3	Posgrado	51 - 73
4	Publicaciones y Patentes	75 - 107
5	Inversión Nacional en Investigación y Desarrollo (1995-2004)	109 - 132
6	Relaciones Internacionales de la Ciencia Chilena	133 - 140

Capítulos Temáticos

7	Biología	141 - 157
8	Biomedicina	159 - 168
9	Ciencias Químicas	169 - 195
10	Ciencias Matemáticas	197 - 221
11	Física	223 - 237
12	Astronomía	239 - 259
13	Ciencias Agronómicas y Forestales	261 - 293
14	Ciencias Ambientales	295 - 331
15	Ciencias de la Ingeniería	333 - 342
16	Ciencias de la Tierra	343 - 374
17	Ciencias del Mar	375 - 402

18	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>	403 - 425

Índice alfabético de Autores

427

Autores

1 *Ciencia y Sociedad*

Felipe Barros, Centro de Estudios Científicos del Sur
Guido del Pino, Facultad de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Chile
Patricio Felmer, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Gonzalo Riera, Facultad de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Chile
Enrique Tirapegui (*Coordinador*), Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

2 *Enseñanza de las Ciencias a nivel escolar y formación en ciencia en el pregrado universitario*

Renato Albertini (*Coordinador*), Pontificia Universidad Católica de Chile
Gloria Cárdenas-Jirón, (*Co-coordinadora*) Universidad de Santiago de Chile
Jorge Babul, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Gabriela Díaz Véliz, Facultad de Medicina, Universidad de Chile
Jaime Eyzaguirre, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Andrés Bello
Alicia Labra, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Renato Lewin, Facultad de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Chile

3 *Posgrado*

Francisco Hervé (*Coordinador*), Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Rosa Devés, Facultad de Medicina, Universidad de Chile
Rolando Pomareda, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Ricardo Soto, Facultad de Ciencias, Universidad Católica del Norte
Jaime San Martín, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Eugenio Spencer, Universidad de Santiago de Chile
Marcelo Hervé, Universidad Austral de Chile

4 *Publicaciones y Patentes*

Nibaldo C. Inestrosa (*Coordinador*), Pontificia Universidad Católica de Chile
Bernardita Méndez, Fundación Ciencias de la Vida
Jorge Allende, Facultad de Medicina, Universidad de Chile
Manuel Krauskopf, Universidad Andrés Bello
Eduardo Soto, Universidad de Chile

5 *Gasto Nacional en Investigación y Desarrollo (1995-2004)*

Bernabé Santelices (*Coordinador*), Pontificia Universidad Católica de Chile
Diego Morata, Universidad de Chile
Claudia Contreras, CONICYT

6 *Relaciones Internacionales de la Ciencia Chilena*

Juan A. Asenjo, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Rafael Correa, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

7 *Biología*

Cecilia Hidalgo (*Coordinadora*), Facultad de Medicina, Universidad de Chile
Nibaldo Inestrosa (*Co-coordinador*), Pontificia Universidad Católica de Chile
Luz María Pérez, Universidad Andrés Bello
Lucía Cifuentes, Facultad de Medicina, Universidad de Chile
Juan Larraín, Pontificia Universidad Católica de Chile
Martín Montecino, Universidad de Concepción
Juan Carlos Aguillón, Facultad de Medicina, Universidad de Chile
David Holmes, Universidad Andrés Bello
Juan Pablo Huidobro, Pontificia Universidad Católica de Chile
Guido Mora, Universidad Andrés Bello

8 *Biomedicina*

Yedy Israel (*Coordinador*), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile
Pilar Carvallo, Pontificia Universidad Católica de Chile
Fernando Cassorla, Universidad de Chile
Catterina Ferreccio, Pontificia Universidad Católica de Chile
María Paz Marzolo, Pontificia Universidad Católica de Chile
Isolde Rudolph, Universidad de Concepción
Patricia Sanz, Universidad de Chile
Rodolfo Armas Merino, Facultad de Medicina, Universidad de Chile

9 *Ciencias Químicas*

Ligia Gargallo (*Coordinadora*), Pontificia Universidad Católica de Chile
Alejandro Toro, Pontificia Universidad Católica de Chile
Eduardo Lissi, Universidad de Santiago de Chile
Ricardo Schrebler, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Patricio Reyes, Universidad de Concepción
Carlos Díaz, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Cecilia Rojas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Raúl Quijada, Universidad de Chile
Pablo Richter, Universidad de Chile
Angel Leiva, Pontificia Universidad Católica de Chile
Fernando Mendizábal, Universidad de Chile
Ricardo Tapia, Pontificia Universidad Católica
Guillermo González, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Juan Manuel Manríquez, Pontificia Universidad Católica de Chile

10 *Ciencias Matemáticas*

Raúl Manasevich (*Coordinador*), Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Ricardo Baeza, Instituto de Matemáticas y Física, Universidad de Talca
Carlos Conca, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Eduardo Friedman, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Manuel del Pino, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Alejandro Jofré, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Alejandro Maass, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Wilfredo Palma, Facultad de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Chile
Rolando Rebolledo, Facultad de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Chile
Juan Rivera, Facultad de Ciencias, Universidad Católica del Norte
Rodolfo Rodríguez, Universidad de Concepción
Rubí Rodríguez, Facultad de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Chile

11 Física

Leopoldo Soto (*Coordinador*), Comisión Chilena de Energía Nuclear
Marcelo Zambra (*co-coordinador*), Comisión Chilena de Energía Nuclear
Marcelo Loewe, Pontificia Universidad Católica de Chile
Gonzalo Gutiérrez, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Mario Molina, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Felipe Barra, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Fernando Lund, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Carlos Saavedra, Universidad de Concepción
Patricio Haberle, Universidad Técnica Federico Santa María

12 Astronomía

Sebastián López (*Coordinador*), Universidad de Chile
Mario Hamuy, Universidad de Chile
Luis Felipe Barrientos, Pontificia Universidad Católica de Chile
José Maza, Universidad de Chile
María Teresa Ruiz, Universidad de Chile

13 Ciencias Agronómicas y Forestales

Tomás Cooper C. (*Coordinador*), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Chile
Edmundo Acevedo H., Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Chile
Jaime Montealegre A., Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Chile
Ariel Orellana L., Centro de Biotecnología, Universidad Andrés Bello
Hernán Paillán L., Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Chile
Manuel Pinto C., Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Chile
Harald Schmidt van M. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile

14 Ciencias Ambientales

Mary T. Kalin Arroyo (*Coordinadora*), Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Lohengrin Cavieres, Universidad de Concepción
Pablo Marquet, Pontificia Universidad Católica de Chile
Claudio Latorre, Pontificia Universidad Católica de Chile
Juan Armesto, Pontificia Universidad Católica de Chile
Francisco Bozinovic, Pontificia Universidad Católica de Chile
Julio Gutiérrez, Universidad de La Serena
Doris Soto, FAO, Roma
Francisco Squeo, Universidad de La Serena

15 Ciencias de la Ingeniería

Francisco Brieva (*Coordinador*), Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Javier Ruiz del Solar (*Co-coordinador*), Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Nancy Hitschfeld, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Aldo Cipriano, Pontificia Universidad Católica de Chile
Alfredo Gordon, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Concepción
Hector Kaschel, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Santiago de Chile
José Rodríguez, Universidad Técnica Federico Santa María
Richard Weber, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Andrés Weintraub, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

16 *Ciencias de la Tierra*

Luis Aguirre (*Coordinador*), Departamento de Geología, Universidad de Chile
René Garreaud, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile
Francisco Hervé, Departamento de Geología, Universidad de Chile
Edgar Kausel, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile
Patricio Moreno, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
María Victoria Soto, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile
Irene Tapia, Departamento de Geología, Universidad de Chile
Gonzalo Yáñez, Corporación del Cobre (CODELCO)

17 *Ciencias del Mar*

Juan Carlos Castilla (*Coordinador*), Pontificia Universidad Católica de Chile
Miriam Fernández (*Coordinadora alterna*), Pontificia Universidad Católica de Chile
Enzo Acuña, Universidad Católica del Norte
Nibaldo Bahamonde, Academia Chilena de Ciencias
Alejandro Buschmann, Universidad de Los Lagos
Sergio Navarrete, Pontificia Universidad Católica de Chile
Osvaldo Ulloa, Universidad de Concepción
Eleuterio Yáñez, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

18 *Conclusiones y Recomendaciones*

Jorge Allende (*Coordinador*), Facultad de Medicina, Universidad de Chile
Juan Asenjo, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Jorge Babul, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile
Francisco Brieva, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Gloria Cárdenas-Jirón, Universidad de Santiago de Chile
Francisco Hervé, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Nibaldo Inestrosa, Pontificia Universidad Católica de Chile
Servet Martínez, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Bernabé Santelices, Pontificia Universidad Católica de Chile
Pablo Valenzuela, Fundación Ciencia para la Vida

Índice alfabético de Autores (se indica el número del Capítulo)

- Acevedo H. Edmundo, 13
 Acuña Enzo, 17
 Aguilón Juan Carlos, 7
 Aguirre Luis, 16
 Albertini Renato, 2
 Allende Jorge, 4, 18
 Armas Merino Rodolfo, 8
 Armesto Juan, 14
 Asenjo Juan A., 6, 18

 Babul Jorge, 2, 18
 Baeza Ricardo, 10
 Bahamonde Nibaldo, 17
 Barra Felipe, 11
 Barrientos Luis Felipe, 12
 Barros Felipe, 1
 Bozinovic Francisco, 14
 Brieva Francisco, 15, 18
 Buschmann Alejandro, 17

 Cárdenas-Jirón Gloria, 2, 18
 Carvallo Pilar, 8
 Cassorla Fernando, 8
 Castilla Juan Carlos, 17
 Cavieres Lohengrin, 14
 Cifuentes Lucía, 7
 Cipriano Aldo, 15
 Conca Carlos, 10
 Contreras Claudia, 5
 Cooper C. Tomás, 13
 Correa Rafael, 6

 del Pino Guido, 1
 del Pino Manuel, 10
 Devés Rosa, 3
 Díaz Carlos, 9
 Díaz-Véliz Gabriela, 2

 Eyzaguirre Jaime, 2
 Felmer Patricio, 1
 Fernández Miriam, 17
 Ferreccio Catterina, 8
 Friedman Eduardo, 10

 Gargallo Ligia, 9
 Garreaud René, 16
 González Guillermo, 9
 Gordon Alfredo, 15
 Gutiérrez Gonzalo, 11
 Gutiérrez Julio, 14

 Haberle Patricio, 11
 Hamuy Mario, 12
 Hervé Francisco, 3, 16, 18
 Hervé Marcelo, 3
 Hidalgo Cecilia, 7
 Hitschfeld Nancy, 15
 Holmes David, 7
 Huidobro Juan Pablo, 7

 Inestrosa Nibaldo C., 4, 7, 18
 Israel Yedy, 8

 Jofré Alejandro, 10
 Kalin Arroyo Mary T., 14
 Kaschel Hector, 15
 Kausel Edgar, 16
 Krauskopf Manuel, 4

 Labra Alicia, 2
 Larraín Juan, 7
 Latorre Claudio, 14
 Leiva Angel, 9
 Lewin Renato, 2
 Lissi Eduardo, 9
 Loewe Marcelo, 11
 López Sebastián, 12
 Lund Fernando, 11

 Maass Alejandro, 10
 Manasevich Raúl, 10
 Manríquez Juan Manuel, 9
 Marquet Pablo, 14
 Martínez Servet, 18
 Marzolo María Paz, 8
 Maza José, 12
 Méndez Bernardita, 4
 Mendizábal Fernando, 9
 Molina Mario, 11
 Montealegre A. Jaime, 13
 Montecino Martín, 7
 Mora Guido, 7
 Morata Diego, 5
 Moreno Patricio, 16

 Navarrete Sergio, 17

 Orellana L. Ariel, 13

 Paillán L. Hernán, 13
 Palma Wilfredo, 10
 Pérez Luz María, 7
 Pinto C. Manuel, 13
 Pomareda Rolando, 3

 Quijada Raúl, 9
 Rebolledo Rolando, 10
 Reyes Patricio, 9
 Richter Pablo, 9
 Riera Gonzalo, 1
 Rivera Juan, 10
 Rodríguez José, 15
 Rodríguez Rodolfo, 10
 Rodríguez Rubí, 10
 Rojas Cecilia, 9
 Rudolph Isolda, 8
 Ruiz del Solar Javier, 15
 Ruiz María Teresa, 12

 Saavedra Carlos, 11
 San Martín Jaime, 3
 Santelices Bernabé, 5, 18
 Sanz Patricia, 8
 Schmidt van M. Harald, 13
 Schrebler Ricardo, 9
 Soto Doris, 14
 Soto Eduardo, 4
 Soto Leopoldo, 11
 Soto María Victoria, 16
 Soto Ricardo, 3
 Spencer Eugenio, 3
 Squeo Francisco, 14

 Tapia Irene, 16
 Tapia Ricardo, 9
 Tirapegui Enrique, 1
 Toro Alejandro, 9

 Ulloa Osvaldo, 17

 Valenzuela Pablo, 18

 Weber Richard, 15
 Weintraub Andrés, 15

 Yáñez Eleuterio, 17
 Yáñez Gonzalo, 16

 Zambra Marcelo, 11

Publicaciones de la Academia Chilena de Ciencias relacionadas con la Ciencia en Chile y la política científica.

- *Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena*. (Jorge E. Allende y Tito Ureta, editores) 1993.

- *Directorio de Investigadores, Investigadores de Ciencias en Chile, Investigadores residentes en el extranjero, Sociedades Científicas de Chile* (Jorge E. Allende y Tito Ureta, editores) 1992-1993.

- *Directorio de Investigadores, Investigadores de Ciencias en Chile, Investigadores residentes en el extranjero, Sociedades Científicas de Chile* (Jorge E. Allende y Tito Ureta, editores) 1993-1997.

- *El Posible Impacto de los Tratados de Libre Comercio en la Ciencia y Tecnología de Chile* (Simposio Nacional en celebración de los 30 años de la Fundación de la Academia de Ciencias) (Tito Ureta y Luis Vargas, editores) 1994.

- *Chile Ciencia 2000. Ciencia, Tecnología y Sociedad: Un Encuentro Histórico* (Tito Ureta, editor) 2003.

Ciencia y Sociedad

1

Felipe Barros, Guido del Pino, Patricio Felmer, Gonzalo Riera y
Enrique Tirapegui (*Coordinador*)

Marco general

Se discuten aquí las relaciones estructurales y funcionales de la ciencia y la tecnología en la sociedad chilena. Descansa en el principio, aceptado por todos de que “*la ciencia y la tecnología son parte fundamental de la cultura*”. La generalidad de este principio progresivamente asumido, permite penetrar todas las estructuras sociales, cambiar el quehacer cotidiano y lograr las transformaciones individuales y sociales en la nación.

Se aborda un conjunto de reflexiones y propuesta de soluciones a algunos de los principales problemas detectados en el diagnóstico realizado sobre el quehacer de la ciencia y la tecnología en nuestro país. Se organiza en cuatro puntos medulares: Institucionalidad, Alfabetización Científica, Difusión de la Ciencia y la Tecnología y Educación.

Un antecedente importante es el Encuentro *Chile-Ciencia 2000: Ciencia, Tecnología y Sociedad: un Encuentro Necesario*, en el que se propusieron soluciones al complejo problema de hacer efectivo el planteamiento que la Ciencia y la Tecnología pueden dar respuestas al desarrollo nacional y conducir hacia la modernidad. La consecución de tal objetivo requiere que se haga realidad la integración de todos los sectores de la sociedad en torno a este propósito.

1. Institucionalidad para el desarrollo científico – tecnológico

Las estructuras institucionales juegan un importante papel en la gestión y estrategia para el funcionamiento de la sociedad en su conjunto. Para estar a la altura de los nuevos desafíos hay que discutir el papel del Estado, realizar las reformas administrativas que se requieran para configurar de forma innovadora la asociación público-privada en torno a un sistema de ciencia e innovación tecnológica. Tal sistema alcanza una gran importancia en la creación, desarrollo, aplicación y mejoramiento de todos los elementos del proceso de producción e innovación.

Un sistema de ciencia e innovación tecnológica permite interrelacionar instituciones, lo que lleva a la conformación de redes de cooperación y competencias por medio de las cuales se genera el desarrollo. El sistema realiza diversas actividades de producción, inversión y consumo, que están interrelacionadas entre sí y generan círculos de retroalimentación continua entre los agentes participantes tales como empresas, instituciones y gobierno. Organizar en sistema la ciencia y la innovación tecnológica a escala social significa garantizar su gestión, llegar al consenso acerca del modelo de desarrollo y delinear el rumbo concreto de las transformaciones presentes para poder proyectarse al futuro.

En Chile no existe un sistema de ciencia y tecnología claramente definido, y uno de los temas abiertos es el papel que debiera caberle a CONICYT en este proceso. En *Chile-Ciencia 2000* se hacen algunas propuestas sobre cambios institucionales que no se detallan acá. En todo caso, las universidades, los institutos de investigación, las sociedades científicas, y las empresas debieran estar involucradas en un eventual sistema. Por otro lado, una eventual ley de ciencia y la tecnología

debiera incluir la transferencia tecnológica, el financiamiento, los recursos humanos, y la interrelación con los procesos educativos y culturales.

Para promulgar institucionalmente una ley de ciencia y tecnología que norme el funcionamiento del sistema, el elemento más importante es la participación de científicos y tecnólogos en su elaboración, que asegure la coordinación y el diálogo entre los grupos de actores sociales: gobierno, universidades y empresas. El diálogo materializa la disposición a cohesionar esfuerzos y a canalizar conjuntamente el potencial creador de la sociedad. Estos son imprescindibles para fortalecer las ventajas nacionales de innovación y competitividad y poner en marcha procesos sociales de aprendizaje y comunicación, permitiendo fundamentar las capacidades para implementar una estrategia de mediano y largo plazo.

Los científicos y tecnólogos, las universidades, los institutos tecnológicos, las empresas y los medios de comunicación tienen cada cual su responsabilidad. Dada la naturaleza de este capítulo solo hacemos mención de algunas tareas que le corresponden a la comunidad científica y tecnológica:

- Mantener una preocupación constante por la calidad y la modernidad de la enseñanza de la ciencia en todos los niveles del sistema educacional.
- Colaborar activamente con los profesores de ciencia.
- Fomentar los contactos de la comunidad organizada de las ciencias exactas y naturales, con la comunidad de las tecnologías, las ciencias sociales y las humanidades.
- Incrementar la interacción y el diálogo con el sector productivo y de servicios.
- Colaborar con el sector estatal para impulsar el desarrollo de políticas en Ciencia y Tecnología.
- Promover acciones para que toda la sociedad pueda recibir una adecuada información de las implicaciones de los descubrimientos científicos y de su potencial impacto en la sociedad.
- Colaborar activamente en la formación de profesionales de la comunicación en ciencias y tecnologías.
- Propiciar la participación de jóvenes científicos y tecnólogos en sus actividades y directivas, y estimular la organización de los estudiantes de posgrado.

2. Importancia de la alfabetización científica

La ciencia y la tecnología son pilares del desarrollo social y económico de los países. Son caminos necesarios para el entendimiento de los vertiginosos cambios que se están produciendo en nuestra sociedad, y de los efectos que inevitablemente tendrán en su desarrollo, en la independencia intelectual de sus protagonistas y en el ejercicio de la libertad de los seres humanos. Asimismo, el cultivo de las humanidades, de la ciencia y de la tecnología, es condición imprescindible para hacer frente a los retos, tanto culturales que el propio desarrollo científico y tecnológico va imponiendo, como a los de la economía cuya productividad y competitividad dependen, ante todo, de la calidad de los recursos humanos del país.

La alfabetización científica (*scientific literacy*) se define como el conocimiento de los conceptos básicos acerca de la ciencia y la técnica, de una comprensión de cómo la ciencia funciona. La alfabetización científica de los ciudadanos es tarea prioritaria de los gobiernos y sociedades que organizan su gestión en función de aumentar la calidad de vida ciudadana, además de constituir un indicador de progreso social.

Los indicadores de calidad de vida ciudadana rebasan los aspectos de uso y disfrute de los bienes materiales que el ciudadano medio puede adquirir. Un aspecto consustancial a este indicador

es el crecimiento de la educación, que se traduce en la posibilidad de la sociedad civil de disfrutar, interpretar e incorporar a su vida, la creación científica y espiritual de la sociedad en que vive, como expresión de los valores nacionales regionales y universales.

El fortalecimiento de nuestra identidad, y la aceptación plena frente a otros, permitirá la convivencia, dándole razón de ser al conocimiento de la historia particular de todas y cada una de las culturas conformadoras del mundo global del nuevo milenio; en otras palabras, es necesario estar más abiertos y reforzar nuestro propio lugar en este mundo que cada vez se hace más pequeño.

Junto a ello, el derecho a la vida y la necesidad de tener una vida sana sólo se alcanza a partir de la utilización del crecimiento científico y tecnológico en función de garantizar salud y longevidad de vida. En sentido general, la calidad de vida se considera como el proceso que garantiza el derecho a la vida y disfrute más humano de ella, lo que significa, colocar el desarrollo científico y tecnológico en beneficio ciudadano.

El primer escalón para el disfrute humano de la vida es el derecho real a la educación, por lo que antes de hablar de alfabetización científica debemos eliminar el analfabetismo real y funcional. Este delicado problema sin duda afecta cualquier esfuerzo efectivo por el desarrollo educacional y científico del país. Sin embargo, no por esos importantes compromisos de partida vamos a dejar de pronunciarnos en función de la importancia, lugar y papel de la alfabetización científica. La alfabetización, en esos dos sentidos, puede acometerse simultáneamente empleando vías adecuadas para cada una. Es importante tener algún conocimiento sobre los hechos, conceptos y vocabularios básicos científicos. Aquellos que poseen tal conocimiento están en mejores condiciones de seguir los reportes de noticias de ciencia y participar en el desarrollo político de los temas relacionados con la ciencia. Una apreciación del proceso científico puede ser incluso más importante.

La educación no formal puede jugar un papel significativo en la alfabetización científica. Ésta debe promover sus acciones utilizando diversas vías y formas, llegar y proveer el acceso donde se produce el desarrollo científico y tecnológico, posibilitar la comunicación, el entendimiento y aplicación de la ciencia y la tecnología y entregar herramientas para participar en el debate democrático en ciencia y problemas sociales.

La alfabetización científica puede realizarse usando diferentes vías y métodos complementarios. El principio al que se subordinan los diferentes métodos y procedimientos es la adecuación del programa de promoción y divulgación científica a las condiciones de la comunidad, sector o segmento social al que va dirigido, teniendo en cuenta que en la producción del saber las mediaciones culturales ejercen una gran influencia. Alternativas pedagógicas donde crece la participación del sujeto de enseñanza permitiéndole pensar y actuar en una forma mejor de vida, puede constituir un vehículo efectivo para la alfabetización científica. Otras importantes formas son los métodos de animación socio cultural, que constituyen estrategias de intervención comunitaria ejercida por instituciones, centros, grupos de la propia comunidad, cuya esencial relación es desatar un proceso socio educativo voluntario que responde a necesidades de formación y acción no satisfechas por las instituciones existentes. Este es un buen escenario de divulgación y promoción de la ciencia así como de contrapartida a la pseudociencia. Las actividades de contenido cultural pueden constituir vehículo y resultado del proceso de formación ciudadana donde está incluido el contenido científico.

La comprensión de cómo las ideas se analizan e investigan es un signo seguro de alfabetización científica, lo que tiene valor no sólo para mantenerse al tanto de las importantes tareas relacionadas con la ciencia, sino, también en la evolución y aceptación de la validez de cualquier tipo de información y en la participación consciente en el proceso político (Maienschein, 1999).

3. Difusión de la ciencia y la tecnología

3.1 Aspectos generales

La ciencia y su difusión son temas abordados desde la antigüedad. Los tiempos actuales son tiempos de permanentes cambios, de un proceso histórico de gran aceleración y generación de información, y donde las nuevas tecnologías de la información y la comunicación modifican de forma constante el quehacer diario. La divulgación científica comprende toda actividad de explicación y difusión de los conocimientos, de la cultura y del pensamiento científico y técnico, con dos condiciones: la primera, que la explicación y la divulgación se hagan fuera del marco de la enseñanza oficial o equivalente; la segunda, que esas explicaciones extra-escolares no tengan como objetivo formar especialistas o perfeccionarlos en su propio campo, puesto lo que se pretende, por el contrario, es completar la cultura de los especialistas fuera de su especialidad. Ella consiste también en difundir entre el público menos beneficiado por la cultura, los resultados de la investigación científica y técnica y más generalmente, en el conjunto de productos del pensamiento científico entregando mensajes fácilmente asimilables.

La ciencia juega un papel fundamental en el desarrollo cultural y social. Para lograrlo hay que desarrollar políticas para incentivar la vocación científica. Un importante vehículo para ello son los programas de divulgación y valoración de temas científicos y tecnológicos, particularmente en la cobertura de los programas actuales de educación no formal. Para que la ciencia alcance su real valor, debe ser divulgada y ojalá entendida por la comunidad. El logro de este objetivo constituye una tarea conjunta del científico, del comunicador y de las instituciones públicas y privadas.

Como motor de crecimiento y desarrollo de una nación, la ciencia debe estar presente, entre los actores que la componen, como una herramienta de la educación permanente. En esta labor educativa es donde los actores centrales de este proceso deben realizar una acción sinérgica que respete la verdad y rigor en el caso del científico y que, al mismo tiempo, sea precisa en el lenguaje y amena en el caso del periodista.

Los museos

Los museos pueden insertarse dentro de la educación no formal y dentro de la formación curricular para lograr el objetivo de la divulgación científica, a través de exposiciones interactivas, talleres y otros medios, trascendiendo el concepto tradicional de museo. Este tipo de centros no se limita al ámbito de aprendizajes concretos en las salas de exposiciones, por mucho que en ellas se presenten los principios de la ciencia, que se ofrezcan cuadernos de actividades para los alumnos o que los profesores acudan previamente al museo a preparar la visita del grupo. De acuerdo con Núñez Centella (2002), los museos actúan, quizás sobre todo, en el ámbito de la educación afectiva, despertando o activando la curiosidad hacia cuestiones científicas –por presentarlas atractivamente o porque allí se percibe su relación con la actualidad- y mejorando la imagen pública de la ciencia, al vincularla a momentos, ambientes y sensaciones agradables. Sean ellos los de la visita a una exposición, la participación en unos talleres, en una feria de la ciencia o en un concurso para jóvenes investigadores. El mismo autor resalta la función social que puede tener un museo para responder a demandas de información científica que se producen en la sociedad. Si el futuro de nuestra sociedad es un futuro íntimamente ligado a la ciencia y la tecnología, la integración de los ciudadanos a este mundo exige poner a su alcance los medios necesarios para mantenerse informados. El periodismo científico puede ampliar su labor extendiendo su mirada a la labor de los museos científicos y divulgando sus actividades como recurso que sirven a la educación científica de toda la población.

Los medios de comunicación social y los periodistas

La proyección de los progresos en ciencia y en tecnología hacia el medio externo sólo puede darse con resultados favorables en la medida en que cooperen los científicos, los medios de comunicación, los periodistas y las instituciones públicas y privadas. Sin embargo, la cooperación se ve truncada ya que cada uno de los participantes de la sociedad tiene sus propias limitaciones.

Cabe señalar que el tema del periodismo científico ha ido cobrando mayor importancia a nivel internacional. Los primeros cursos en esta especialidad comienzan en la década del sesenta en Estados Unidos. Existe una Federación Mundial de Periodistas Científicos (WSJC) y ya se han realizado cuatro conferencias mundiales (Tokio (1992), Budapest (1999), Sao Paulo (2002) y Montreal (2004)). Sin embargo, las conclusiones de esas conferencias muestran que persisten serias limitaciones en el desarrollo de esta especialidad.

3.2. La situación en Chile

El Estado ha realizado importantes avances en la inserción de la ciencia en la sociedad, principalmente a través del Programa Explora de CONICYT y del Museo Interactivo Mirador (MIM). Sin embargo, muchos científicos opinan que falta una política científica a largo plazo en Chile que oriente de manera clara la inserción de la ciencia y la tecnología en la sociedad. En el encuentro Chile-Ciencia 2000 se propuso darle al país un Plan Nacional de Divulgación de la Ciencia y la Tecnología, lo que en este momento se concentra en Explora y MIM.

Programa Explora-Conicyt

El Programa Explora de CONICYT es una iniciativa nacional y permanente de educación no formal de la Ciencia y la Tecnología que ha logrado penetrar en la comunidad científica y educativa y ha llegado a un amplio público. Incorpora desde sus inicios a la comunidad científica, convirtiéndola en uno de sus pilares fundamentales y articulando, en forma sistemática y de proyección creciente, diversas modalidades de valoración y divulgación de la ciencia y la tecnología. A su vez, ha incorporado diversos actores de la sociedad chilena y extranjera: comunidad científica y tecnológica, entidades públicas y privadas, empresas productivas y de servicio, profesores, alumnos, padres y apoderados, en suma, la sociedad en general. Su objetivo principal ha sido por una parte crear los puentes necesarios entre la comunidad de ciencia y tecnología y el ámbito educacional y por otra parte colaborar, a nivel de público general, a crear una cultura científica.

Aunque no hay estudios que midan el impacto en el ámbito educacional con indicadores específicos, se ha observado que la calidad de los trabajos enviados para ser evaluados para participar en el Congreso Nacional Científico Escolar ha ido cada año en aumento; que muchos de los trabajos son el resultado del trabajo en los Clubes Explora; que la comunidad científica ha apoyado estos trabajos; que se han podido seleccionar trabajos de gran calidad para presentación en eventos internacionales dando equidad, transparencia e igualdad de oportunidades a nuestros escolares y sus profesores.

En los 10 años de operación de Explora, una de las actividades más exitosas, en opinión del propio Explora, ha sido la Semana Nacional de la Ciencia y Tecnología. Para el 2005 se estima una participación simultánea y a través de todo Chile de aproximadamente 150.000 escolares. Congrega también la mayor participación de la comunidad de Ciencia y Tecnología, así como académica del país con unas 2.000 acciones en las que se encuentran directamente involucrados. No menos importante es la participación de los escolares en proyectos, eventos, Clubes Explora y Campamentos Tecnológicos desde el año 1997 hasta el año 2005, alcanzando una cifra de sobre el millón de estudiantes a lo largo del país.

Aunque Explora establece como prioridad la atención de los niños en edad escolar y los profesores, la idea es que a través del trabajo con escolares se llegue también a los padres y otros públicos. No obstante, hay cinco acciones específicas “abiertas” a todo público, como son el sitio web, la Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología, las Exposiciones Itinerantes, las Campañas de Valoración y Divulgación de la Ciencia y Tecnología y el Ciclo de Charlas de Académicos. Los niños en edad preescolar también tienen la oportunidad de participar en las propuestas presentadas al Concurso Nacional de Proyectos de Divulgación y Valoración de la Ciencia y la Tecnología.

Se está desarrollando un estudio sobre la percepción y el conocimiento de la población acerca del Programa Explora, y se cuenta con información respecto de la percepción de grupos específicos, como estudiantes, científicos y coordinadores regionales, que son los que trabajan directamente de manera sistemática en las actividades de Explora.

Explora mantiene un trabajo conjunto principalmente con universidades y fundaciones, alianzas que han resultado ser muy exitosas. En particular, los Coordinadores Explora en regiones pertenecen formalmente a alguna universidad y son apoyados por las autoridades máximas de esas instituciones. De igual manera, Explora mantiene con instituciones y organismos internacionales colaboraciones estrechas, lo que ha significado un intercambio de experiencias concretas en actividades de divulgación de la ciencia y la tecnología donde el programa se sitúa a la vanguardia en acciones, estrategias y desarrollo de contenidos para acercar una cultura científica y tecnológica a la sociedad.

Museo Interactivo Mirador (MIM)

El Museo Interactivo Mirador (MIM) es una entidad sin fines de lucro, dependiente de la Fundación Tiempos Nuevos y fue inaugurado en marzo de 2000. Busca acercar las ciencias, artes y tecnologías a niños, jóvenes y adultos. Para cumplir este objetivo, el museo cuenta con más de 300 exhibiciones –en constante renovación- repartidas en 14 salas temáticas. En cada sala existen guías y monitores dispuestos a apoyar el recorrido libre del visitante. Además de las exhibiciones, el Museo ofrece talleres sin ningún costo adicional para el visitante (Robótica, Paleontología, Animación Computacional, entre otros) y funciones de cine en 3D.

En los últimos tres años el público total se ha mantenido estable en torno a unas 385 mil personas, atendiendo a unos 196 mil alumnos el 2004. Destaca el hecho que el MIM recibe gratuitamente a más de 100 mil estudiantes y alrededor de 12 mil profesores, lo que acorta la brecha de consumo de bienes culturales entre los establecimientos particulares, subvencionados y municipales.

Como una manera de apoyar a los profesores en los desafíos actuales, el MIM también posee una serie de programas especiales para los docentes: Capacitación en Educación Tecnológica, Recorridos Pedagógicos que aprovechan las instalaciones del Museo para enseñar algunos de los contenidos de la malla curricular y Material Educativo de apoyo.

En 2003 el MIM, junto con el Programa Explora-CONICYT, la Universidad de Concepción y la Fundación Andes crearon el “Programa de Itinerancias de Ciencias, Artes y Tecnologías-CCAT”, que lleva una serie de muestras del MIM a las regiones, con lo cual contribuye a descentralizar la cultura en Chile y hacerla accesible para todos los niños, jóvenes y adultos. Durante 2004, 270 mil personas disfrutaron gratuitamente de estas exposiciones.

Aproximadamente, el 65 por ciento de los recursos del MIM son proporcionados por el Ministerio de Educación. El resto del dinero proviene de la venta de entradas y del aporte de privados. Este es un ejemplo interesante donde las empresas han cumplido un papel importante en una actividad de divulgación científica.

Museo de Ciencia y Tecnología

El Museo de Ciencia y Tecnología, ubicado en la Quinta Normal, es regentado por la Corporación Privada para la Ciencia y la Tecnología y fue fundado en 1985. En este museo los estudiantes pueden realizar diversos experimentos y asistir a demostraciones relacionadas con distintos temas de la física y la astronomía. El año 2003 recibió la visita de cerca de mil grupos de escolares de diversos establecimientos educacionales del gran Santiago.

Difusión de los resultados de proyectos científicos

Proyectar los progresos en ciencia y en tecnología hacia el medio externo, es el esfuerzo que muchas de las iniciativas científicas se han impuesto llevar a cabo. De hecho, hay proyectos en los que es materia de evaluación el éxito que se alcance en la tarea de externalizar los trabajos que se están haciendo, como los que lleva adelante exitosamente la Iniciativa Científica Milenio (ICM).

Medios de comunicación social

Los medios de comunicación social son importantes para la difusión de la ciencia y de la tecnología. Sin embargo, es un hecho que “los medios chilenos de difusión (prensa, radio y audiovisuales) están rezagados con respecto a la difusión y discusión de la ciencia internacional”, como advierte la introducción, escrita por varios científicos, del libro *Chile-Ciencia 2000*.

Esta publicación hace referencia a que “mientras en los países desarrollados el espacio dedicado a la ciencia y a la tecnología ha aumentado progresivamente en lo cuantitativo y en lo cualitativo, en Chile sólo algunas honrosas excepciones entregan periódicamente algunos elementos científicos básicos que ayudan a entender el mundo actual”. En el mismo documento, el director del diario *El Mercurio*, Juan Pablo Illanes hace referencia al tema. Según él, “*en Chile se puede dirigir un medio de comunicación social y al mismo tiempo prescindir por completo de la actividad científica nacional*”. Lo mismo, argumenta, no es posible con otros temas. Illanes responsabiliza a todos de esta situación: a los programas de educación formal, a los profesores, a los medios de comunicación, a las universidades, a los científicos y a muchas instituciones sociales. Pero el ejecutivo apunta también a otras limitaciones de los medios de comunicación para dar a conocer las actividades científicas: “*al público tenemos que darle lo que quiere leer, porque nadie puede obligarlo a destinar tiempo a la lectura de algo que no le parezca interesante*”. Illanes reconoce que “*es cierto que con los cambios tecnológicos que han invadido nuestras vidas, hoy existe un interés mucho mayor por la ciencia y la tecnología y que con esto se abre un foco de oportunidades para divulgar sus avances. Pero este hecho, tiene también un lado menos atractivo para nuestro propósito de difundir y cubrir periodísticamente la ciencia chilena. Porque el nuevo interés tiende a centrarse en aplicaciones prácticas de carácter tecnológico y esta clase de adelantos, en algún sentido, tiende a confirmar la idea de que la ciencia viene del extranjero*”. Porque si bien sabemos que se hace mucha ciencia de calidad en Chile, en el campo tecnológico aplicado la relación con los países desarrollados es muy desigual, como lo demuestra el número de patentes registradas en países como el nuestro y en los países desarrollados.

Illanes agrega que “*a nuestras dificultades con el interés de un público no preparado para los asuntos y dilemas de las ciencias, se suma una dificultad no bien conocida y que corresponde al modelo de negocio que sustenta a los medios de comunicación*”. Esta dificultad tiene que ver con que “*no hay una mayor disposición a poner avisos en las páginas que se destinan a la ciencia. Con ello, el financiamiento para aumentar las páginas de diarios o los espacios radiales y televisivos destinados a la ciencia, está bastante limitado*”. Otro de los problemas para darle mayor cobertura a la ciencia y a la tecnología, aduce Illanes, es el que ya tratamos anteriormente y que tiene que ver con los propios científicos. En su opinión “*ellos son reacios a comunicar sus trabajos al público y extremadamente reacios a hacerlo antes de ponerlos en conocimiento de la comunidad científica a*

través de revistas especializadas, que son notoriamente lentas para publicar". Esto, sin duda, también dificulta el contacto entre la sociedad y la ciencia.

Los periodistas

Un actor fundamental en la difusión de la ciencia y la tecnología es el periodista. Este es formado en las universidades, en las cuales no existe la especialización en periodismo científico. La mayoría de los periodistas que divulgan esas materias se forman por sus propios medios, lo que no siempre colabora a la hora de publicar, pues muchas veces falta el vocabulario y los conceptos apropiados para entregar una información correcta e impide una mejor interpretación de las temáticas. Esto lleva a un círculo vicioso en que los científicos desconfían hablar de sus trabajos por temor a que los mal interpreten, lo que lleva a una escasa publicación científica en los medios.

Se han realizado en Chile numerosos congresos entre 1962 y 2003 y existe desde 1976 la Asociación Chilena de Periodistas Científicos, ACHIPEC. Las conclusiones obtenidas son coherentes con las de los encuentros mundiales sobre la especialidad. Una de las principales conclusiones es la necesidad de profesionalizar la actividad de divulgación, por lo que se sugiere a las instituciones de enseñanza superior que institucionalicen e incrementen programas de formación de divulgadores a través de nuevos perfiles en la licenciatura y el postgrado.

No obstante los avances en la democratización de la ciencia, con el fin de contribuir a erradicar el analfabetismo científico y generar experiencias valiosas de educación permanente, ocupando los espacios ya existentes en los medios y entregando información de mejor calidad e introduciendo temáticas científicas, no se ha logrado cambiar la manera de hacer periodismo científico. Citando a Tito Ureta *"La mayoría normalmente transcribe lo que las agencias le proporcionan. En algunos casos recurren a algún científico amigo o de buena voluntad para que les explique los detalles o las conclusiones de alguna noticia que percibe como interesante. En esos casos solicitan que la explicación sea lo más breve posible (por favor, doctor, no más de cinco líneas) y, además, con un plazo de un par de horas (usted sabe que tenemos hora de cierre). Luego, algún otro profesional abrevia lo escrito y por lo tanto la explicación deja de ser tal. La situación lleva a que los científicos rehuyan a la prensa y por ello el público recibe las noticias científicas sin que le sea posible entenderlas"*

Para lograr mayor eficiencia es necesario robustecer el periodismo desde su propia formación especializada en ciencia, mediante una formación que incluya elementos científicos básicos además de incentivar la inserción de científicos en los medios de comunicación y crear mecanismos que propicien la comunicación de los trabajos y los resultados científicos de interés público.

En Chile-Ciencia 2000, el presidente de ACHIPEC, Sergio Prenafeta, propone acciones para fomentar la divulgación de la ciencia y la tecnología. En lo referente al periodismo y los medios de comunicación, ellas son, en síntesis, las siguientes:

1. Formulación de un Plan Nacional de Divulgación de la Ciencia y la Tecnología a cargo del Ministerio de Educación que motive y articule el trabajo de todos los actores.
2. Establecer un Programa Especial de becas de postítulo y posgrado para periodistas titulados y en ejercicio en el campo del periodismo científico y educativo.
3. Estudiar y suscribir un convenio amplio de cooperación entre la Asociación Nacional de la Prensa, el Colegio de Periodistas de Chile y el Consejo de Rectores de Universidades Chilenas, con el fin de llevar adelante acciones destinadas a "crear conciencia pública del valor de la educación, la ciencia y la cultura para el desarrollo nacional".
4. Fomentar la creación de bases de datos de revistas académicas de diversas áreas del saber, en español, para hacerlas accesibles a investigadores, profesores y periodistas científicos

chilenos y de otros países de América Latina a fin de facilitar el acceso a informaciones y conocimientos que motiven la realización de estudios de esas áreas, así como su divulgación a través de los medios de comunicación.

5. Contribuir desde la óptica del periodismo científico a la inserción de la realidad chilena de todas las ciencias en el mundo globalizado a través de la traducción a otros idiomas de los productos comunicacionales que divulguen la ciencia y la tecnología generadas en el país.
6. Impulsar la organización y funcionamiento de cursos para científicos en formación (posgraduados) sobre cómo divulgar la ciencia, con la colaboración de periodistas especializados y científicos.
7. Recomendar a los medios de comunicación social que en los despachos de los periodistas no se ponga acento en la espectacularidad, sino en lograr la comprensión descodificada del mensaje científico. Para alcanzar esto, es fundamental la cooperación de los científicos, académicos y profesionales con los periodistas.

Los científicos

Es necesario incentivar a la comunidad científica para fortalecer lazos de colaboración con los medios de comunicación social, en temas de real significación para el país, e ir más allá de las colaboraciones ocasionales que a título personal expresan opiniones en algunos medios.

En resumen, falta una mayor conciencia en el país de lo que realiza y produce la comunidad científica nacional y en qué se invierten los fondos respectivos. Falta un mayor conocimiento del rol que juega la comunidad científica en la construcción del país.

4. Papel fundamental de la educación

La educación es la base para el uso responsable de la libertad individual y la inserción de las personas en la vida social. La educación institucionalizada es la responsable de garantizar la adquisición de habilidades y capacidades para que los ciudadanos participen adecuadamente en la vida moderna, caracterizada por sus crecientes complejidades e incertidumbres.

El Estado debe dirigir sus esfuerzos en el mejoramiento de la calidad y modernización de la enseñanza, con el fin de avanzar hacia una sociedad del conocimiento. El logro de este paradigma social requiere primero garantizar la eliminación del analfabetismo real y funcional, la alfabetización científica de la sociedad y la construcción de un pensamiento crítico, aspectos todos que, por su dimensión y profundidad, exigen la participación del gobierno, presente no sólo en la voluntad política para resolverlo sino en las acciones concretas que lo materialicen.

Los problemas de la educación en el país son comunes a todos los niveles y disciplinas de enseñanza; el primero de ellos es mantener la permanencia o retención de los estudiantes en el sistema educacional para garantizar el crecimiento de la masa crítica de egresados en el país y que no continúe creciendo el empujamiento intelectual ciudadano.

Es evidente que esta situación no sólo involucra al sistema educacional sino las condiciones socio económicas de los participantes; su tratamiento y solución alcanza una dimensión social y requiere de la preocupación y ocupación de las esferas decisorias de la nación.

Desde el punto de vista educativo institucional se precisa de una necesaria reforma de estilo y contenidos que abarquen los problemas básicos del sistema, como falta de prioridades en los currículos educativos de toda la enseñanza (básica, media y superior).

Enseñanza Escolar

El desarrollo de la educación descansa en buena medida en la idoneidad de sus profesionales. Los datos recogidos en Chile-Ciencia 2000 reflejan que la cantidad de profesores en el país es insuficiente; esto se contrasta con un interés levemente creciente por ingresar a las carreras de pedagogía, producto de los incentivos en becas que ha puesto a disposición el Ministerio de Educación. En suma, el sistema educacional se tipifica por la falta de profesores en ejercicio, que afecta principalmente a las zonas rurales, aisladas y zonas de riesgo de las grandes ciudades.

Se requiere, por un lado, un urgente crecimiento de la cantidad de profesores de ciencias y de tecnología, que se dediquen a su profesión en las modalidades de enseñanza básica y media, y por otro, crear una estrategia nacional que motiven el ingreso de personas a carreras pedagógicas, incentivar su permanencia en ellas así como garantizar su incorporación en el sistema educacional. Por otra parte, es necesario mejorar sustancialmente la formación universitaria que reciben los profesores de ciencias, la que es actualmente muy deficiente.

Al problema de la carencia de docentes se agrega el de la formación continua de ellos. La actualización de los conocimientos es una importante vía para garantizar el valor científico de los contenidos, actividad que tiene que brotar como indicación del propio sistema de educación, donde a través de un sistema de educación continua permanente se norme la obligatoriedad de su cumplimiento y responda a las necesidades detectadas, con la debida gratuidad para el docente. Ya la Reforma Educacional había convocado a la urgente necesidad de contar con profesores que estén debidamente actualizados y contempla un aumento en la oferta de programas de actualización y perfeccionamiento docente, los directivos y los docentes deben contribuir para hacer realidad este propósito.

Enseñanza de Ciencias en Educación Básica

La alfabetización científica debe producirse en gran parte dentro del sistema escolar, partiendo por los primeros años de estudio. Para que ello sea efectivo se requiere una difícil tarea de innovación metodológica que debe ser asumida conjuntamente por los profesores, la comunidad científica y otros sectores de la sociedad. Muchos científicos colaboran con la profundización disciplinaria de los profesores en cursos de capacitación, dejándoles la responsabilidad de la posterior transferencia de este conocimiento a los alumnos. Esta es una tarea valiosa, pero resulta particularmente insuficiente en la Enseñanza Básica. El programa que se describe a continuación ilustra un estilo diferente, que permite transmitir no solo conocimientos sino también actitudes y valores sociales conducentes a un aprendizaje científico.

Programa de Educación en Ciencias basado en la Indagación (ECBI-Chile)

Este programa está dirigido a la Enseñanza Básica y es una iniciativa conjunta de la Academia Chilena de Ciencias, el Ministerio de Educación (MINEDUC) y la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. Es un buen ejemplo de la importancia de la cooperación científica internacional, pues su génesis está en las recomendaciones del Inter Academy Panel que siguió a la Transition to Sustainability Conference, Tokyo (2000). Por otra parte, para lograr la participación institucional del MINEDUC en el proyecto fue fundamental el apoyo del National Sciences Resources Center (NSRC), la Academia Francesa de Ciencias y la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia. Esta iniciativa fue promovida por Jorge Allende y Rosa Devés, profesores de la Universidad de Chile y miembros de la Academia Chilena de Ciencias, quienes siguen participando en el equipo que lidera el Programa ECBI. La dirección pedagógica del programa es responsabilidad de Patricia López, del MINEDUC.

El objetivo general del programa es generar en niños y niñas, a través de la metodología de la indagación (ECBI), la capacidad de explicarse el mundo que los rodea utilizando procedimientos propios de la ciencia, con lo cual podrán utilizar la ciencia como una herramienta para la vida y para aprender por sí mismos. La metodología ECBI se fundamenta en el nuevo conocimiento sobre el proceso de aprendizaje surgido de la investigación y busca llevar al aula las habilidades y actitudes asociadas al quehacer científico. De esta forma, los alumnos exploran el mundo natural y esto los lleva a hacer preguntas, encontrar explicaciones, someterlas a prueba y comunicar sus ideas a otros. El proceso es guiado por su propia curiosidad y pasión por comprender. La utilización de esta metodología ofrece a los docentes una base para la introducción de aportes creativos e innovaciones.

En el año 2003 se desarrolló un proyecto piloto en la comuna de Cerro Navia, que luego se extendió en 2004 a Lo Prado y Pudahuel, para los niveles 1 – 4 y 6 – 8 de Enseñanza Básica, con el patrocinio de MINEDUC y la Fundación Andes. El éxito del proyecto piloto motivó que el MINEDUC asignara un presupuesto para promover la educación en ciencias basadas en indagación, a través de ECBI-Chile. A partir de 2005 la articulación del programa la realiza MINEDUC, el cual ha establecido convenios de cooperación con tres universidades (U. de Chile, U. de Playa Ancha y U. de Concepción), las que a su vez generan lazos de cooperación con los municipios. La Academia Chilena de Ciencias participa en el Consejo Directivo del Programa Nacional y coordina la cooperación internacional. Cabe destacar que la Academia Chilena de Ciencias está coordinando las acciones en educación del Interacademy Panel y que los resultados del proyecto han sido presentados en numerosas reuniones internacionales.

La estrategia de implementación del programa es sistémica y sigue el modelo desarrollado por el NSRC, que incluye cinco componentes: implementación curricular, desarrollo profesional, materiales educativos, evaluación y participación de la comunidad (escolar, científica, empresarial).

- *Implementación curricular:* Se utilizan programas de ciencias basados en estándares definidos y elaborados con estrategias de investigación y desarrollo por el NSRC y adaptados en Chile. El programa se preocupa de manera especial de estimular el desarrollo del lenguaje, entre otras cosas promoviendo el uso del “cuaderno de ciencias” en el cual los alumnos registran no sólo sus observaciones y resultados, sino también su pensamiento. Las clases de ciencia están estructuradas en torno al ciclo del aprendizaje: focalizar, explorar, experimentar, reflexionar y aplicar.
- *Desarrollo Profesional:* El uso de la metodología indagatoria representa un cambio radical en las prácticas pedagógicas, por lo que se requiere un programa de desarrollo profesional permanente para apoyar a los docentes. Es preciso formar educadores líderes que se preocupen de la difusión ulterior de esta metodología, en lo cual hay un trabajo colaborativo de educadores y científicos. Las actividades comprenden la capacitación inicial de los profesores, junto a los Directores y Jefes Técnico Pedagógicos, una capacitación permanente vinculada al aula a través de la interacción con monitores ECBI y el trabajo en equipo con los otros profesores que desarrollan la metodología en la escuela. Los monitores son docentes que han sido capacitados tanto en metodología indagatoria y sus fundamentos didácticos como en la implementación de los módulos. Ellos trabajan en estrecha relación entre sí y también en contacto directo con la dirección pedagógica del proyecto.
- *Materiales educativos:* Cada módulo o unidad didáctica incluye un conjunto de materiales para 45 niños que permite la experimentación en la clase. Además comprende guías para los alumnos y una guía para el profesor. Esos materiales se han adquirido y ensamblados en Chile a partir de prototipos donados por el NSRC. El material educativo se distribuye a las escuelas al inicio de la unidad y una vez terminada la aplicación del módulo se retira y se acondiciona siguiendo un estricto control de calidad, para poder ser reutilizado. En la

medida que crece el programa, este proceso requiere crear un Centro de Recursos, lo que está previsto a partir del 2006.

- *Evaluación:* El programa contempla diversas estrategias de evaluación y seguimiento para alinear la evaluación del desempeño de los alumnos y alumnas con los objetivos de un programa ECBI. En el diseño de la evaluación se considera la escuela como sistema y contempla una serie de indicadores que miden el impacto de este método, directamente en relación a la temática del módulo, pero también sobre los dominios en lecto-escritura y otros aspectos más generales como el clima del aula.
- *Apoyo administrativo y de la comunidad:* La motivación y apertura al cambio requiere de la participación de todos los involucrados y de un decidido compromiso de apoyo y colaboración de las autoridades administrativas, los padres y la comunidad, en especial de la comunidad científica. Por ello, el programa ECBI organiza actividades para conseguir esos compromisos y desarrollar las competencias necesarias para asumirlos. En las actividades participan los padres, los científicos y la comunidad en general.

Durante el período de implementación del proyecto se constataron cambios relevantes y positivos en todas las dimensiones. Por ejemplo, clima en el aula, relaciones colaborativas y de trabajo equipo, autonomía del aprendizaje de los alumnos, motivación por aprender y saber más, buena participación de alumnos con dificultades de aprendizaje, conocimiento científico (contenido y habilidades), y capacidad de expresión oral y escrita. Entre los profesores se detecta una apropiación paulatina del conocimiento y de la metodología que contribuye a una mayor autoestima y a generar autonomía y mayor disposición para innovar en su práctica pedagógica. En cada uno de los estamentos involucrados de la comunidad escolar se observan cambios cualitativos importantes que se traducen en una participación comprometida en la implementación.

La enseñanza universitaria de pregrado

La principal responsabilidad social de las universidades es formar a los profesionales de más alto nivel en todas las especialidades que el país necesita. En el área de Ciencia y Tecnología eso es esencial para el desarrollo económico sostenible del país. Para garantizar la demanda de profesionales de alto nivel en el país es necesario implementar un programa nacional de becas para estudiantes de ciencia, que estimule la postulación de los mejores estudiantes del sistema educacional.

Se recomienda la modificación de los currículos de pregrado para permitir la mejor comprensión de los avances científicos y la presencia de un pensamiento creador que estimule la necesaria curiosidad que lleve al autoperfeccionamiento a lo largo de toda la vida profesional. Tito Ureta (2004) piensa que los currículos de las carreras profesionales y también de las licenciaturas en ciencia están muy atiborrados, situación difícil de cambiar por ser las universidades instituciones muy conservadoras. También se refiere a la urgencia de eliminar la brecha creada entre científicos y humanistas el “abismo de incomunicación, fatal para aquellos que quisieran tener una visión integrada y global que les permita una vida armoniosa. No existen puentes para salvar la brecha, excepto una educación que no desdeñe ni una ni otra parte del esfuerzo humano”. Una vía para dar unicidad al ingreso en la educación superior es la implementación de “programas de Bachillerato”, que postergan la elección de la carrera definitiva en un par de años. Actualmente esos programas son limitados y normalmente se ofrecen en dos vertientes separadas: científicas o humanísticas. Algunas universidades, recientemente, han reformulado sus planes de estudio insertando cursos de formación general que dan a los estudiantes la posibilidad de conocer los grandes temas de la cultura (tanto en ciencias como en humanidades y artes).

Enseñanza de posgrado y formación de investigadores

Es necesario desarrollar una política dirigida a la formación de nuevos científicos; sólo de esta forma el país podrá contar con un cuerpo científico capaz de diversificar las áreas de investigación y abarcar las necesidades locales. Durante los últimos años el gobierno ha realizado esfuerzos para generar fondos de apoyo a grupos científicos consolidados, como los FONDAP y los ICM. Si bien ello ha favorecido el mantenimiento de los científicos de mejor nivel en el país, por otro lado tiende a reducir el quehacer científico a un número limitado de pequeños grupos de excelencia, incapaces de abordar la amplia gama de problemáticas a resolver en nuestro país.

Se reconoce el beneficio del fondo MECESUP para los programas de posgrado, lo que permite mejorar la calidad docente y financiar iniciativas tendientes a una mayor cooperación interuniversitaria. Es importante asegurar la continuidad y el mejoramiento de este tipo de fondo.

Es fundamental fortalecer el programa nacional de becas de doctorado para estudiantes de ciencia, que estimule la postulación de los mejores estudiantes del sistema educacional. Es urgente aumentar significativamente el número de estudiantes de doctorado. Una de las razones para ello es la necesidad que tienen las universidades para renovar sus equipos de investigación en el mediano plazo. Es importante para Chile que las instituciones garanticen el relevo para no comprometer el futuro. A los jóvenes que inician su trayectoria de investigación después de obtenido el doctorado se le debe proporcionar apoyo en tiempo y reconocimiento social, como una manera de estimular los futuros resultados.

Es necesario también avanzar en la internacionalización de los programas de posgrado más allá de intercambios estudiantiles. Se debe promover un contacto global entre programas de distintos países, incluyendo estadias de académicos, cursos por teleconferencias y estadias de perfeccionamiento técnico.

Se propone ampliar significativamente el número de becas de posdoctorado en Chile y contemplar este tipo de apoyo para que los científicos formados en el país tengan la oportunidad de perfeccionarse en centros de excelencia en el extranjero. Una iniciativa de este tipo posee especial importancia debido a que se espera que una componente significativa de la renovación de las plantas académicas provenga de los programas de doctorado nacionales.

5. Diagnóstico y propuestas

5.1. Sobre el tamaño de la comunidad científica chilena

En su informe anual 2005 el Instituto Mundial de la Competitividad (IMD) con sede en Bruselas, ha confirmado el buen lugar relativo de Chile en la escala mundial de competitividad, donde nuestro país se entrevera con países con mayor grado de desarrollo. Como en años anteriores los parámetros que explican la buena puntuación fueron la calidad de la gestión gubernamental, la calidad de gestión del empresariado y la evolución macroeconómica. También vuelve a destacar muy negativamente el cuarto factor para el cálculo del índice, cual es la infraestructura, donde incide en forma determinante nuestro escaso desarrollo científico y tecnológico. El diagnóstico es compartido por otras varias entidades nacionales e internacionales que ven a la Investigación y Desarrollo como el factor limitante para el desarrollo económico futuro del país.

Chile es un país que ha experimentado un enorme desarrollo científico en los últimos treinta años. Una creciente inserción internacional, el aumento de los programas de doctorado y la diversificación de los temas de investigación son signos inequívocos de que estamos en la senda correcta. Sin embargo la comparación de algunas cifras internacionales con las nuestras nos hace

ver que no estamos todavía a mitad de camino. Chile todavía tiene un número muy reducido de científicos, y en un sentido más amplio el número de investigadores es muy bajo, en cualquier comparación internacional. Las políticas científicas en los próximos años deben tener un fuerte énfasis en el aumento significativo de la masa de investigadores con que debe contar el país. De acuerdo a la definición dada por la OECD [3]: los investigadores son profesionales que se dedican a la concepción o creación de nuevos conocimientos, productos, procesos y sistemas, y también a la gestión de los proyectos respectivos. Con esa definición se ha establecido que en España, por ejemplo, se ha pasado de 2,5 investigadores por cada mil personas laboralmente activas en el año 1990 a 3,9 en 2000 y en el caso de Finlandia se ha aumentado de 5,1 a 10,7 desde 1990 a 2000 (Tabla 1.1). Cabe notar que para los efectos estadísticos en estas cifras se considera el número de investigadores en jornada completa equivalente, de modo que el número real de personas dedicadas a la investigación es aún mayor. Con el objeto de comparar esos números con la situación chilena, podemos considerar los datos de CONICYT (ver Tabla 1.2), en los que se consigna que el número total de investigadores en el país es de 5.400 en 1990 y que aumenta a 8.500 en 2000. Considerando una población laboralmente activa de 5,8 millones en 2002, según datos del Censo 2002, se obtienen 1,5 investigadores por cada 1000 habitantes laboralmente activos. Esta cifra seguramente sobreestima la cifra real pues, mientras los datos de la Tabla 1.1 consideran investigadores jornada completa equivalente, en la Tabla 1.2 sólo la columna correspondiente a las empresas se expresa en jornadas completas equivalentes. Por otra parte el actual estudio de la Academia Chilena de Ciencias realizado con una metodología distinta, consigna 2.600 investigadores en 2005. Haciendo una proyección de la población activa para 2005 se obtiene una tasa de 0,42 investigadores por cada mil habitantes en edad productiva, cifra mucho menor que la mencionada arriba.

Tabla 1.1. Total de investigadores por mil de población activa								
	Austria	Bélgica	Dinamarca	España	Finlandia	Holanda	Irlanda	Noruega
1981	2,1	3,1	2,5	1,4	3,5	3,4	1,7	3,8
1982	2,2	3,3	2,7	1,4	3,6	3,6	1,8	3,9
1983	2,2	3,2	2,8	1,4	3,7	3,8	1,9	4,1
1984	2,3	3,4	3	1,5	3,8	4	2	4,4
1985	2,3	3,6	3,1	1,5	3,9	4,2	2,2	4,7
1986	2,4	3,8	3,3	1,7	4	4,1	2,3	5
1987	2,4	3,9	3,5	1,8	4,1	3,9	2,5	5,3
1988	2,5	4	3,6	2,1	4,4	4	2,7	5,4
1989	2,5	4,3	3,8	2,2	4,8	4	3,2	5,6
1990	2,7	4,3	4	2,5	5,1	4,1	3,5	5,9
1991	3	4,3	4,1	2,6	5,5	4,3	3,9	6,3
1992	3,2	4,6	4,4	2,7	5,8	4,4	4,1	6,6
1993	3,4	5	4,7	2,8	6,1	4,5	3,5	6,9
1994	3,6	5,3	5,2	3	6,4	4,8	3,7	7,1
1995	3,9	5,4	5,7	3	6,7	4,6	4	7,3
1996	4,1	5,7	5,9	3,2	7,6	4,6	4,5	7,5
1997	4,3	5,9	6,1	3,3	8,4	5	5,1	7,7
1998	4,5	6,5	6,3	3,7	9,4	5	4,9	7,7
1999	4,8	6,6	6,4	3,7	9,9	5,1	5,1	7,8
2000	5	6,9	6,7	3,9	10,7	5,1	5,3	8

Fuentes: Main Science and Technology Indicators, OECD, 2004-1

Si bien las cifras entregadas arriba no son completamente comparables, a partir de ellas se infiere que si se quiere alcanzar niveles superiores en desarrollo científico y tecnológico, el número de investigadores en el país debe aumentar por lo menos tres veces para alcanzar a España, y al menos duplicarse para alcanzar a Portugal, el más bajo de los europeos.

Según parámetros aceptados internacionalmente, como los entregados por el Institute for Scientific Information ISI, la ciencia chilena es buena en términos absolutos, con un Índice de Impacto promedio superior al de varios países europeos. Es decir, las publicaciones generadas en Chile son citadas con alta frecuencia por científicos del resto del mundo. Si se considera la baja inversión relativa requerida para generar esas publicaciones, puede decirse además que el esfuerzo científico chileno es extremadamente eficiente. El problema no es entonces de calidad, sino de cantidad, en comparación con los países desarrollados con quienes debemos interactuar y competir.

Tabla 1.2. Número de investigadores en Chile clasificados según el sector institucional						
Año	Universidades	Gobierno	Empresas	IPSFL	Otros	Total
1981	2.434	799	s/i	187	s/i	3.420
82	2.561	797	s/i	189	s/i	3.547
83	2.677	820	s/i	230	s/i	3.727
84	2.789	837	30	230	s/i	3.886
85	2.924	877	50	228	s/i	4.079
86	3.056	891	75	229	s/i	4.251
87	3.169	900	200	319	s/i	4.588
88	3.279	961	334	229	s/i	4.803
89	3.389	1.084	314	328	s/i	5.115
90	3.639	1.080	346	356	s/i	5.421
91	3.710	1.028	386	394	120	5.638
92	3.942	1.008	433	389	88	5.860
93	4.029	1.009	480	376	134	6.029
94	4.168	993	527	382	153	6.223
95	4.356	973	574	377	108	6.388
96	4.583	933	621	293	184	6.613
97	4.604	1.102	469	346	236	6.757
98	4.762	1.085	516	364	245	6.972
99	4.933	1.064	563	382	172	7.114
2000	5.075	1.003	650	401	89	7.217
2001	5.147	942	737	419	132	7.376
2002	6.476	506	964	413	148	8.507

Nota: los datos en *itálica* están estimados. Desde el año 2002 "Otros" considera el número de personas que trabajan en Organizaciones Internacionales. Desde el 2002 los datos disponibles del Sector Empresas están expresados en JCE, por lo que el número de personas de este sector podría estar subestimado.

FUENTES: Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas, Anuarios Estadísticos, años: 1981 a 2002, Santiago de Chile; Información entregada por Universidades e Institutos; información proveniente de FONDECYT.

La escasez de investigadores científicos produce efectos diversos en relación a la sociedad. En primer lugar, la enseñanza de carreras con un fuerte componente científico y tecnológico está con frecuencia a cargo de profesores que no efectúan investigación. Esta "escolarización" de la universidad es particularmente grave en el sistema privado. Las universidades tradicionales, por otra parte, están procurando rejuvenecer sus plantas académicas. La suma de esos factores establece en el sistema académico nacional una demanda importante por científicos calificados, la que se satisface solo parcialmente, pues la tasa de producción actual de doctorados, aunque ha aumentado en los últimos años, sigue siendo insuficiente. Se espera entonces que en el mediano plazo, la mayor parte de los investigadores que hoy se está formando sea absorbida por las universidades, ya sea

como académicos con línea de investigación propia o como personal de apoyo en proyectos de mayor envergadura. Como el período de formación de un científico, desde su ingreso al doctorado a su debut como investigador al finalizar su posdoctorado, fluctúa entre 8 y 10 años, el proceso de generación de científicos tiene una gran inercia, lo que exige planes de largo plazo.

La relación de los científicos con la empresa, tanto estatal como privada, responde a una dinámica de huevo-gallina. Por un lado no hay una oferta importante de investigadores que pueda ser absorbida por la empresa. Por otro lado, sólo últimamente se ha echado a andar, con el programa Bicentenario, una demanda por investigadores en las empresas. Una solución más estable pasa por intervenciones permanentes y simultáneas a los dos niveles: aumento de producción de investigadores e incentivos para la inserción de los investigadores en la empresa.

5.2. Los Profesores de Ciencias de Educación Media y Básica

Los profesores de Ciencias de Enseñanza Media y Básica tienen a su cargo la formación científica de nuestros niños y jóvenes. De su capacidad, fortaleza y conocimientos depende el nivel de información que el ciudadano común tendrá en el futuro sobre la ciencia. Este aspecto es fundamental en una sociedad en la cual cada día tendremos que tomar decisiones con contenido científico. Por otra parte, la posibilidad de aumentar el número de científicos depende de manera crucial en el número de jóvenes con interés por el tema científico, lo que depende de manera directa en la motivación que se haya creado a lo largo de la formación básica y media.

En el documento *Chile-Ciencia 2000* se manifiesta como una de las prioridades de los próximos años “Recuperar el papel fundamental que los profesores juegan en una sociedad moderna y culta, lo que significa sueldos dignos para que sus necesidades culturales sean debidamente incorporadas y satisfechas, ya que son básicas para su desempeño profesional”. A cinco años de la publicación de dicho documento, comprobamos que se ha mejorado el sistema de remuneraciones de los profesores y se han creado incentivos por calidad. Se debe perseverar en ello continuando la tendencia de mejora salarial relativa a otras profesiones y dando mayor importancia a los incentivos a la calidad.

El sistema nacional de formación de profesores requiere de una redefinición profunda que pasa por la modernización de contenidos, tanto desde el punto de los conocimientos de las disciplinas que se enseñan, como de los componentes pedagógicos necesarios. Especialmente debemos llamar la atención sobre la formación de profesores para Educación Básica, la cual carece de los componentes disciplinarios requeridos para enseñar a los alumnos de Primero a Octavo año de Enseñanza Básica. Esta especialización es un desafío a corto plazo.

En resumen, el problema de la formación de profesores es un tema de política pública que debe ser abordado desde el Estado, a través de las instancias y herramientas disponibles y las que sea necesario crear. Estas deberían estar dirigidas a la creación pronta de las carreras de Pedagogía Básica con mención disciplinaria, superando el esquema actual de profesores generalistas, a la acreditación de las carreras de Pedagogía en las distintas especialidades y a la certificación de los profesores que entran al campo laboral.

5.3. Los científicos en la formación de profesores de ciencia

La ciencia chilena ha tenido un tremendo desarrollo en los últimos años abarcando las áreas tradicionales como también algunas emergentes. Cimentada en el trabajo perseverante de muchos años, nuestra ciencia se empina a niveles internacionales cada vez más altos. En este contexto podemos también observar que las ciencias de la educación no han tenido un desarrollo paralelo. No queremos ahondar en las causas de esta realidad, las que tienen relación con acontecimientos

traumáticos de nuestra historia, falta de visión, poca renovación, carencia de recursos, y muchas otras.

La situación en la que se encuentra la formación de profesores en nuestro país debe tener similitud con experiencias actuales o pasadas de otros países. Podríamos buscar allí respuestas o recetas, pero ciertamente primero hay circunstancias propias que debemos entender. Chile es un país pequeño, su mundo académico también es pequeño, de modo que los actores relevantes del sistema nacional son pocos y conocidos y pueden perfectamente ser convocados a conversar y colaborar. En la toma de decisiones académicas, en el ordenamiento de las instituciones formadoras de científicos, hay una enorme experiencia que no puede desaprovecharse.

Existen varias experiencias recientes en que investigadores activos se están involucrando con fuerza en temas de educación y en particular en la formación de profesores de Ciencias. Desde esas experiencias se invita a científicos a involucrarse con mayor decisión en los problemas de la educación. Ello requiere ciertamente de una dosis generosidad para reconocer al otro en sus valores, sin renunciar a los propios. Así también se debe invitar a los formadores de profesores a abrirse al mundo científico, a perder los miedos, a atreverse, como ya algunos lo han hecho, a conversar con los científicos.

Las oportunidades que se presentan son enormes, pues Chile vive un tiempo único en su historia en temas de educación. Hay signos positivos por todos lados, signos que nos permiten soñar. El carro de la educación en Chile está moviéndose en la dirección correcta. Muy lento posiblemente, pero se está moviendo y los científicos pueden ayudar de una manera efectiva a acelerar su marcha.

En una forma más concreta existen enormes espacios donde los científicos pueden participar aportando con sus experiencias académicas. Por ejemplo en la toma de decisiones de contratación en una facultad o departamento de educación, ¿porqué no invitar a un investigador en biología como asesor? Y al momento de definir y discutir sobre los planes de estudios de una determinada carrera ¿porqué no invitar a un investigador en matemática para conocer su opinión? Y al momento de definir sobre la asignación de fondos de un proyecto de investigación o de desarrollo en educación ¿por qué no invitar a un investigador en química al comité de fallo? ¿Porqué no invitar a un físico a escribir un libro sobre física moderna para estudiantes de pedagogía en física? ¿Porqué no pensar en proyectos conjuntos?

Una idea complementaria es la creación de un sistema de intercambio presencial entre científicos jóvenes (formados y en formación) y profesores de ciencia. La idea es que por un período prolongado el investigador cumpla una parte menor de su jornada laboral en un colegio (por ejemplo una mañana a la semana durante 3 meses cada año). En ese período el investigador estaría a disposición de profesores y alumnos, intercambiando ideas y generando actividades. Recíprocamente, el profesor podría desarrollar unidades de investigación en un laboratorio universitario donde adquiriera de primera mano una noción de la investigación. Por supuesto que un programa de esas características requiere financiamiento (incentivos para científicos, profesores y sus respectivas instituciones). Ya existen programas pilotos que pueden usarse como referencia.

Estas son sólo algunas formas de cruzar ideas, de intercambiar experiencias entre el mundo científico y el mundo de la educación. Los esfuerzos que sin duda vendrán requieren de generosidad del mundo científico y de apertura del mundo de la educación.

5.4. La percepción pública de la Ciencia

En países desarrollados se realizan periódicamente sondeos de percepción pública sobre diferentes temas relacionados con la ciencia y los científicos. Esos estudios sirven variados

propósitos de políticas públicas. Entre los estudios realizados destacan *The National Science Foundation 2001 Survey of Public Attitudes Toward and Understanding of Science and Technology* en Estados Unidos y *The 2001 Eurobarometer: Europeans, Science and Technology* en los países de la Unión Europea, estudios que abordan temas como: información, conocimiento e interés del público sobre la ciencia, valor de la ciencia pura y aplicada, optimismo en la ciencia para resolver problemas y responsabilidad de los científicos. No tenemos noticias de este tipo de estudios de opinión sobre temas científicos en Chile de modo que hablar de posibles resultados sería meramente especulativo; ciertamente no sabemos qué opinión tienen los chilenos sobre la ciencia, su valor para el desarrollo, sobre la utilidad de que el estado invierta recursos para el desarrollo de nuevos conocimientos científicos, etc. Tampoco sabemos cómo responderían los chilenos ante preguntas de conocimientos científicos básicos como, por ejemplo: “*los primeros seres humanos vivieron al mismo tiempo que los dinosaurios*”. Cualquiera especulación que se pueda hacer sobre cuál sería el porcentaje de chilenos que respondería Falso a esta pregunta, debería considerar que solamente un 50% de los europeos y un 60% de los estadounidenses respondieron así.

Si bien es arriesgado pronosticar resultados para estudios de esa naturaleza, es posible afirmar que la percepción que puede tener el ciudadano común sobre la ciencia y los científicos tiene al menos tres condicionantes que no pueden dejar de considerarse en cualquier análisis: el número de científicos que desarrollan su labor en el país, la cantidad de información científica recibida en la educación escolar y ciertamente las campañas de difusión que puedan definirse. Cuando tengamos los resultados de los primeros estudios de percepción de la ciencia en Chile, deberemos considerar esos aspectos antes de realizar comparaciones con países desarrollados y sacar conclusiones apresuradas.

Las primeras dos condicionantes de la percepción pública de la ciencia y de los científicos tienen un carácter estructural y queremos concentrar nuestra discusión en ellos. Ante la eventualidad de un estudio de opinión y de conocimientos científicos, que seguramente creará alarma pública por sus *desastrosos* resultados, deberíamos tener en claro cómo estos factores condicionan el resultado. De este modo sabríamos cuales son las principales medidas de política pública de largo plazo que se deben tomar para mejorar la percepción de la ciencia y el nivel de conocimientos científicos manejados por la población. Con ese énfasis lograremos alcanzar, como país, metas de desarrollo económico y cultural acompañados de bienestar social. No cabe duda que la percepción pública de la ciencia será mejor cuando Chile tenga un adecuado número de científicos y una enseñanza escolar de calidad que introduzca desde el kindergarten los conceptos científicos.

Con respecto al tercer condicionamiento indicado arriba es interesante mencionar algunas conclusiones referentes al conocimiento público sobre ciertos hechos científicos en Estados Unidos y Europa. Comparando los resultados de un cuestionario realizados en 1995 y 2001 en Estados Unidos y en 1992 y 2001 en Europa, los niveles de conocimientos no variaron significativamente en las 13 preguntas del cuestionario, lo que no deja de sorprender. Sin embargo frente a la pregunta: “*Los antibióticos matan tanto bacterias como virus, Verdadero o Falso*”, hubo una variación de preguntas correctas en Estados Unidos desde el 40% en 1995 al 51% en el año 2001, mientras que en Europa varió desde el 27% en 1992 al 40% en 2001. El cambio es atribuido en [1] a las intensas campañas de salud lanzadas en el período con el objeto de educar al público sobre la creciente resistencia de las bacterias a los antibióticos.

Algunas ideas sobre la divulgación científica:

- Los grandes centros de investigación deben promover sus actividades y logros en forma activa, por ejemplo contratando agencias de publicidad/periodistas. Así como se dedican esfuerzos ingentes para publicar en revistas internacionales, corresponde un esfuerzo para la

difusión local de los logros. Esto implica un problema de financiamiento y organización, que puede ser catalizado por CONICYT a través de FONDECYT u otros medios.

- Las sociedades científicas fueron creadas en tiempos embrionarios de la ciencia chilena en los que no había mayor contacto con la ciencia extranjera. Hoy esa situación ha cambiado. Si bien algunas sociedades son especialmente activas en la materia, la necesidad de divulgación ofrece una oportunidad para la redefinición de los objetivos de todas las sociedades científicas.

5.5. Medio ambiente, industria y sociedad: el conflicto creciente

Aunque Chile aún es un país de baja tasa de industrialización relativa, esta realidad está cambiando rápidamente debido al crecimiento económico y los tratados de libre comercio que ha suscrito el país. El desarrollo industrial plantea problemas nuevos en relación al medio ambiente, problemas cuya resolución requerirá información científica fidedigna y oportuna.

Coincidente con la industrialización, se percibe que la sociedad chilena se hace cada vez más sensible ante la modificación del medio ambiente. Además, los tratados comerciales internacionales imponen estándares medio ambientales superiores a los vigentes. Entonces, la producción sustentable desde el punto de vista del medio ambiente no aparece solamente como una necesidad estética sino como una necesidad comercial. Dado el consenso existente en estos puntos, se prevé que la sociedad chilena deberá efectuar esfuerzos considerables en cuanto a legislación, ejecución y jurisprudencia.

Las formulación de normas y decisiones relativas a la interacción Industria-Medio Ambiente, área de gran complejidad técnica, requerirá en forma creciente de sustento científico. En Chile, los especialistas en el tema medio ambiental son en su mayoría investigadores asociados a universidades o centros de investigación públicos de apoyo estatal, que reciben remuneraciones muy por debajo de las que se perciben en la empresa privada por formación similar. Por otro lado, los recursos que los académicos requieren para sus investigaciones son, en general cuantiosos y de asignación competitiva, y su rendición y renovación está estrechamente asociada a la calidad y alcance de los resultados inmediatos. Este esquema de financiamiento de la investigación es similar en países desarrollados, y la asociación ciencia-empresa con múltiples propósitos (e.g., mejoramiento de la producción, optimización de procesos, biotecnología) es una fuente importante de financiamiento de la investigación científica. Particularmente para el caso medioambiental, esta asociación ocurre al menos de las siguientes tres formas: (1) la empresa financia las investigaciones de los académicos a través de proyectos con plazos y objetivos concretos; (2) la empresa solicita consultorías que consisten en opiniones o estudios de corto plazo sobre un asunto específico; (3) la empresa auspicia la construcción de laboratorios, estaciones de campo, y diversas facilidades para el desempeño de los científicos.

Esa asociación genera beneficios tanto para el científico como para el empresario. El científico puede financiar sus investigaciones sin la necesidad de llenar formularios engorrosos y puede hacer uso flexible de los fondos. Para el empresario, existe el beneficio de verse asociado a una institución académica de prestigio que en cierto modo “certifica” el respeto por el medio ambiente y que adicionalmente otorga un aura de credibilidad que tiene valor comercial. Creemos que la asociación de la empresa con científicos del área medioambiental es positiva en la medida que las investigaciones que los científicos realicen para la empresa sean consistentes con los métodos y los estándares científicos aceptados internacionalmente. Es síntesis, los informes deben entregar información veraz, objetiva y reproducible sobre el impacto que la actividad industrial genera en el ecosistema en cuestión. Creemos que esa asociación no es positiva si la empresa selecciona los resultados favorables a su gestión, y oculta o elimina aquellos que no lo sean. La participación de los científicos a su vez debiera estar regida por su ética y no por los montos que la empresa invierta en los gastos de la investigación o en honorarios. Esto implica que los científicos

debieran abstenerse de participar en investigaciones cuyo financiamiento esté condicionado por los resultados.

¿Cómo resguardar la objetividad, oportunidad y veracidad de la información científica en temas de alta sensibilidad y sometidos a intereses corporativos? Considerando que el medio ambiente es un bien común y que es el Estado el llamado a la protección y administración del bien común, parece apropiado que el impacto ambiental de proyectos de alto interés público sea evaluado por científicos financiados por el Estado. La legislación ambiental vigente, creemos, no es apropiada ni suficiente para garantizar que no existan conflictos ambientales y su reformulación requiere de un esfuerzo urgente que involucre a científicos y legisladores. La fiscalización, por otro lado, requiere de un ente regulador asesorado técnicamente con todo el presupuesto y las atribuciones suficientes como para ser independiente de cualquier tipo de presión gubernamental o corporativa. Si bien esa fiscalización debiera solicitarla y financiarla el Estado, su ejecución debiera corresponder a entes independientes. Una alternativa es que el Estado contrate la asesoría técnica de instituciones académicas autónomas en forma de comisiones *ad hoc* de académicos especializados en el tema medioambiental. En Chile, instituciones que cumplen con estas condiciones son por ejemplo, las Sociedades Científicas y la Academia Chilena de Ciencias.

Referencias

- Animación. Enfoque metodológico para la formación (dichos, hechos y trechos). Comunidad de Madrid. Consejería del Estado. Dirección General de juventud.
- Avogadro, M. (2005) Periodismo de la Ciencia: Aproximaciones y Cronología
<http://www.cem.itesm.mx/dacs/publicaciones/logos/anteriores/n43/mavogadro.html>
- Calvo-Hernando, M. (1999) *El Nuevo Periodismo de la Ciencia*. Ediciones Ciespal, Quito, Ecuador.
- Chile-Ciencia 2000: Ciencia, Tecnología y Sociedad: Un Encuentro Necesario, evento realizado en Santiago, Chile 14-16 de junio 2000.
- Maienschein, J. (1999). Commentary: To the future argument for scientific literacy. *Science Communication*, 21(1):75-87. Museo Interactivo Mirador <http://www.mim.cl>
- Messner, Dirk: Competitividad sistémica. Desafío para América Latina. Seminario Iberoamericano sobre Tendencias Modernas en Gerencia de la Ciencia y la Innovación Tecnológica. IBERGECYT 2000 La Habana, 19-21 julio 2000. Editorial Academia. La Habana 2000
- National Science Foundation. *Science and Engineering Indicators*. Chapter 7: Science and Technology: Public Attitudes and Understanding.
- Núñez Centella, R (2002) El papel de los nuevos museos en la educación científica.
www.casaciencias.org/Nosotros/RNC/senado-nov2002.htm - 26k - 20 May 2005
- OECD (2004) Informe de la situación de la educación en Chile, 2004.
- Programa Explora <http://www.conicyt.cl/explora>
- The National Science Foundation (2001) *Survey of Public Attitudes Toward and Understanding of Science and Technology*.
- The 2001 Eurobarometer: Europeans, Science and Technology.
- Ureta, T (2004) La investigación científica y su apropiación por la sociedad. *Revista Calidad en la Educación* 20, 37-47. Consejo Superior de Educación. Chile.
- Velásquez, G (Editor) (1998). La calidad de vida en ciudades intermedias latinoamericanas. CD-ROM con las ponencias del IV Seminario Latinoamericano de Calidad de Vida Urbana. CIG. FCH. UNCPBA.
- Tandil. (ISBN N° 950-658-056) <http://www.ub.es/geocrit/b3w-242.htm>

Enseñanza de las ciencias a nivel escolar y formación en ciencia en el pregrado universitario

2

Renato Albertini (*Coordinador*), Gloria Cárdenas-Jirón, (*Co-coordinadora*),
Jorge Babul, Gabriela Díaz Véliz, Jaime Eyzaguirre,
Alicia Labra y Renato Lewin

Resumen- Se analizó la enseñanza de las ciencias naturales y matemáticas en la educación básica y media en nuestro país y la formación de los profesores de ciencias. Detectamos grandes progresos en la cobertura e inversión pública al sistema de educación en general, pero también grandes debilidades y deficiencias. Éstas se vinculan fundamentalmente a la calidad de la enseñanza que se imparte, en especial en las instituciones que acogen a los sectores más pobres de la sociedad. La causa principal parece estar en la mala preparación y falta de actualización periódica del cuerpo docente.

La mayoría de los profesores de ciencias se forman en instituciones con escasa o nula actividad científica. Reciben, por lo tanto, los conocimientos de su especialidad sin la fascinación del descubrimiento personal. Por otro lado, la necesidad de una actualización permanente de los conocimientos científicos es algo que aún falta por internalizar en los profesores. Los cambios en el conocimiento científico se producen día tras día, hecho que los profesores no pueden ignorar y tampoco creer que la formación recibida como estudiantes los capacitará para siempre. Es, por lo tanto, urgente para las facultades, escuelas o institutos que forman a esos profesionales, replantearse los programas y las metodologías que emplean. Es también urgente que el Estado adopte medidas para que los profesores dispongan de tiempo y recursos para su actualización periódica de conocimientos y su perfeccionamiento en las metodologías docentes. Los cambios deberán favorecer la preparación de los futuros maestros para transmitir los valores y beneficios que el conocimiento proporciona como instrumento de promoción social. La enseñanza básica en ciencias debe favorecer al ciudadano común y al que pretende continuar con su formación científica. Sólo así se logrará que las personas se integren a una sociedad cada día más dependiente del conocimiento científico y de sus tecnologías.

A pesar de 10 años de reforma educacional, de la extensión de la jornada escolar y de la gran inversión económica en el sector, la brecha de calidad que separa el sistema de educación en matemáticas y ciencias de nuestro país con el del mundo desarrollado sigue siendo muy profunda.

Por el sistema de educación un proceso continuo, también abordamos el tema de la formación en ciencias en el pregrado universitario, en especial de la formación a nivel de las licenciaturas, etapa fundamental y requisito legal para la formación de los científicos al más alto nivel que es el Doctorado. Se constató que en el sistema universitario chileno no existen estándares mínimos de contenidos curriculares para la formación de un licenciado en ciencias básicas y que su formación científica en las profesiones es muy variada.

Un hecho llamativo se refiere a la proliferación de los programas de licenciaturas en ciencias y en profesiones de carácter científico que se imparten en las universidades del Consejo de Rectores. Los licenciados que ingresan a un programa de doctorado provienen de no más de un tercio de ellas y el 89% de solo seis universidades. Éstas son también las instituciones que más aportan a la producción científica del país.

Se ha podido constatar un gran aumento de las vacantes de ingreso en las licenciaturas científicas en el último decenio, con puntajes de ingreso satisfactorios, pero inferiores a los que presentan los alumnos que ingresan a carreras profesionales de mayor demanda. Sin embargo, de la escasa información en los sitios Web de las universidades y los anuarios disponibles (muy incompletos y a veces carentes de confiabilidad) mantienen un alto índice de deserción estudiantil.

Otro hecho relevante es constatar que el 75% de los alumnos que ingresan a programas de doctorado en Chile en el ámbito de las ciencias naturales, ingeniería, medicina y agronomía (según nuestra muestra de 859 becados CONICYT) tienen una licenciatura científica y sólo el 25% una licenciatura profesional. Sorprende y preocupa constatar el bajo interés por el doctorado en las áreas profesionales, especialmente en Ingeniería, en las cuales el país necesita con urgencia formar investigadores que sustenten el desarrollo tecnológico requerido para mantener y aumentar los actuales niveles de desarrollo económico y social.

Introducción

El objetivo del presente capítulo, al igual que en el estudio efectuado en 1993, es analizar los Programas de Licenciatura en Ciencias que ofrecen las universidades chilenas, por constituir éstos los fundamentos sobre los cuales se construye el proceso de formación de los futuros científicos del país. Al igual que la Comisión que efectuó el estudio 1993, la presente Comisión estima que el proceso de formación a nivel universitario no está desvinculado de lo que sucede con la calidad de la educación básica y media que reciben los alumnos que postulan a seguir estudios universitarios ni con la formación de los profesores responsables de los fundamentos de las diferentes disciplinas y de transmitir los conocimientos básicos en los primeros niveles del sistema de educación. Este capítulo aborda, por lo tanto, tres temas: 1) la enseñanza en las ciencias a nivel de la educación básica y media, con sus fortalezas y debilidades; 2) el proceso de formación de los profesores de ciencias en el sistema universitario chileno y 3) un análisis de las actuales licenciaturas en Ciencias y de la formación científica impartidas en las Universidades del Consejo de Rectores en algunas licenciaturas profesionales cuyos fundamentos disciplinarios se sustentan en las ciencias básicas.

1. La educación a nivel básico y medio, aumento de la cobertura y falta de progresos en su calidad.

Es una opinión generalizada en las universidades, que los egresados de enseñanza media llegan con graves deficiencias en la cantidad y calidad de conocimientos requeridos en los cursos de nivel competitivo en buenas universidades extranjeras. La opinión pública está también consciente que los alumnos arrastran esas deficiencias desde la enseñanza básica y así lo comprueban las mediciones periódicas que realiza el Ministerio de Educación. Esto es especialmente cierto en las áreas de las matemáticas y de las ciencias naturales. Esta opinión, reiterada en los medios de prensa, debates públicos y publicaciones, ha contribuido, sin lugar a dudas, a crear conciencia de la necesidad de superar esta brecha de calidad en la formación escolar pre universitaria de nuestro país, requisito fundamental para superar el subdesarrollo y poder competir sin grandes desventajas con los países desarrollados. El desafío para lograr el cambio ha sido asumido por las instituciones públicas responsables del sector educación, pero sin mucho éxito.

A partir de 1990 se comienzan a desarrollar en el país Programas de Mejoramiento de la educación preescolar, básica y media; se elabora e implementa el Estatuto Docente; se desarrollan planes para mejorar la gestión escolar y municipal y se aumenta en forma muy significativa la inversión pública del sector educación. El término del régimen militar significa un cambio muy importante en la política y esfuerzo del Estado en este sector. El gasto público en educación entre 1990 y 2001 se triplicó, pasando de \$ 611.864 millones a \$ 1.963.765 millones en moneda de igual valor (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Evaluación del Gasto Público en Educación 1990 – 2002 (millones de pesos año 2002).				
AÑO	TOTAL	MINEDUC	MUNICIP.	INVERSIÓN
1990	611.864	570.274	28.485	13.105
1991	673.840	620.586	32.448	20.807
1992	765.567	702.782	42.939	19.847
1993	864.481	785.394	51.138	27.949
1994	950.929	852.444	63.648	34.837
1995	1.054.304	983.654	56.577	14.073
1996	1.197.732	1.115.539	53.676	28.516
1997	1.313.094	1.242.122	65.026	5.946
1998	1.441.679	1.368.569	59.308	13.801
1999	1.569.811	1.489.232	64.850	15.729
2000	1.703.551	1.609.192	66.150	28.209
2001	1.814.795	1.729.872	64.515	20.409
2002	1.963.765	1.874.686	70.301	18.778

Fuente:

- 1) Estadísticas de las Finanzas Públicas 1993-2002. Dir. Presupuesto. Ministerio Hacienda.
- 2) Balances presupuestarios sectoriales. MINEDUC.
- 3) Departamento de inversiones. MINEDUC.

Desde 1996, estas transformaciones reciben el nombre de Reforma Educacional, y se suma un nuevo impulso para el fortalecimiento de la profesión docente: las reformas curriculares de enseñanza básica y media, así como la extensión de la jornada escolar. Recientemente se ha producido un hito al modificarse la Constitución para asegurar 12 años de escolaridad obligatoria y gratuita. El 7 de mayo de 2003, el Presidente de la República, promulgó la Reforma Constitucional que establece la enseñanza media obligatoria y gratuita, entregando al Estado la responsabilidad de garantizar el acceso a este nivel educacional para todos los chilenos hasta el límite de los 21 años de edad. Algunas de esas medidas, en especial las que se refieren a la extensión a 12 años de la escolaridad obligatoria y a la extensión de la jornada escolar, van orientadas a superar la brecha de desigualdad social de alumnos provenientes de familias de bajos ingresos, y de proveer un ambiente adecuado para el estudio. La obligación de cumplir los 12 años de escolaridad será un instrumento importante para permitir a los estudiantes pertenecientes a los quintiles inferiores del estrato social chileno mejorar significativamente su preparación para el mundo laboral y hacer posible que un mayor número de ellos cumpla con los requisitos para ingresar al sistema de educación superior. En efecto, un estudio de MIDEPLAN, informado por *El Mercurio* de Santiago, (Figura 2.1) para el año 2003 indica que mientras 95% de los jóvenes entre 20 y 24 años, pertenecientes al quintil superior de la población ha terminado sus estudios de enseñanza media, solamente el 52,4% perteneciente al primer quintil ha logrado esa meta, siendo el promedio nacional el 75%. Se observa, sin embargo, un importante aumento de los jóvenes que terminan sus estudios de enseñanza media entre los años 1990 y 2003, lo que explica el significativo aumento de las matrículas en la educación superior, experimentada en el mismo período.

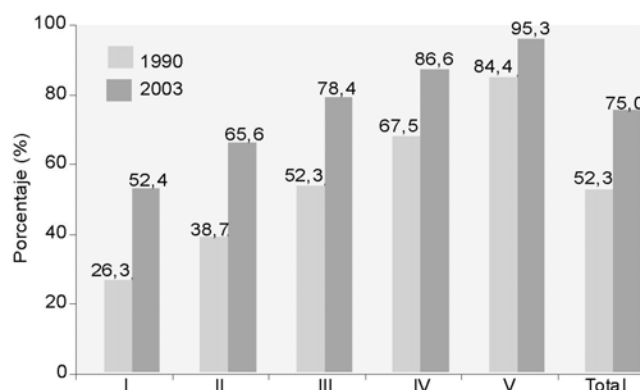


Figura 2.1 Porcentaje de la población entre 20 y 24 años que ha completado la Educación Media.

Fuente: MIDEPLAN (El Mercurio)

El foco de la reorganización pedagógica en la Reforma Educacional es el aprendizaje, considerando que uno de los grandes cambios que se ha producido a nivel mundial en las concepciones de política educacional es trasladar la importancia que tradicionalmente se le ha dado a la enseñanza hacia la importancia del aprendizaje. Sin embargo, resulta evidente que sin enseñanza no hay aprendizaje, por lo que la enseñanza es una condición previa. Así, la Reforma Educacional ha desarrollado políticas orientadas a mejorar los aprendizajes de los estudiantes chilenos, las que pretenden afectar paulatinamente, y en forma global, todas las dimensiones del sistema: las formas de enseñar y aprender, los contenidos de la educación, el tiempo de aprendizaje, la gestión de los servicios educativos, la infraestructura y el equipamiento de escuelas y liceos, como también el mejoramiento paulatino y sostenido de las competencias y condiciones laborales de los docentes. Un elemento muy importante para el mejoramiento del aprendizaje será la extensión de la jornada completa a todas las escuelas públicas y subvencionadas de país, ya que este horario adicional de permanencia de los alumnos en los locales escolares, bien empleado y bien aprovechado, será fundamental para suplir la falta de medios y de un ambiente familiar propicio para el estudio que deben enfrentar los niños y jóvenes provenientes de los hogares más pobres de la población. Lamentablemente, los antecedentes recogidos hasta la fecha acerca del empleo de esta extensión horaria no han sido satisfactorios, porque muchos docentes y directivos lo han entendido como una facilidad para aumentar la entrega de información, más que un valioso medio para mejorar el aprendizaje de los estudiantes. La inquietud que surge entonces es saber cómo debe enfrentar el país la formación de los nuevos docentes y producir el cambio de actitud de aquéllos formados en la vieja tradición de la clase magistral expositiva para cumplir con las metodologías basadas en priorizar el concepto de aprendizaje por sobre el de enseñanza.

Respecto a la educación media, durante los últimos años la política del Ministerio de Educación se ha orientado a mejorar los procesos y los resultados de los liceos. Así, se implementó un conjunto de estrategias desarrolladas por el Programa MECE-Media (Medición de la Equidad y Calidad de la Educación Media), para mejorar la calidad de la educación en los liceos del país y el aprendizaje de los jóvenes.

En octubre de 2004 se promulga el Decreto con Toma de Razón N° 593, que modifica el Decreto Supremo de Educación N° 220 de 1998, que aprueba los Objetivos Fundamentales y Contenidos Mínimos Obligatorios para la Enseñanza Media, y plantea un cambio sustancial en los estilos de resolver pedagógicamente el carácter propio de la enseñanza de la Ciencia.

La equidad y la calidad son el gran objetivo de la Reforma Educacional, de manera de otorgar una educación nacional homogénea, con una educación que se hace cargo de las diferencias y que discrimina a favor de los grupos más vulnerables. El instrumento de evaluación de la educación en los últimos años ha sido la prueba SIMCE (Sistema de Medición de la Calidad de la Educación).

Sin embargo, a pesar de las loables iniciativas mencionadas, los resultados son poco alentadores. A medida que mejora la situación económica de las familias chilenas, aumenta el número de estudiantes que se pasan del sistema escolar municipal gratuito al sistema privado subvencionado y al pagado, lo cual indica la falta de confianza en el sistema de educación pública gratuita. En 2000 solo 54% de los alumnos de enseñanza prebásica, básica y media del país estaban en el sistema de enseñanza municipal (Tabla 2.2) y este porcentaje siguió bajando a 52% en 2002, mientras que en 1981 el sistema de educación fiscal atendía al 78% del total de los alumnos.

Tabla 2.2. Distribución de los estudiantes de Enseñanza Básica y Media en el sistema de educación del país el año 2000.

Nivel Educativo	Total	%	Municip.	%	Particular Subven.	%	Corp.	%	Particular Pagado	%
Prebásica	277.361	8,0	132.677	7,1	97.102	8,0	—	—	47.582	15,2
Básica	2.355.594	68,2	1.331.207	71,3	839.586	68,8	240	0,4	184.561	59,0
Media	822.946	23,8	402.839	21,6	284.498	23,3	55.025	99,6	80.584	25,8
Total	3.455.901	100,0	1.866.723	100,0	1.221.186	100,0	55.265	100,0	312.727	100,0
%	100,0		54,0 %		35,3 %		1,6 %		9,1%	

Corp.: Corporaciones. Fuente: Centro de Estudios Nacionales y Desarrollo Alternativo (Colegio de Profesores), año 2000.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba SIMCE de 2004, aplicada a los 8° años básicos, es inquietante el panorama que vive la educación municipalizada por los escasos avances en calidad, pese a la triplicación del presupuesto público en educación y a una reforma educacional de más de 10 años. Los puntajes promedios obtenidos en 2004 no difieren significativamente de los observados en 2000, a excepción de un moderado, pero significativo, mejoramiento en la prueba de comprensión y estudio de la naturaleza (Tabla 2.3). Los puntajes muestran que la calidad de la enseñanza nacional, especialmente la pública municipalizada, están en el orden de los 240 puntos, muy por debajo de las escuelas particulares subvencionadas (260 puntos) y de las particulares pagadas que están sobre los 300 puntos, superando en varios casos el nivel de los 340 puntos.

Tabla 2.3. Promedios nacionales y diferencias de puntaje entre el SIMCE 2004 y 2000.

SUBSECTOR	PROM 2004	PROM 2000	DIF
Lenguaje y comunicación	251	250	●+1
Educación matemática	253	250	●+3
Estudio y comprensión de la sociedad	251	250	●+1
Estudio y comprensión de la naturaleza	256	250	▲+6

Nota : En el año 2000 se asignó el valor 250 al promedio nacional.

PROM : Promedio de resultados de todos los alumnos evaluados en el país.

DIF : Variación del promedio nacional, en relación al resultado obtenido en 2000.

● : Indica que no hubo una diferencia significativa en el puntaje.

▲ : Indica una variación significativa.

Fuente : MINEDUC

Tabla 2.4. Promedios según grupo socioeconómico, diferencias de puntaje entre SIMCE 2004 y 2000 y puntajes mínimos y máximos.

Grupo Socioeconómico	Lenguaje y Comunicación				Educación Matemática				Estudio y Comprensión de la Sociedad				Estudio y Comprensión de la Naturaleza			
	PROM	DIF	MÍN	MÁX	PROM	DIF	MÍN	MÁX	PROM	DIF	MÍN	MÁX	PROM	DIF	MÍN	MÁX
Bajo	229	●+1	162	293	232	●+2	176	360	231	●+3	161	352	237	●+4	180	312
Medio bajo	234	●+1	146	322	235	●+3	163	333	234	●+1	185	337	239	●+5	178	352
Medio	253	●+4	180	315	253	●+5	185	332	253	●+4	198	323	256	▲+8	172	332
Medio alto	280	●+4	161	339	282	●+5	170	353	279	●+4	207	333	285	▲+12	178	355
Alto	301	●+4	173	342	311	▲+9	165	362	296	●0	201	329	311	▲+14	165	355
Promedio nacional	251	+1			253	+3			251	+1			256	+6		

PROM : Promedio de los resultados de los establecimientos.

DIF : Diferencia entre el puntaje promedio SIMCE 2004 y SIMCE 2000.

MÍN : Puntaje promedio mínimo obtenido por un establecimiento.

MÁX : Puntaje promedio máximo obtenido por un establecimiento.

● : Indica que no hubo una diferencia significativa en el puntaje.

▲ : Indica una diferencia significativa.

Fuente: MINEDUC

Los puntajes por grupo socio económico muestran diferencias muy significativas entre los dos primeros quintiles y los tres restantes (Tabla 2.4).

Tabla 2.5. Resultados Regionales y diferencias de puntaje entre el SIMCE 2004 y 2000.

Alumnos			Lenguaje y Comunicación		Educación Matemática		Estudio y Comprensión de la Sociedad		Estudio y Comprensión de la Naturaleza	
	N	%	PROM	DIF	PROM	DIF	PROM	DIF	PROM	DIF
I Tarapacá	7896	3	245	●-5	249	●0	244	▼-7	251	●+3
II Antofagasta	9233	3	249	●-1	253	●+3	246	●-3	255	▲+6
III Atacama	5113	2	248	●-3	251	●0	246	●-2	253	●+3
IV Coquimbo	11834	4	250	●+1	250	●+2	251	●+3	255	●+5
V Valparaíso	28259	10	252	●-1	252	●0	252	●-1	257	●+5
VI Libertador General Bernardo O'Higgins	14875	5	250	●0	252	●+2	253	●+4	256	●+4
VII Maule	17718	6	248	●+1	252	●+3	251	●+5	254	▲+6
VIII Bio-Bío	36095	13	250	●+1	252	●+2	251	●+3	255	▲+6
IX La Araucanía	17610	6	244	●+5	244	●+7	244	●+5	250	▲+8
X Los Lagos	20499	7	250	●+3	249	●+3	249	●+2	254	●+5
XI Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	1810	1	254	●-6	257	●-2	252	●-7	260	●-1
XII Magallanes y de la Antártica Chilena	2499	1	256	●+3	255	●+2	249	●-2	258	▲+8
XIII Región Metropolitana	109055	39	255	●+3	257	●+5	253	●0	259	▲+8
Promedio Nacional	282496	100	251	+1	253	+3	251	+1	256	+6

PROM: Puntaje promedio de los alumnos. DIF: Diferencia entre el puntaje promedio SIMCE 2004 y SIMCE 2000.

▲ Indica un aumento significativo de puntaje.

● Indica que no hubo variación significativa de puntaje.

▼ Indica una disminución significativa de puntaje.

REF: MINEDUC.

Tampoco se observa equidad (Tabla 2.5) en cuanto a la calidad de la enseñanza a lo largo del país. Considerando los datos de la prueba SIMCE-2004, la Región Metropolitana presenta resultados superiores al promedio nacional; y aunque la IX región aumentó en promedio entre 5 y 8 puntos por prueba respecto al año 2000, esta zona sigue presentando los promedios más bajos del país, situación que se explicaría por los niveles de pobreza que existen en la Araucanía.

Las mediciones efectuadas por el SIMCE tanto en Matemáticas como en Ciencias Naturales, muestran resultados promedios mediocres. En la Tabla 2.5 se observa que en ninguna región del país hubo cambios significativos en matemáticas entre la prueba del año 2004 y 2000, mientras que hubo un mejoramiento significativo en seis regiones en el estudio y comprensión de la naturaleza. Otro hecho importante es la constatación de una tendencia según la cual los índices de rendimientos obtenidos en ciencias son más bajos a medida que los niveles escolares son más altos (considerando SIMCE 4° y 8° básico y 2° medio). (Estadística SIMCE página web MINEDUC).

La deficiente formación en Matemática y Ciencias de nuestros alumnos de Enseñanza Básica y Media ha quedado de manifiesto también en el fracaso en pruebas que intentan medir comprensión y capacidad para aplicar los conocimientos adquiridos. El año 2004 el Ministerio de Educación entregó los resultados del Estudio Internacional de Tendencias en Matemática y Ciencias, conocido por su sigla en inglés TIMSS, el cual se realizó a fines de 2002 en 49 países de los cinco continentes (Tablas 2.6 y 2.7).

Tabla 2.6. Prueba TIMSS 20 primeros lugares.

Prueba TIMSS - Matemáticas - 2003			Prueba TIMSS - Ciencias - 2003		
Promedio Estudiantes de 8° básico			Promedio Estudiantes de 8° básico		
	País	Promedio		País	Promedio
	Promedio Internacional	466		Promedio Internacional	473
1	Singapur	605	1	Singapur	578
2	República de Corea	589	2	China Taipei	571
3	Hong Kong SAR	586	3	República de Corea	558
4	China Taiwan	585	4	Hong Kong SAR	556
5	Japón	570	5	Estonia	552
6	Bélgica	537	6	Japón	552
7	Holanda	536	7	Hungría	543
8	Estonia	531	8	Holanda	536
9	Hungría	529	9	Estados Unidos	527
10	Malasia	508	10	Australia	527
11	Letonia	508	11	Suecia	524
12	Federación Rusa	508	12	Eslovenia	520
13	República Eslovaca	508	13	Nueva Zelanda	520
14	Australia	505	14	Lituania	519
15	Estados Unidos	504	15	República Eslovaca	517
16	Lituania	502	16	Bélgica	516
17	Suecia	499	17	Federación Rusa	514
18	Escocia	498	18	Lituania	512
19	Israel	496	19	Escocia	512
20	Nueva Zelanda	494	20	Malasia	510

Fuente: NCES National Center for Educational Statistics International Comparisons in Education (<http://nces.ed.gov/timss>)

Las naciones mejor evaluadas en esta prueba (Singapur, Corea, China Taiwan, Hong Kong y Japón), obtuvieron puntajes entre 530 y 600 en ambas pruebas (Tabla 2.6). En la anterior medición realizada en 1999, nuestro país había obtenido el lugar 36 dentro de un total de 41 países. Chile fue el único país latinoamericano que participó en el examen.

Nuestro país participó en el examen con 6.377 estudiantes de octavo básico de todo tipo de establecimientos, quedando ubicado en el lugar 39 en Matemáticas y 37 en Ciencias (Tabla 2.7) entre los 49 países examinados. Esto significa que nuestra enseñanza de Matemática y Ciencias se encuentra entre los últimos lugares a nivel internacional. Con un promedio de 387 puntos en la prueba que mide los elementos de matemática que manejan los alumnos, nuestro país quedó muy por debajo de los 466 puntos que marca el promedio internacional. En el examen de ciencias Chile obtuvo un promedio de 413 puntos frente a los 473 puntos promedio a nivel internacional.

Tabla 2.7. Prueba TIMSS 25 últimos lugares.

Prueba TIMSS - Matemáticas - 2003 Promedio Estudiantes de 8° básico		
	País	Promedio
	Promedio Internacional	466
21	Eslovenia	493
22	Italia	484
23	Armenia	478
24	Serbia	477
25	Bulgaria	476
26	Rumania	475
27	Noruega	461
28	República de Moldavia	460
29	Chipre	459
30	República de Macedonia	435
31	Líbano	433
32	Jordania	424
33	República Islámica de Irán	411
34	Indonesia	411
35	Túnez	410
36	Egipto	406
37	Bahrein	401
38	Autoridad Autónoma Palestina	390
39	Chile	387
40	Marruecos	387
41	Filipinas	378
42	Botswana	366
43	Arabia Saudita	332
44	Ghana	276
45	Sudáfrica	264

Prueba TIMSS - Ciencias - 2003 Promedio Estudiantes de 8° básico		
	País	Promedio
	Promedio Internacional	473
21	Noruega	494
22	Italia	491
23	Israel	488
24	Bulgaria	479
25	Jordania	475
26	República de Moldavia	472
27	Rumania	470
28	Serbia	468
29	Armenia	461
30	República Islámica de Irán	453
31	República de Macedonia	449
32	Chipre	441
33	Bahrein	438
34	Autoridad Autónoma Palestina	435
35	Egipto	421
36	Indonesia	420
37	Chile	413
38	Túnez	404
39	Arabia Saudita	398
40	Marruecos	396
41	Líbano	393
42	Filipinas	377
43	Botswana	365
44	Ghana	255
45	Sudáfrica	244

Fuente: NCES National Center for Educational Statistics International Comparisons in Education (<http://nces.ed.gov/timss>)

Si a pesar de todas las medidas tomadas, orientadas a mejorar la calidad de la educación, los resultados son poco auspiciosos, nos debemos preguntar cuáles son las causas que impiden que

nuestro sistema educacional logre alcanzar el nivel de calidad que otros países han alcanzado, sin que las diferencias radiquen necesariamente en los niveles de inversión dedicados a este objetivo.

Últimamente se ha planteado que una de las causas fundamentales del bajo rendimiento promedio detectado en las pruebas SIMCE se debe a razones de origen socio familiar de los alumnos, ya que se constata una fuerte brecha de origen social en los puntajes de esta prueba.

Esta realidad no puede ser atribuida a una menor capacidad de aprendizaje de los alumnos provenientes de los sectores más pobres de la población, sino a las diferencias en los montos de inversión por alumno en el sistema escolar chileno, a las carencias de lenguaje y a la ausencia de un medio familiar que facilite su aprendizaje. Estos factores limitantes sólo se pueden superar con un buen proyecto educativo y un real aprovechamiento del horario de la jornada escolar completa durante el cual los estudiantes deberían realizar aquellas tareas que tradicionalmente se asignan para el estudio personal en casa.

A los factores descritos se agrega la observación, avalada por estudios, de alta inflación en las calificaciones de los alumnos. Actualmente es raro que un estudiante repruebe un ramo; más raro aún que repita un curso. Los alumnos están muy contentos, también los padres, porque no hay fracasos y no se generan reclamos. Hay un aspecto fundamental, rara vez mencionado en los debates sobre nuestra educación, que se refiere a la fuerte caída en los niveles de exigencia, tanto de parte de los alumnos, de los profesores y directivos, e incluso de los padres y apoderados. Aumentar los niveles de exigencia a nivel de todos los actores de la educación es imperativo si deseamos mejorar la calidad. Esto no implica grandes costos ni inversiones, pero requiere un cambio de mentalidad. Lamentablemente la modalidad más común de evaluar a los alumnos es un ordenamiento de mejor a peor, pero sin establecer un “piso” mínimo de conocimientos o rendimiento que deban acreditarse para poder ser promovidos de curso. Establecer este nivel mínimo para las promociones de curso, vinculándolo con el rendimiento de las pruebas SIMCE, sería una medida útil.

Tabla 2.8. Tasas de aprobación, reprobación y abandono de niños y jóvenes por nivel de enseñanza según período. Años 1990-2002.						
Año	BÁSICA			MEDIA		
	Tasa de aprobación	Tasa de reprobación	Tasa de abandono	Tasa de aprobación	Tasa de reprobación	Tasa de abandono
	%	%	%	%	%	%
1990	89,9	7,8	2,3	80,3	12,4	7,4
1994	91,2	6,9	1,9	80,7	12,3	7,1
1998	95,0	3,5	1,5	87,1	7,9	5,0
2000	95,7	2,9	1,4	89,4	6,5	4,1
2001	95,9	2,8	1,3	90,1	5,9	3,9
2002	95,7	3,0	1,3	89,8	6,4	4,0

Fuente: Dpto. Estudios y Desarrollo. División de Planificación y Presupuesto. Ministerio de Educación

Otro aspecto preocupante de nuestro sistema educacional preuniversitario es el excesivo uso de pruebas de alternativas o selección múltiple. Se entiende que esto se ha generalizado como resultado de la necesidad de evaluar grupos cada vez más numerosos de alumnos. Este exceso, sin embargo, atenta contra la necesidad de desarrollar la expresión oral y escrita, una de las grandes deficiencias que muestran los estudiantes a su ingreso a las universidades

Entre las deficiencias existentes en la formación científica de los estudiantes de la enseñanza básica y media está la carencia de laboratorios en los colegios, que permitan, al menos, hacer demostraciones básicas de las principales leyes y fenómenos de la naturaleza. En la Región Metropolitana, las visitas programadas y planificadas por profesores de ciencias a los museos de Ciencia y Tecnología e Interactivo Mirador, son un apoyo para paliar esta deficiencia.

El museo de Ciencia y Tecnología, ubicado en la Quinta Normal, es regentado por la Corporación Privada para la Ciencia y la Tecnología y fue fundado en 1985. En este museo los estudiantes pueden realizar diversos experimentos y asistir a demostraciones relacionadas con diversos temas de la física y la astronomía. El año 2003 recibió la visita de cerca de 1.000 grupos de escolares de diversos establecimientos educacionales del gran Santiago.

El Museo Interactivo Mirador busca acercar las ciencias, artes y tecnologías a niños, jóvenes y adultos. Para cumplir su objetivo, el museo cuenta con más de 300 exhibiciones -en constante renovación- repartidas en 14 salas temáticas. En cada sala existen guías y monitores dispuestos a apoyar el recorrido libre del visitante. Está ubicado en la comuna de La Granja y depende de la Fundación Tiempos Nuevos. Durante 2003 el museo recibió gratuitamente a 107.050 estudiantes y 11.731 profesores.

Hay que reconocer que la cobertura educacional en el país ha aumentado en forma significativa. Como se indica en la Figura 2.1, actualmente alrededor de 75% de los alumnos completan la educación media, mientras que a mediados de los años 90 sólo la mitad de ellos lo hacía. Pero, esa masificación de la educación ha significado también una masificación del profesorado. Han aumentado las escuelas de formación docente y el costo ha sido la calidad en la formación. Para enseñar es fundamental el dominio de las materias que se deben enseñar y para la enseñanza de las ciencias la aplicación del método científico es el fundamento de su calidad. El profesor enseña de la misma manera como él aprendió y si su formación en las disciplinas científicas ha sido fundamentalmente teórica en centros de educación superior carentes de una tradición de investigación científica, su docencia será meramente teórica y carente de los elementos formativos que la ciencia permite entregar.

El interés por la observación de los fenómenos naturales, la capacidad de formular hipótesis explicativas de los fenómenos observados, el diseño y la ejecución de protocolos experimentales para confirmar o descartar las hipótesis formuladas, deben ser estimulados en los niños desde los primeros años de enseñanza. Para que esto sea una realidad, los docentes deben tener claro que las ciencias constituyen una poderosa herramienta para el desarrollo de las potencialidades creativas de los niños. Pero el éxito sólo se alcanzará si el profesor logra encantarlos con un claro dominio de sus contenidos y una rigurosa preparación de cada una de las actividades que realiza. Lamentablemente, en el sistema escolar chileno, en especial en el liceo, la formación científica del alumno ha girado tradicionalmente en torno de una enseñanza desagregada o disciplinaria del saber científico, una instrucción enciclopedista, un aprendizaje memorístico de conocimientos atomizados, datos fragmentarios e informaciones puntuales, con una comprensión de la ciencia descontextualizada del mundo cotidiano y de las necesidades de la vida social. Los programas no incluyen ciertos desarrollos del saber científico que constituyen el soporte de aplicaciones tecnológicas de gran impacto en la vida moderna, tales como el lenguaje binario y lógica de sistema (computadoras y calculadoras) química de polímeros (fibras sintéticas), física del estado sólido (transistores, chips, circuitos integrados), etc.

Por otra parte, los resultados de la investigación educacional y de las pruebas nacionales (Pruebas Específicas del Sistema de Ingreso Universitario [PAA y PSU]) destinadas a evaluar logros del aprendizaje en este tipo de materias son muy pobres. En los jóvenes se observan déficits

notables en la adquisición de los conocimientos que esa misma enseñanza tiene programados. Además, se observan problemas en el razonamiento abstracto, en las habilidades intelectuales y operacionales para la resolución de problemas, en el desarrollo de las capacidades formales para deducir, analizar, extrapolar e integrar. Resulta, por lo tanto, imperativo reformular los métodos de enseñanza de las ciencias que se emplean actualmente por parte de los profesores de ciencias y aumentar las iniciativas extraescolares que permitan remediar las deficiencias mencionadas. En los últimos años han surgido numerosas iniciativas, tanto de universidades como de instituciones públicas, con este objetivo.

Un ejemplo es el programa EXPLORA. La Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, CONICYT, lo creó en 1995, asignándole como objetivo central la Divulgación y Valoración de la Ciencia y la Tecnología (CyT). EXPLORA es una iniciativa nacional y permanente que contribuye a generar una actitud innovadora y participativa de la población, en particular niños y jóvenes, frente a los avances científicos y tecnológicos. En el ámbito del financiamiento, EXPLORA tiene fondos concursables destinados a instituciones a través de concursos de Proyectos de Divulgación y Valoración de la Ciencia y Tecnología (DVCT) y Realización de Eventos orientados a lo mismo. También tiene fondos concursables orientados a los profesores para apoyo a la realización de eventos DVCT donde los protagonistas son los niños y jóvenes en edad escolar. En este tipo de proyectos se financian ferias, congresos, talleres, campamentos y la creación de academias científicas en establecimientos educacionales. También hay otros concursos orientados sólo a estudiantes tales como el Congreso Nacional Científico Escolar, concurso de fotografía “Imágenes de la Ciencia” y concurso “Una Actividad para Explorar”, entre otros. En conjunto con el Metro de Santiago, EXPLORA organiza constantemente exposiciones, por ejemplo, en el año mundial de la Física (2005) se presenta la exposición “Quantos” en la Estación Quinta Normal del Metro de Santiago. Actualmente, está en curso la Tercera Campaña de Valoración de la Ciencia y la Tecnología patrocinada por EXPLORA y el Metro de Santiago, en que se presentan 22 piezas de divulgación de CyT a lo largo de las estaciones de metro de Santiago que estimulan a la reflexión, la sorpresa y la curiosidad. Estas piezas de divulgación han sido preparadas por científicos pertenecientes a universidades chilenas, y los dibujos respectivos, que son la base visual de la campaña, provienen del IX Concurso Nacional de Gráfica EXPLORA 2003 y fueron creados por escolares chilenos.

Un segundo ejemplo destacado es el programa de Educación en Ciencias basada en la Indagación (ECBI) para alumnos de la enseñanza básica, iniciativa conjunta de la Academia Chilena de Ciencias, el Ministerio de Educación y las universidades de Chile, Concepción y Playa Ancha. El financiamiento del programa es aportado por la Fundación Andes y por el Ministerio de Educación y su objetivo fundamental es *“generar en los niños, a través de la metodología de la indagación, la capacidad de explicarse el mundo que los rodea utilizando procedimientos propios de la ciencia. Esto les permitirá utilizar la ciencia como una herramienta para la vida y para aprender por sí mismos”*. El programa se está aplicando en 24 escuelas de la Región Metropolitana en las comunas de Cerro Navia, Pudahuel y Lo Prado, en 20 escuelas de la V Región y en 20 escuelas de la VIII Región, con una cobertura total a 25.000 niños. La aplicación de esta metodología de enseñanza requiere la articulación de un programa de desarrollo profesional permanente del profesorado, la formación de educadores líderes que se preocupen de su difusión y la participación de un equipo en el cual se involucren todos los agentes de una comunidad escolar.

Un tercer ejemplo que merece ser mencionado como una iniciativa orientada a mejorar los niveles de enseñanza y de compromiso de nuestra juventud con el aprendizaje de la ciencia es el programa PENTA UC, de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Este programa está orientado a niños con talentos académicos de los sectores populares del área sur de Santiago que cursan entre 6° año básico y 4° medio. Estos alumnos presentan habilidades superiores a las de sus compañeros y

gran motivación para aprender, a ellos la universidad abre sus aulas y laboratorios para entregarles una formación de enriquecimiento extra curricular compatible con la escolaridad regular durante 300 horas presenciales más 60 horas durante las vacaciones de verano. Este programa para alumnos talentosos se complementa con un programa de diplomado para profesores y profesionales de la educación en general, con el cual se prepara a este personal en el análisis de la situación de los alumnos talentosos de una institución escolar y en la generación de propuestas que permitan enfrentar sus demandas educativas y la estimulación de sus potencialidades.

Esos ejemplos de acciones orientadas a mejorar la calidad de nuestra educación básica y media y otras que puedan existir o surgir de parte del sector público y también privado, significan un aporte remedial limitado al logro de este objetivo. A nuestro entender, la solución al problema de la calidad de nuestra educación sólo se logrará con profundos cambios en la concepción de los programas conducentes a la formación universitaria del profesorado y al logro de una conciencia nacional de la trascendencia de la misión que cumplen estos profesionales para que el país pueda competir en un mundo globalizado, en el cual el conocimiento en general y la ciencia y la tecnología en particular, constituyen herramientas fundamentales de supervivencia. Es urgente para el país que las Instituciones de Educación Superior, responsables de la formación de profesores modernicen sus proyectos y programas de formación de profesores para hacerlos compatibles con las exigencias establecidas en los objetivos y contenidos mínimos de la última reforma educacional, impulsada por el Supremo Gobierno de la Nación. También el mundo político debe asumir urgentemente el compromiso de la dignificación económica y social de los profesionales de la educación.

2. Formación de profesores en Ciencias en Chile

El siglo 21 demanda enseñanza de las ciencias para todos. Los informes: “Política Internacional de la UNESCO, International Council for Science (UNESCO-ICSU), International Bureau of Education (Poisson 2000)” y la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura, plantean la necesidad de alfabetización científica y tecnológica, comprensión pública de la ciencia y ciencia para todas las personas, a fin de que todos estén preparados para participar como ciudadanos responsables de la sociedad. Esto implica que la enseñanza de la Ciencia debe ser accesible, interesante, significativa y relevante. Como consecuencia, los profesores de Ciencias deben formarse en base a la esencia del fenómeno de interacción, o sea, enseñar para la comprensión de la naturaleza de la Ciencia, hacer que el proceso de enseñanza-aprendizaje conduzca al desarrollo de ideas científicas y a innovaciones tecnológicas.

En el informe de la OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) sobre la Educación en Chile se identifican debilidades que conspiran contra el mejoramiento de la calidad de la educación. Una de ellas es la Formación de Profesores. A esta conclusión se llega después de un análisis de la realidad nacional y ya no es posible soslayar el problema: nuestro sistema nacional de formación de profesores tiene graves falencias. El gran reto de la educación chilena es elevar la formación docente. La OCDE y sus expertos han concluido que si bien Chile es líder latinoamericano en la reforma educacional, subsiste una “brecha de capacidad” con los países desarrollados.

2.1. Desempeño de los profesores en ciencia

Desde hace algunos años han quedado en evidencia las serias deficiencias que padece la enseñanza de las Ciencias y Matemáticas a nivel de Educación Básica y Media, lo cual atenta contra un adecuado desempeño universitario de los alumnos que posteriormente eligen alguna carrera científica.

Consciente de este problema, el MINEDUC ha implementado varios sistemas a fin de mejorar la calidad de la enseñanza. Con fecha 9 de agosto de 2004 fue promulgada la Ley de Evaluación del Desempeño Docente (Ley N° 19.961) la que reemplaza el sistema de calificaciones y establece un sistema de evaluación para los docentes de aula de carácter formativo, a realizarse cada cuatro años, y cuyo resultado final se expresará en alguno de los siguientes cuatro niveles de desempeño: destacado, competente, básico e insatisfactorio. De esta manera, Chile se sitúa ahora entre los primeros países con un sistema de evaluación de profesores, acordado entre el MINEDUC y la Asociación Chilena de Municipios, y aprobado por plebiscito democrático por los profesores. Esta ley va a permitir detectar las materias que deben reforzarse; que el profesor se autoevalúe y así pueda irse perfeccionando también cada 4 años; que los mejores transmitan su experiencia a sus pares; que los dos primeros niveles -destacado y competente- puedan obtener un aumento de remuneraciones del 25% y del 15% respectivamente; que los niveles insatisfactorios se evalúen al año siguiente y que, a la tercera clasificación insatisfactoria, el profesor deba abandonar el aula (Tabla 2.9).

Tabla 2.9. Perspectivas para profesores según evaluación.	
Niveles de desempeño	Perspectivas para el año 2005 de los docentes evaluados el 2004.
Destacado	Pueden optar a percibir la Asignación Variable por Desempeño Individual (25%) Reevaluación cada 4 años.
Competente	Pueden optar a percibir la Asignación Variable por Desempeño Individual (15%) Reevaluación cada 4 años.
Básico	Dispondrán de Planes de Superación Profesional a nivel comunal Reevaluación al año siguiente.
Insatisfactorio	Dispondrán de Planes de Superación Profesional a nivel comunal Reevaluación al año siguiente. De continuar en nivel insatisfactorio no podrán hacer docencia en aula.

Fuente: MINEDUC

En Chile, de acuerdo a información del MINEDUC, hay alrededor de 144.377 docentes en ejercicio; de éstos, alrededor de 54% trabajan sólo en establecimientos municipales, el 39% sólo en establecimientos particulares y 7% en ambos tipos de establecimientos. El Ministro de Educación, Sr. Sergio Bitar, pese a que tuvo que enfrentar un boicot de los profesores al proceso de evaluación, logró que en 2003 se sometieran a la medición 3.707 docentes y que en 2004 otros 1.719 también lo hicieran, con lo cual ya son más de cinco mil los docentes evaluados desde que se iniciara la implementación de esta evaluación docente en el año 2003; hay que señalar, sin embargo, que en ambos casos se trató de una convocatoria voluntaria. Todo ello cambia este año, ya que se incorporarán a esta evaluación todas las comunas del país y se estima que 18.000 profesores deberán entrar en el proceso en forma obligatoria, de acuerdo a la normativa legal, los cuales son apenas 22,5% del universo de 80 mil profesores municipalizados en todo el país. En esta oportunidad se establecen sanciones para los docentes que, debiendo someterse a evaluación, no lo hagan, por lo que cabe esperar que la totalidad de ellos participe.

El fondo de la discusión no está en la sola obligatoriedad establecida por ley. Existe una clara conciencia de las falencias de la enseñanza municipalizada, pese a los importantes recursos que el país ha invertido en ella. Nuevos planes y programas, capacitación de profesores, equipamientos computacionales y tecnológicos, nuevos libros y material de apoyo, mejoramiento y ampliación de la infraestructura, además de la Jornada Escolar Completa son algunos de los aspectos que explican

estas inversiones. Pero el proceso educativo tiene un eje fundamental: el profesor. Sin docentes capacitados, comprometidos y con vocación no es posible alcanzar los objetivos educativos. La evaluación de los profesores busca precisamente estimular a los académicos para que mejoren su rendimiento en el aula, y los docentes peor evaluados dispondrán, a nivel comunal, de Planes de Superación Profesional. Ello debe incentivar a los profesores a prepararse para participar en el proceso evaluativo y tomar conciencia que lo que está en juego es mejorar la educación de los niños y jóvenes para construir un Chile mejor.

Como se mencionó anteriormente, el año 2003 se sometieron voluntariamente a la evaluación docente 3.707 profesores de 1° a 8° básico, en tanto el año 2004 sólo lo hicieron 1.719. La evaluación en ambos procesos fue bastante consistente (Tabla 2.10). Alrededor de un 10% de los profesores demostró un desempeño destacado, es decir un desempeño que supera ampliamente al de la mayoría de sus colegas; entre 53 y 57% calificaron como competentes, mientras que entre 30 y 34% quedaron en nivel básico. Ambas evaluaciones evidenciaron que en 3 - 4% de los docentes el desempeño fue evaluado como insatisfactorio, lo cual indica un desempeño que presenta claras debilidades en el indicador evaluado, afectando significativamente el quehacer docente.

Tabla 2.10. Evaluación docente 2003 y 2004.						
Niveles de desempeño	Docentes evaluados en 2003 (Voluntarios)			Docentes evaluados en 2004 (Voluntarios)		
	Nº	%	TOTAL	Nº	%	TOTAL
Destacado	349	9,4	2.448	176	10,2	1.080
Competente	2.099	56,6		904	52,6	
Básico	1.119	30,2	1.259	587	34,1	639
Insatisfactorio	140	3,8		52	3,1	
TOTAL	3.707	100,0	3.707	1.719	100,0	1.719

Fuente: MINEDUC

Si consideramos que la educación municipal recibe a niños que pertenecen al segmento socioeconómico de menores recursos de la población, con niños que muchas veces presentan problemas de aprendizaje, es preocupante el 3% de docentes con desempeño insatisfactorio, ya que da cuenta de un porcentaje importante de niños que siguen siendo educados por profesores que no tienen capacidad para ejercer dicha labor, lo cual constituye un factor de inequidad del sistema.

En la evaluación docente de 2004, el área peor evaluada corresponde a los profesores de Ciencias de la Naturaleza, subsistema en el que más de 60% de los docentes mostró un rendimiento insatisfactorio o básico, siendo además el único subsistema en el cual no hubo docentes destacados (Fig. 2.2).

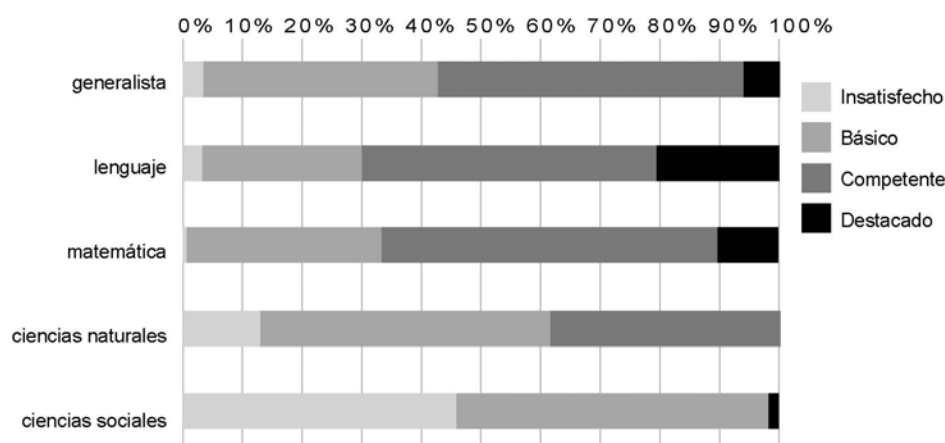


Figura 2.2. Evaluación docente 2002 según subsistema

Fuente: Mineduc

2.2. Aumento de las remuneraciones a los docentes

El salario de los profesores es un tema controvertido en Chile. El Colegio de Profesores sostiene que los salarios de los docentes son extremadamente bajos y no se condicen con la labor de formación de las nuevas generaciones que éstos realizan. La situación de los profesores al final del gobierno militar era difícil ya que, a comienzos de los años 80, no sólo habían experimentado un cambio de empleador, al pasar del Ministerio de Educación a los municipios, sino que habían tenido una reducción importante de sus remuneraciones y condiciones laborales. Por lo tanto, existían demandas legítimas de mejorar sus condiciones laborales. En la década de los 90 se definieron algunas líneas centrales, decidiéndose que permanecieran "municipalizados", pero se dictó un Estatuto Docente (1991), que les aseguraba estabilidad laboral y una carrera funcionaria; establecía un sistema de remuneraciones, basado fundamentalmente en la antigüedad y no en el rendimiento. Desde esa fecha se ha tratado de mejorar gradualmente las remuneraciones de los profesores, observándose que, para una jornada de 44 horas, la remuneración promedio del profesorado del sector municipal pasó, en cifras de pesos de 2002, de \$ 264.670 en 1990 a \$ 677.624 en 2002, representando un incremento real del 2,56 veces (Tabla 2.11). En tanto, en igual período, la remuneración mínima, que es la remuneración de ingreso al sistema aumentó 2,75 veces para el sector municipal y 5,35 veces para el sector particular subvencionado.

Tabla 2.11. Remuneración docente jornada de 44 horas. Promedio mensual años 1990- 2002 (pesos del año 2002).			
Año	Sector municipal		Sector particular subvencionado
	Promedio	Mínimo	Mínimo
1990	264.670	146.351	75.271
1994	423.744	241.128	215.663
1999	604.103	373.540	373.539
2002	677.624	401.087	401.087

Fuente: Departamento Estudios y Estadísticas, División de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Educación de Chile. Diciembre, 2003.

La Ley N° 19.933, promulgada en febrero de 2004, se refiere al incremento de las remuneraciones docentes, al perfeccionamiento de las normas laborales y trata del incentivo variable para los profesionales de la educación.

La percepción de bajas rentas relativas es preocupante porque afecta directamente la calidad de los estudiantes que ingresan a la carrera de pedagogía. A igualdad de posibilidades de ingreso, los estudiantes con mejores antecedentes preferirán otras carreras. Sin embargo, a partir de 1997, se observa un quiebre de tendencia, con un aumento del número de matriculados en las carreras de pedagogía y un mejoramiento de sus puntajes promedio de ingreso (Tabla 2.12); esto podría ser explicado, en parte, por la amplia publicidad que le ha dado el MINEDUC a la reforma educacional, los mejores salarios docentes, y por la política de becas implementada por el MINEDUC para los estudiantes destacados que ingresen a pedagogías; 1.143 alumnos se han visto favorecidos con este tipo de beca entre los años 1998 y 2004.

Tabla 2.12. Puntaje promedio de selección a las Carreras de Pedagogías.		
Proceso de Admisión	Puntaje Promedio	Variación
1998	536,50	—
2000	590,93	10,1%
2001	604,80	2,3%
2002	616,65	2,0%
2003	624,29	1,2%

Fuente: MINEDUC, 2004.

Los argumentos a favor de aumentar los salarios de los profesores sostienen que los bajos salarios, además de desalentar el ingreso de buenos estudiantes a la carrera de pedagogía, afectan negativamente la motivación por enseñar y provocan el abandono de la profesión por parte de los buenos docentes. Por lo tanto, un aumento en los salarios, al contrarrestar los efectos anteriores, mejoraría la calidad de la enseñanza.

2.3. Apoyo y actualización de los profesores

Cualquier tipo de evaluación de los alumnos de nivel básico y medio constituye una evaluación al proceso docente y deja en claro los vacíos que existen en la formación de los profesores. Sin embargo, toda evaluación docente debe ser un instrumento que permita innovar para que los profesores mejoren su desempeño, estimulen y promuevan la excelencia en el aula.

El Ministerio de Educación ha propuesto una serie de iniciativas y programas para apoyar una adecuada formación de los docentes y estimularlos a una actualización permanente en la disciplina que enseñan. Entre ellos destacan la acreditación obligatoria de las pedagogías; la eliminación de las carreras sin PSU; la construcción de nuevos estándares de enseñanza de sectores y subsectores del currículo y el inicio del programa MECESUP para la formación de profesores con especialización.

A través del Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas (CPEIP), el Ministerio de Educación, consciente que la mayoría de los profesores que ejercen en el segundo ciclo básico tienen una formación inicial de carácter generalista, la cual resulta insuficiente respecto de las demandas que plantea el currículo de este nivel, durante este año 2005 ha impulsado

la creación de un Programa de Mención para profesores de Segundo Ciclo Básico. Este programa ofrece un curso de postítulo con carácter de mención a profesores que tengan título de Profesor de Educación Básica, con un mínimo de dos años de experiencia profesional, que se desempeñen actualmente en un establecimiento municipal o particular subvencionado y que estén ejerciendo docencia en el Segundo Ciclo Básico en los subsectores Educación Matemática o Estudio y Comprensión de la Naturaleza. Estos cursos de postítulo enfatizan el fortalecimiento de conocimientos disciplinarios y pedagógicos, de modo de favorecer en los profesores un mayor dominio, confianza y seguridad en los contenidos disciplinarios y en estrategias pedagógicas, en la perspectiva de lograr mayores aprendizajes de todos los alumnos. Los profesores pueden acceder a estos Postítulos de Mención, mediante la aprobación de un curso de 875 horas pedagógicas, desarrollado a lo largo de 14 meses. Estos cursos han sido especialmente diseñados por universidades de acuerdo a términos de referencia planteados por el Ministerio de Educación y el CPEIP. A otros docentes en ejercicio, se les apoyará para que puedan acceder a los postítulos en Matemática, Lenguajes y Comunicación, Ciencia y Ciencias Sociales que 15 universidades nacionales entregarán durante 2005. Como ejemplo señalamos que este año, declarado el Año Internacional de la Física, el CPEIP ha convocado a los profesores del subsector Estudio y Comprensión de la Naturaleza de 5° a 8° básico, o de Física entre 1° y 4° medio, a participar en un curso virtual organizado por Profísica y el Centro de Informática Educativa de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y patrocinado por la Fundación Andes y por el Ministerio de Educación. El curso para profesores de Educación Básica tendrá una duración de 250 horas pedagógicas y el curso para profesores de Educación Media tendrá una duración de 200 horas pedagógicas. Ambos cursos se realizarán en un período de 4 meses consecutivos. Desde 1996 el CPEIP también ha puesto en marcha un Programa de Perfeccionamiento Docente en el extranjero, con una duración de 4 semanas, el cual contribuye a la actualización curricular, didáctica y pedagógica de los docentes favorecidos. Se ha invitado a universidades extranjeras a presentar propuestas para los subsectores Lenguaje y Comunicación, Educación Matemática, Estudio y Comprensión de la Sociedad y Estudio y Comprensión de la Naturaleza. Desde el inicio de este programa se ha beneficiado a un total de 5.883 profesores. Sin embargo, a pesar del tiempo transcurrido, el Ministerio de Educación sólo tiene evaluaciones parciales del programa y no cuenta con algún indicador objetivo que demuestre un impacto positivo en el aula y en los rendimientos de los alumnos cuyos maestros vivieron la experiencia de estudiar algunas semanas en el extranjero.

2.4. Formación académica de los profesores en la disciplina

Otros dos aspectos que contribuyen en forma significativa a las falencias de nuestra educación en Ciencias y Matemáticas se refieren, en primer lugar, a la obsolescencia y baja especialización a nivel de contenidos y de metodologías en las disciplinas científicas que se enseñan en algunas instituciones formadoras de profesores, cuyas causas son fundamentalmente la falta de actividad científica en ellas y a la falta de renovación de su cuadros académicos. En segundo lugar, también incide en forma significativa el muy bajo número de profesores titulados que egresan anualmente del sistema universitario nacional y, por lo tanto, el déficit de docentes en algunas disciplinas. Este año, en el marco de la entrega del reconocimiento a la excelencia pedagógica a 522 docentes del país, el Ministro de Educación, Sr. Sergio Bitar, puso la voz de alerta sobre este punto. De los 160 docentes del 2° ciclo básico, sólo 12,5% enseña la asignatura de Estudio y Comprensión de la Naturaleza, en tanto que 28,8 % enseña Educación Matemática. Respecto a la enseñanza de Biología y Matemática en la Educación Media, la situación no es mejor, ya que de 201 docentes, sólo 11,9% enseña Biología y 19,9% enseña Matemática.

La carencia de profesores en áreas científicas parece ser el resultado de una crisis estructural en la formación de docentes. Analizando la formación actual de profesores de Ciencias y Matemática en Chile observamos que 19 Universidades del Consejo de Rectores (73%) forman

profesores en Matemática, Biología, Química y Física, aunque sólo algunas de ellas cubren las 4 áreas. A lo largo del país se ofrecen 20 pedagogías con mención en Matemática, en Biología se ofrecen 18, en Química 14 y en Física 12. Es importante señalar que algunas universidades ofrecen hasta 4 pedagogías en alguna de estas menciones. Además, algunas universidades ofrecen menciones combinadas, como Biología-Química y Matemática-Física. Por otra parte, la oferta se concentra claramente en el centro del país. Por ejemplo, la mención en Química se ofrece solo en 3 universidades de la zona norte y en 4 de la zona sur y asociada a la Pedagogía en Ciencias Naturales, estando las 7 restantes en la zona central. Para la mención en Física la situación es más dramática, ya que es ofrecida sólo por 2 universidades del norte, asociada a la mención en Matemáticas, y por 3 universidades de sur, como mención de la Pedagogía en Ciencias Naturales.

Tabla 2.13a. Formación de Profesores en Biología.										
UES*	Carrera	N° de asignaturas							Duración (semestres)	Requisitos de Titulación
		Biología	Ciencias	Matemática	Prácticas	Educación	Generales	Totales		
A	Pedagogía Cs. Naturales y Biol.	16	9	4	0	11	9	49	9	Práctica de especialización Práctica Prof. Jefe Sem.
B	Pedagogía Biol. y Cs. Naturales	21	6	3	4	13	7	54	10	Práctica final Memoria o Sem. Título
C	Pedagogía Biol. y Cs. Naturales	20	3	1	6	20	8	58	9	Práctica Profesional

* UES: universidades; ver texto p. 44.

Tabla 2.13b. Formación de Profesores en Química.										
UES*	Carrera	N° de asignaturas							Duración (sem.)	Requisitos de Titulación
		Química	Ciencias	Matemática	Prácticas	Educación	Generales	Totales		
A	Pedagogía Cs Naturales y Química	16	9	4	0	11	9	49	9	Práctica de especialización Práctica de profesores jefes Seminario
B	Pedagogía Biol y Cs Naturales	18	7	2	4	16	7	54	10	Práctica final Memoria o Sem. de Título
C	Pedagogía Biol y Cs Naturales	20	3	1	6	20	8	58	9	Práctica Profesional

* UES: universidades; ver texto p. 44.

Tabla 2.13c. Formación de Profesores en Matemática.									
UES*	Carrera	N° de asignaturas						Duración (sem.)	Requisitos de Titulación
		Matemática	Ciencias	Prácticas	Educación	Generales	Totales		
A	Pedagogía Matem. y Educación Tecnológica	28	0	0	11	7	46	9	Práctica de especialización Práctica Prof. Jefe Sem.
A	Pedagogía Matem. y Computación	20	2	0	12	13	47	10	Práctica Prof. Jefe Práctica Prof. de Matem. Seminario
B	Pedagogía Matem. y Computación	22	0	4	16	9	49	10	Práctica final Memoria o Seminario Título
B	Pedagogía Matem. e Informática Educativa	28	0	1	14	3	46	10	Práctica Profesional Memoria o Seminario Título Examen final.
C	Pedagogía Matem. y Computación	18	0	6	19	12	55	9	Práctica Profesional

* UES: universidades; ver texto p. 44.

Tabla 2.13d. Formación de Profesores en Física.										
UES*	Carrera	N° de asignaturas							Duración (semestres)	Requisitos de Titulación
		Física	Ciencias	Matemática	Prácticas	Educación	Generales	Totales		
A	Pedagogía Cs Naturales, c/mención Física	18	10	6	0	9	6	49	9	Práctica de la Especialidad Práctica de Profesor Jefe Seminario
B	Pedagogía Física y Ciencias Naturales	10	3	4	4	11	13	45	10	Práctica final Memoria o Seminario Título Examen de Titulación
C	Pedagogía Matemáticas y Física.	13	0	9	6	22	8	58	9	Práctica Profesional Final

* UES: universidades; ver texto p. 44.

En las Tablas 2.13 a,b,c,d se han tomado como ejemplo tres universidades del Consejo de Rectores en las cuales se entregan títulos de profesor en las 4 menciones científicas básicas: Biología, Matemáticas, Química y Física. Éstas están clasificadas según la actividad científica que desarrollan, cuyo producto considerado fueron las publicaciones ISI en las cuatro disciplinas de ciencias básicas.

- Universidad A, con buena productividad científica
- Universidad B, con mediana productividad científica
- Universidad C, con escasa productividad científica

Para cada universidad se registra el nombre de la carrera, el número de asignaturas impartidas, número de prácticas pedagógicas, duración de los estudios y los requisitos de titulación. Estos antecedentes fueron obtenidos del informe del Proyecto FONDEF D021 1090: "Estándares para la formación en Ciencias de Profesores de Enseñanza Media", en las áreas de Biología, Física, Matemática y Química en cuyo estudio participó la Academia Chilena de Ciencias.

Analizando las tablas anteriores, observamos que en las tres universidades las carreras de pedagogía tienen una duración similar; sin embargo, la universidad C presenta un número total significativamente mayor de asignaturas y la explicación surge del hecho que esta universidad, que tiene una baja productividad científica, entrega a sus alumnos un número mayor de asignaturas pedagógicas que las otras dos universidades analizadas.

Respecto a las asignaturas de las respectivas especializaciones, se evidencian algunas diferencias entre las tres universidades. En la Pedagogía de Biología y Ciencias Naturales, la especialización en Biología es bastante pareja ya que se obtiene con 33-38% de asignaturas de Biología (Tabla 2.13a). En la universidad A, en la cual las actividades de investigación científica son relevantes, se imparte un porcentaje mayor de asignaturas de Biología (32%), porcentaje que aumenta a 59% si se consideran todas las asignaturas científicas, mientras las asignaturas pedagógicas son sólo el 22%. En la universidad C el porcentaje de asignaturas de Biología es igual al de asignaturas pedagógicas (34%). Algo similar ocurre con la especialización en Química, la cual se obtiene con 33-34% de asignaturas de Química (Tabla 2.13b). Respecto a la Pedagogía en Matemáticas (Tabla 2.13c), en las universidades A y B se dan dos tipos de pedagogía en Matemáticas, con diferentes énfasis en las asignaturas de la especialización (42-60%) aunque con un porcentaje similar de asignaturas pedagógicas (universidad A = 24-26% y universidad B = 30-33%); en la universidad C la especialización se obtiene con sólo 33% de asignaturas de matemáticas y 35% de asignaturas pedagógicas. Sin embargo, es en la especialización en Física (Tabla 2.13d) donde se observa la mayor diferencia en la especialización entre las tres universidades: la universidad A la ofrece como mención en la Pedagogía de Ciencias Naturales con 37% de asignaturas de Física, en cambio la universidad B ofrece una Pedagogía en Física y Ciencias Naturales con sólo 22% de asignaturas de Física, y la universidad C ofrece una Pedagogía combinada Matemáticas y Física, con 22% de asignaturas de Física y 16% de asignaturas en Matemáticas. La universidad A, con una productividad científica alta, entrega a estos alumnos un total de 69% de asignaturas científicas y 18% de asignaturas pedagógicas. La universidad C, ofrece un total de 38% de asignaturas de Física y Matemáticas y un número similar de asignaturas pedagógicas (38%).

Las universidades con una alta producción científica tienen mayores posibilidades de entregar una mejor formación científica a sus alumnos en relación a la formación netamente pedagógica. En cambio las universidades con baja actividad científica dan mayor énfasis a la formación pedagógica de sus alumnos.

También existe una significativa diferencia respecto a los requisitos de titulación; mientras en la universidad C sólo se exige una Práctica Profesional Final, en las universidades A y B, además de la Práctica Profesional, se exige la realización de una Memoria o Seminario de Título o Proyecto Educativo.

Estos ejemplos nos permiten comprobar que no existe regulación acerca de la formación que se entrega en las diferentes universidades respecto a contenidos y metodología empleados en la formación disciplinaria y también pedagógica. El problema se origina, a nuestro entender, en la falta de comunicación entre los formadores disciplinarios y los formadores pedagógicos, la que en la mayoría de los casos llega a una franca disputa por los espacios horarios para llenar los contenidos curriculares de la carrera. Resulta fundamental que la formación de los profesores en las disciplinas científicas que deberán enseñar involucre un número de cierta relevancia de investigadores en el área respectiva, a fin de que los futuros profesores aprendan y vivan lo que significa estar atentos a los permanentes avances de la Ciencia, y tomen conciencia que el conocimiento científico pierde vigencia con rapidez, por lo que es importante mantenerse permanentemente actualizados.

Por todo lo anteriormente expuesto, es urgente que el país se plantee cómo reformular los procesos de formación de los actuales y futuros educadores en Ciencias y la forma de enseñar las ciencias en nuestra educación Básica y Media. Algunos interesantes aportes en este sentido se observan en los Institutos Milenio, uno de cuyos objetivos es proyectar su quehacer hacia la comunidad, a través de la realización de cursos para profesores de ciencias de Enseñanza Media los cuales han tenido una excelente acogida.

Considerando la escasa especialización en el área de Ciencias para profesores de Educación Básica, resulta particularmente valioso el papel que juegan algunas Universidades que ofrecen especialización disciplinaria a los alumnos de Pedagogía en Educación Básica en las áreas de Matemáticas, Educación Tecnológica, y Estudio y Comprensión de la Naturaleza. Ésta es una iniciativa interesante, ya que permitiría que el alumno desde su Enseñanza Básica esté expuesto a profesores que, junto a su formación pedagógica, han recibido una sólida formación disciplinaria.

Otra iniciativa que surge como respuesta a la necesidad de formar profesionales de calidad para que ejerzan su labor en establecimientos de Educación Media es la formación pedagógica que ofrecen algunas universidades, como la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad Mayor, a licenciados en su respectiva especialidad o profesionales titulados de carreras de Educación Superior con un mínimo de ocho semestres, afines con las asignaturas que se imparten en la Educación Media, a los cuales, durante 2 ó 3 semestres, se les ofrece una preparación centrada y focalizada en la pedagogía.

Referencias:

[http://biblioteca.mineduc.cl/documento/PROMULGACIÓN LEY EVALUACIÓN DOCENTE final\).doc](http://biblioteca.mineduc.cl/documento/PROMULGACIÓN LEY EVALUACIÓN DOCENTE final).doc)

[carta Ministro Bitar].

www.mineduc.cl

www.simce.cl

Revisión de Políticas de Educación en Chile. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2004, París.

3. Licenciaturas en ciencias en las universidades del Consejo de Rectores

El capítulo en el cual se analiza la realidad de las licenciaturas en Ciencias en la publicación “*Análisis y proyecciones de las Ciencias Chilenas*” hecha el año 1993 por la Academia Chilena de Ciencias, se afirma que la definición de licenciatura que hace la ley “*permite una gran diversidad*

de denominaciones y menciones y, además, permite que una misma denominación o mención pueda ser otorgada con planes de estudio muy diferentes”. Esto ha determinado una gran proliferación en la nomenclatura que se asigna a las licenciaturas que otorgan las universidades chilenas, con una gran variedad de contenidos curriculares, los que se cumplen entre 4 y 6 años de estudio. La ley es muy específica, sin embargo, para establecer que la licenciatura es requisito para la obtención de ciertos títulos profesionales y para postular a un programa de posgrado, sea este de magíster o de doctorado. Para la formación a nivel de doctorado en ciencias, requisito indispensable en la actualidad para iniciar una carrera como investigador en una de las universidades en las cuales existen actividades de investigación o en un centro de investigación del Estado, es fundamental obtener previamente una licenciatura en una de las disciplinas científicas básicas o profesionales. Sólo las universidades con capacidad científica comprobada pueden garantizar una formación adecuada para enfrentar un programa de doctorado de nivel competitivo internacional. Si se analiza la situación de los programas de las licenciaturas que imparten las universidades chilenas, se constata que su desarrollo ha ido evolucionando en forma paralela con el desarrollo de sus actividades científicas.

La mayoría de las licenciaturas en ciencias de las universidades chilenas tiene alguna oferta de salida profesional adicional, como una forma de abrir caminos ocupacionales diferentes al de investigador, que los obligaría a continuar con un programa de posgrado. Esas ofertas profesionales, la mayoría de las veces de muy escaso atractivo, por no ser parte de las profesiones consolidadas a nivel social, tienen un plan de estudio de un año adicional a los cuatro años exigidos por la ley para la licenciatura académica, pero hay licenciaturas cuyo objetivo principal es la certificación de un currículo básico y profesional del plan de estudio de las profesiones más tradicionales. Para los efectos del presente estudio hemos considerado el primer grupo de las licenciaturas dejando fuera aquéllas cuyo objetivo es cumplir exclusivamente con el requisito legal previo al título profesional, a excepción de algunos programas que, a pesar de tener como objetivo la formación profesional, aportan también alumnos a los programas de doctorado. Para referirnos a ambos tipos de licenciaturas, las científicas y las excepciones mencionadas, usaremos el nombre genérico de *"Licenciaturas en Ciencias"* entendiendo que las denominaciones específicas varían mucho en cada institución y dentro de cada disciplina.

Existen 61 programas de licenciatura en ciencias en el país, los que son ofrecidos por 16 universidades tradicionales o derivadas pertenecientes al Consejo de Rectores y que se distribuyen nacionalmente como sigue (Tabla 2.14).

Tabla 2.14. Número de programas de Licenciaturas en Ciencias ofrecidos por universidades del Consejo de Rectores, por Región.														
Regiones	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	RM	TOT
Nº Programas	2	7	0	3	11	0	0	12	1	3	0	2	20	61
% Programas	3,3	11,5	0,0	4,9	18,0	0,0	0,0	19,7	1,6	4,9	0,0	3,3	32,8	100,0

Fuente: Sitios web de las respectivas Universidades.

Tabla 2.15. Admisión 2004 a los principales programas de Licenciatura en Ciencias en algunas universidades del Consejo de Rectores.

Licenciatura en Biología					Licenciatura en Biología Marina				
Universidad	Vac. Of.	Vac. Ocup.	Punt. Mín.	Matr. Total	Universidad	Vac. Of.	Vac. Ocup.	Punt. Mín.	Matr. Total
PUCCh	80	89	629	298	U. Austral	45	41	540	235
U. de Chile (FC)	30	31	628	97	U. Concepción	65	59	502	242
PUCV	30	45	611	188	TOTAL	110	100	—	477
U. Austral	50	48	513	188					
U. Concepción	75	95	507	279					
TOTAL	265	308	—	1.050					

Licenciatura en Bioquímica					Licenciatura en Química				
Universidad	Vac. Of.	Vac. Ocup.	Punt. Mín.	Matr. Total	Universidad	Vac. Of.	Vac. Ocup.	Punt. Mín.	Matr. Total
PUCCh	30	29	700	181	PUCCh	35	43	635	159
U. Chile	30	31	695	229	U. Chile (FCQF)	30	25	625	96
USACH	30	31	654	241	U. Chile (FCFM)	100	100	641	770
PUCV	40	54	619	272	U. Chile (FC)	30	30	630	168
U. Concepción	45	55	604	239	USACH	30	27	596	151
U. Austral	40	43	585	247	PUCV	20	28	571	57
TOTAL	215	243	—	1.409	U. Concepción	35	40	556	153
					U. Austral	—	—	—	—
					TOTAL	280	293	—	1.454

Licenciatura en Física					Licenciatura en Matemáticas				
Universidad	Vac. Of.	Vac. Ocup.	Punt. Mín.	Matr. Total	Universidad	Vac. Of.	Vac. Ocup.	Punt. Mín.	Matr. Total
PUCCh	20	22	686	98	PUCCh	60	64	654	266
U. Chile (FCFM)	25	24	661	79	U. Chile (FC)	25	25	656	68
U. Chile (FC)	nd	nd	nd	33	USACH	—	—	—	—
USACH	—	—	—	—	PUCV	—	—	—	—
PUCV	—	—	—	—	U. Concepción	30	34	533	83
U. Concepción	100	91	500	139	U. Austral	—	—	—	—
U. Austral	—	—	—	—	TOTAL	115	123	—	417
TOTAL	145	137	—	349					

Vac. Of. : Vacantes ofrecidas
 Vac. Ocup. : Vacantes ocupadas
 Punt. Mín. : Puntaje mínimo PSU
 Matr. Total : Matrícula total
 FC : Facultad de Ciencias
 FCQF : Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas
 FCFM : Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Fuente: Sitios Web de las respectivas Universidades.

Obsérvese que en casi un tercio de las regiones del país (Regiones III, VI, VII y XI), no se ofrecen programas de licenciaturas en ciencias. Por otra parte, las cuatro ciudades más grandes del

país ofrecen 82% de los programas. En cada universidad estos programas dependen de Facultades de Ciencias, de Biología, de Química, de Física o de Matemáticas, de Ciencias del Mar, de Recursos Naturales de Ciencias de la Tierra y otras combinaciones de las anteriores y, en algunas instituciones en que no hay Facultades de Ciencias, pueden depender de departamentos o institutos disciplinarios. A éstas hay que agregar las licenciaturas profesionales, como Medicina, Ingeniería, Agronomía, Química y Farmacia, Veterinaria, etc. Es conveniente observar que las licenciaturas en ciencias han experimentado profundos cambios, particularmente en los últimos años. Una demostración del cambio de sus objetivos formativos fue la eliminación de la exigencia de una memoria o tesis para obtener el grado, o de mantenerse ésta como requisito, es más bien concebida como una experiencia de laboratorio de un semestre de duración, más que un trabajo de tesis propiamente tal. En las universidades de mayor trayectoria en investigación científica, originalmente se trataba de programas formadores de científicos, con un ingreso muy limitado de alumnos al primer año, habitualmente de cinco o más años de duración, los que culminaban en una tesis y estaban orientados a formar directamente investigadores, sin la obligación de obtener posteriormente un posgrado. Actualmente se piensa más en programas de cuatro años de duración, con un ingreso más masivo, orientados a dar una formación inicial en ciencias que permita a sus graduados proseguir otros estudios, no necesariamente la carrera de investigador, dejando ésta para la etapa posterior de posgrado. A pesar de la mayor apertura del ingreso, como se observa para la admisión 2004 en seis disciplinas de Ciencias Básicas (Tabla 2.15) su matrícula total es relativamente pequeña, lo que supone una elevada deserción. Sin embargo, el significativo aumento de las matrículas de ingreso ha permitido aumentar el semillero de donde se seleccionan los mejores postulantes para los programas de posgrado.

3.1. Licenciaturas y la formación de científicos

Al enfrentar el desafío de un análisis de las realidades curriculares de los programas de licenciatura, hemos podido constatar que la información pública que entregan las universidades acerca de sus planes de estudio es muy incompleta y no permite hacer un análisis comparativo de contenidos y sus calidades. Por otro lado, los intentos para obtener información directa a través del Consejo de Decanos que agrupa las 36 Facultades de Ciencias de las universidades del Consejo de Rectores, tampoco tuvo éxito, porque las respuestas fueron muy pocas. Un estudio más amplio y profundo del tema requeriría un trabajo de investigación de larga duración, lo que no se pudo hacer en esta oportunidad. Se ha considerado, por lo tanto, que podía ser un buen indicador, para evaluar la eficiencia y calidad de los programas de Licenciatura en Ciencias y en algunas de las profesiones de mayor carácter científico, conocer de cuales universidades provienen los estudiantes que ingresaron a un programa de doctorado. Para ello se recurrió a la información que proporcionó CONICYT acerca de los alumnos que obtuvieron una beca de doctorado, teniendo como antecedente el nombre de la universidad que había otorgado el grado de licenciado. Reconocemos limitaciones importantes a esta fuente de información. Una de ellas se refiere a que el número de becados CONICYT representa sólo un pequeño porcentaje del total de los alumnos que ingresan anualmente a un programa de doctorado. También reconocemos que la lista obtenida de CONICYT es incompleta porque no todos los becados que figuran en la lista acompañan el nombre de la licenciatura obtenida y la universidad que la otorgó. A pesar de esas limitaciones, obtuvimos una muestra de 859 personas con la información completa requerida, de un total de 1.608 becarios en la muy amplia área de ciencias naturales, ingeniería, medicina y agronomía. Consideramos que esta muestra, que representa el 54% del total de becarios de las áreas mencionadas en el período 1988-2004, es significativa y que proporciona, por lo tanto, una imagen cercana a la realidad. En la Figura 2.3 se indican los nombres de las instituciones universitarias que han formado, a nivel de licenciatura, a los 859 becados CONICYT de la muestra y el porcentaje que corresponde a cada universidad en particular.

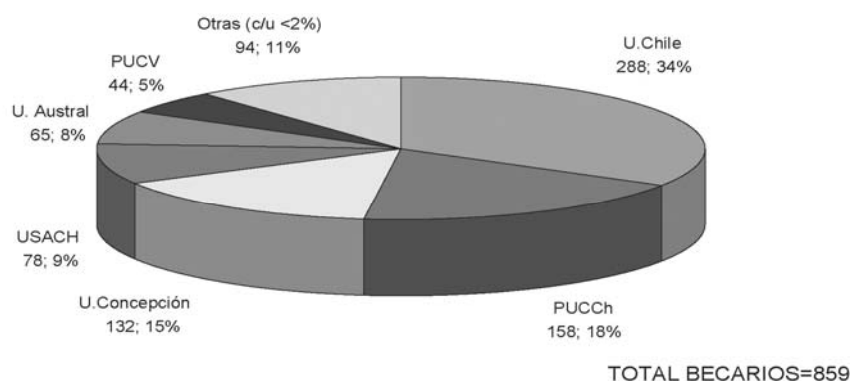


Figura 2.3. Universidades de origen de Becarios CONICYT.
Período 1988-2004.

En la Tabla 2.16 se representa el reducido número de universidades (6) que aportan el mayor número de postulantes, de la muestra analizada, a 17 programas de doctorado nacionales. En la Tabla 2.17 están representadas las 15 licenciaturas, siete básicas, incluyendo Bioquímica, Geología y Biología Marina y no más de ocho profesionales, de los 61 programas que otorgan licenciaturas en las 25 universidades del Consejo de Rectores, y que han aportado alumnos, de esta muestra, a estos 17 programas de doctorado. Esos programas de licenciatura comparten, como característica común, contar con profesores que son investigadores activos y que producen la mayor cantidad de las publicaciones relevantes del país y son ofrecidos en las instituciones que también cuentan con programas de doctorado establecidos.

Tabla 2.16. Universidades que otorgaron la Licenciatura a los becarios CONICYT y que ingresaron a uno de los programas de doctorado que se indican en la Tabla en el período 1988-2004.

Programa Doctorado	Nº Total Becarios	% Total Becarios	U.de Chile	PUCCh	U. de Concepción	USACH	U. Austral	PUCV	Otras
Biología	254	29,6	50	77	51	6	31	6	33
Química	189	22,0	59	22	18	49	1	17	23
Bioquímica	102	11,9	45	7	17	5	16	10	2
Ingeniería	96	11,2	41	14	20	8	-	2	11
Biomédica	67	7,8	41	7	3	3	3	2	8
Física	43	5,0	16	16	3	4	1	1	2
Matemática	26	3,0	11	6	2	2	-	3	2
Biol. Marina	17	2,0	-	-	1	-	9	-	7
Oceanografía	12	1,4	-	-	7	-	1	2	2
Geología	11	1,3	11	-	-	-	-	-	0
Veterinaria	11	1,3	9	-	-	-	2	-	0
Forestal	9	1,0	1	1	2	1	-	-	4
Médicas	7	0,8	1	4	-	-	1	-	1
Estadística	6	0,7	-	4	-	-	-	1	1
Ambiente	4	0,5	-	-	4	-	-	-	0
Nutrición	3	0,3	1	-	2	-	-	-	0
Salud Pública	2	0,2	2	-	-	-	-	-	0
TOTAL	859	100.0	288	158	130	78	65	44	96
%	100	100	33,5	18,4	15,1	9,1	7,6	5,1	11,1

Otras: Universidades con un porcentaje inferior al 2%.

De la información contenida en la Tabla 2.17 se constata que los licenciados en las disciplinas de Biología y de Química representan el 51,6% de los alumnos de esta muestra, sugiriendo que existe un mayor desarrollo científico en estas áreas, relacionado con la presencia de una mayor masa crítica de investigadores en las universidades que desarrollan estas disciplinas. En las especialidades de Biología, un 30,3% de los becados CONICYT de la muestra han obtenido su licenciatura en la Pontificia Universidad Católica de Chile, un 20% en la Universidad de Concepción, un 19,7% en la Universidad de Chile y un 12,5% en la Universidad Austral de Chile. En las especialidades de Química un 31,2% se ha licenciado en la Universidad de Chile, un 25,9% en la Universidad de Santiago de Chile y un 11,6% en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Como conclusión podemos afirmar que la gran mayoría de los 859 becados CONICYT de la muestra, que han ingresado a un programa de doctorado en Chile en el período indicado en la Tabla 2.17, han obtenido su formación de pre-grado en seis universidades del Consejo de Rectores, y 67% del total en sólo tres de ellas, la Universidad de Chile, la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad de Concepción. Es importante considerar también que no todas las universidades mencionadas en la Tabla ofrecen el doctorado correspondiente a las licenciaturas que imparten. Esta realidad determina también muchas veces la elección que realizan los licenciados a un determinado programa de doctorado.

Tabla 2.17. Universidad que otorgó la Licenciatura a los alumnos de la muestra de 859 becarios de doctorado CONICYT, período 1988-2004.									
Carrera de Origen	U. Chile	PUCCh	U. Concepción	USACH	U. Austral de Chile	PUCV	Otras	Total	%
LIC. EN CIENCIAS CON O SIN TÍTULO PROFESIONAL									
Lic. Biología, Lic. Cs. Biológicas, Biólogo	44	54	17	0	7	1	18	141	16
Lic. Bioquímica, Bioquímica	67	32	46	17	40	16	3	221	26
Lic. Biología Marina, Biólogo Marino	1	0	11	0	12	0	13	37	4
Lic. Ciencias/M. Geología, Geología	12	0	0	0	0	0	0	12	1
Lic. Qca. Lic. Cs./M Qca, Qco, Qco. Industr	45	17	19	49	0	16	15	161	19
Lic. Cs./M Matemáticas, Lic. Matemáticas	11	7	3	2	0	3	1	27	3
Lic. Cs. Física, Lic. Física	15	15	3	4	1	1	2	41	5
Sub-Total	195	125	99	72	60	37	52	640	75
CARRERAS PROFESIONALES									
Ingenierías con especialidades	41	11	22	4	1	2	17	98	11
Lic. Med., Médico Cirujano	11	6	0	0	0	1	2	20	2
Lic. Med. Vet., Médico Veterinario	13	0	0	0	2	0	0	15	2
Lic. Qca. y Fcia., Químico Farmacéutico	9	4	1	0	0	0	1	15	2
Profesor Biología, Química, Matemáticas	4	10	7	2	1	1	14	39	5
Tecnólogo Médico	7	1	1	0	1	0	3	13	2
Otros (Bachiller, Master, Oceanógrafo, Qco. Lab., Enfermería)	8	1	2	0	0	3	5	19	2
Sub-Total	93	33	33	6	5	7	42	219	25
TOTAL	288	158	132	78	65	44	94	859	100

Otras: Universidades con una cantidad de licenciados de la muestra inferior al 5%.

La Tabla 2.17 nos indica también que algunas disciplinas se imparten en muy pocas universidades. Un ejemplo es la Licenciatura en Ciencias con mención en Geología, Medio Ambiente o Nutrición.

3.2. Planes de estudio de las licenciaturas

a) Licenciaturas en Ciencias Básicas

Si bien los programas de estudio dentro de cada disciplina se parecen entre sí y son coherentes con los objetivos de cada institución, se observan entre ellos marcadas diferencias. Las cifras de las Tablas 2.18 y 2.19 indican que existen grandes diferencias en la cantidad de cursos en que se reparten los contenidos disciplinarios de las licenciaturas que se imparten en las seis universidades que aportan el mayor número de licenciados a los programas de doctorado. Las diferencias, en parte, se deben a que algunas tienen acoplado un plan de estudio adicional, conducente a un título profesional, lo que implica, a lo menos, un año más de estudios y, en algunos casos, una memoria final. Es el caso, por ejemplo, de las licenciaturas en Bioquímica que tienen acoplado el título profesional de Bioquímico, cuyo plan de estudios se distribuye entre 10 semestres en las Universidades Austral y USACH; 11 semestres en las Universidades de Concepción y Pontificia Universidad Católica de Chile y 12 semestres en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile. En el caso de la Licenciatura en Biología, las de la PUCCh, y de la Universidad de Concepción se acompañan del título profesional de Biólogo. Para la Licenciatura en Química en la PUCCh, USACH y en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile de 10 a 12 semestres de duración, tienen asociado el título de Químico o Químico Industrial. Solamente 10 de las 31 licenciaturas en Ciencias Básicas que otorgan las seis universidades contempladas en la Tabla 2.18 tienen la duración de los ocho semestres que contempla la ley como requisito para otorgar el grado académico.

Tabla 2.18. Número de cursos totales y número de semestres para las carreras de Licenciatura en Ciencias para una muestra de 6 universidades del Consejo de Rectores										
UNIVERSIDAD	Lic. Biología		Lic. Química		Lic. Matemáticas		Lic. Física		Lic. Bioquímica	
	Cursos	Sem.	Cursos	Sem.	Cursos	Sem.	Cursos	Sem.	Cursos	Sem.
U. Chile (FCQF)	—	—	66	12	—	—	—	—	57	12
U. Chile (FCFM)	—	—	35	8	—	—	33	8	—	—
U. Chile (FC)	28	8	27	8	23	8	28	8	—	—
U. Concepción	43	10	41	9	32	8	47	12	43	11
PUCV	24	9	27	9	—	—	—	—	35	11
PUCCh	46	10	50	10	37	10	36	9	68	11
USACH	—	—	45	10	—	—	—	—	44	10
U. Austral	33	8	—	—	—	—	—	—	48	10

Nota : Las licenciaturas con más de 8 semestres pueden incluir una tesis o memoria para optar al título profesional.

Sem. : Semestres.

(—) : La universidad no ofrece la licenciatura en esa mención.

FCQF: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas; FCFM: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas; FC: Facultad de Ciencias.

Fuente : Sitio Web de las respectivas Universidades.

Tabla 2.19. Contenidos en ciencia básica de Licenciaturas en Ciencias para una muestra de 6 universidades del Consejo de Rectores.

UNIVERSIDADES	LICENCIATURAS EN CS.	MATEMÁTICA	%	FÍSICA	%	BIOLOGÍA	%	QUÍMICA	%	BIOQUÍMICA	%	RAMOS CIENCIA BÁSICA	%	RAMOS TOTALES
U. Chile (FCQF)	Lic. Química - Química	6	9	3	5	0	0	48	73	1	2	58	88	66
U. Chile (FCFM)	Lic. Cs Men. Química	7	20	8	23	0	0	15	43	0	0	30	86	35
U. Chile (FC)	Lic. Cs Men. Química	4	15	3	11	0	0	17	63	1	4	25	93	27
U. Chile (FC)	Lic. Cs Men. Física	7	25	20	71	0	0	0	0	0	0	27	96	28
U. Chile (FCFM)	Lic. Cs Men. Física	7	21	21	64	0	0	1	3	0	0	29	88	33
U. Chile (FC)	Lic. Cs Men. Biología	4	14	2	7	14	50	6	21	1	4	27	96	28
U. Chile (FCQF)	Lic. Bioquímica-Bioq.	4	7	2	4	12	21	18	32	12	21	48	84	57
U. Chile (FC)	Lic. Cs Men. Matemáticas	19	83	2	9	0	0	0	0	0	0	21	91	23
U. Concepción	Lic. Biología Marina	2	4	2	4	32	70	3	7	1	2	40	87	46
U. Concepción	Lic. Biología	2	5	2	5	29	67	3	7	1	2	37	86	43
U. Concepción	Lic. Bioquímica	3	7	2	5	3	7	10	23	19	44	37	86	43
U. Concepción	Lic. Física	7	15	40	85	0	0	0	0	0	0	47	100	47
U. Concepción	Lic. Astronomía	7	15	40	85	0	0	0	0	0	0	47	100	47
U. Concepción	Lic. Matemáticas	24	75	2	6	0	0	0	0	0	0	26	81	32
U. Concepción	Lic. Química-Químico	3	7	2	5	0	0	31	76	1	2	37	90	41
PUCV	Lic. Biología	1	4	1	4	20	83	2	8	0	0	24	100	24
PUCV	Lic. Bioquímica	3	9	2	6	2	6	11	31	17	49	35	100	35
PUCV	Lic. Química -Quím Ind	3	11	3	11	0	0	19	70	0	0	25	93	27
PUCCh	Lic. Matem. y Estd.	31	84	1	3	0	0	0	0	0	0	32	86	37
PUCCh	Lic. Biología.-Biólogo	2	4	1	2	28	61	5	11	2	4	38	83	46
PUCCh	Lic. Física	6	17	21	58	0	0	0	0	0	0	27	75	36
PUCCh	Lic. Química-Químico	3	7	2	4	0	0	28	62	1	2	34	76	45
PUCCh	Lic. Química-Químico	3	6	2	4	0	0	33	66	1	2	39	78	50
PUCCh	Lic. Bioquímica	4	6	1	1	4	6	10	15	41	60	60	88	68
PUCCh	Lic. Astronomía	6	16	21	55	0	0	0	0	0	0	27	71	38
USACH	Lic. Bioquímica	2	5	2	5	6	14	10	23	18	41	38	86	44
USACH	Lic. Química	3	7	2	4	0	0	25	56	1	2	31	69	45
U.Austral	Lic. Biología Marina	3	5	3	5	36	64	4	7	2	4	48	86	56
U.Austral	Lic. Bioquímica	3	6	3	6	3	6	11	23	19	40	39	81	48
U.Austral	Lic. Cs. Biológicas	2	6	1	3	18	55	2	6	2	6	25	76	33

FCQF : Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas
FCFM : Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
FC : Facultad de Ciencias
Fuente : Sitio web de las respectivas Universidades

Las cifras de la Tabla 2.19 nos plantean una incógnita acerca de la amplitud y profundidad en la formación que reciben los licenciados en Ciencias. Los porcentajes entre ramos de formación científica y ramos totales nos muestran una diferencia significativa de enfoque en el proceso educativo en las diferentes universidades. Mientras en algunas licenciaturas la formación de la especialidad que se entrega a través de las disciplinas científicas ocupa 69% del currículo, en otras ocupa el 100%, con lo cual no se deja espacio alguno para disciplinas humanistas, las ciencias sociales o las artes, que conducen a la formación integral de la persona. Los cursos de formación general suelen estar destinados a que el alumno adquiera conocimientos y valores para que, además de formarse como científicos competentes, adquieran una visión del mundo y del conjunto del saber que proporcione las bases para enfrentar adecuadamente los cambios impuestos por la globalización del mundo moderno. Al igual que en el proceso de formación de los profesores de Educación Media, se observa que en la formación de licenciados en Ciencias no existen estándares de referencia que garanticen una cierta similitud en la formación que reciben. Es imperativo entonces que la acreditación de las carreras universitarias no se limite a evaluar la formación para un correcto ejercicio de las profesiones tradicionales, sino también la calidad de la formación básica de aquellos que serán los científicos del Chile de mañana. A la fecha, sólo las Licenciaturas en Bioquímica, que tienen asociado el título profesional de Bioquímico, se han sometido voluntariamente al proceso de acreditación de la Comisión Nacional de Acreditación de Pregrado (CNAP).

b) Contenido en ciencia básica en carreras profesionales.

No fue posible elaborar una tabla que identifique las asignaturas científicas que forman parte de la formación básica de los licenciados en las principales profesiones cuyas licenciaturas profesionales aportan alumnos a los programas de doctorado. El análisis de los programas de las seis universidades que contempla la Tabla 2.18, ha permitido constatar que las facultades o escuelas que otorgan un título profesional con una licenciatura previa en la especialidad, como establece la ley, tienen un plan de estudio que, en la mayoría de los casos, contempla impartir sólo muy pocas asignaturas de ciencia básica en el ámbito de las matemáticas, la química, la biología y la física. Éstas se imparten sólo durante el primero y el segundo año de la carrera; en consecuencia, la cantidad de contenidos de esas disciplinas científicas en los planes de estudio es bastante reducida. En algunos casos los nombres de las asignaturas de las ciencias básicas no figuran siquiera en el plan de estudio de algunas carreras profesionales, ya que sus contenidos se imparten en su totalidad en una única asignatura durante el primer año. Como ejemplo, citamos la carrera de Medicina de la Universidad de Chile cuyo plan de estudios contempla un curso del primer año denominado “Fundamentos Científicos de la Medicina I” que en sus unidades contiene matemáticas, física, fisicoquímica, química, bioquímica, biología molecular, y biología celular con un total de 440 horas. En la carrera no hay otro ramo que imparta materias específicas de Ciencias Básicas. Ésta es la razón por la cual en el sitio web de ésta y otras facultades de Medicina no figuren asignaturas con la tradicional nomenclatura de las ciencias básicas. Distinta es la situación de la mayoría de las licenciaturas en Ingeniería, en las que hay una sólida formación en Matemática y Física y, según la especialización, también de Química. La baja representación de las ciencias básicas en la formación de profesionales del sector tecnológico, junto con la diferencia entre la remuneración que reciben al egresar con el ejercicio de la profesión, comparada con el monto de una beca de doctorado, explican el reducido interés de los alumnos que egresan de carreras tradicionales, como Ingeniería o Medicina, Medicina Veterinaria o Agronomía, por continuar estudios de doctorado.

Referencias

1. Universidades de Origen- Becarios CONICYT proporcionada por CONICYT.
2. Planes de Estudio Licenciaturas y Carreras Profesionales e información relacionada disponible en página Web de cada universidad.

Francisco Hervé (*Coordinador*), Rosa Devés, Rolando Pomareda,
Ricardo Soto, Jaime San Martín, Eugenio Spencer y Marcelo Hervé

1. Introducción

Este estudio pretende en una primera fase obtener, procesar y analizar estadísticas históricas acerca del desarrollo del sistema de Programas de Posgrado en Ciencias en el país, para luego realizar un análisis crítico de estos valores, una comparación con programas similares en México y finalmente, elaborar algunas ideas y proposiciones para contribuir a mejorar el sistema.

Se tomará como base de referencia el estudio similar “*Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena*” que publicara la Academia de Ciencias en 1993. Las fuentes de información posteriores para la realización del presente informe se detallan en el Anexo 1.

Desde 1993, la oferta de estudios de posgrado en ciencias ha experimentado una gran expansión, tanto en el número de programas, de universidades que los ofrecen, del número de estudiantes y del número de graduados.

En el período considerado (1993–2004) se ha ampliado la oferta de becas de CONICYT, se creó el Programa MECESUP, se creó la Comisión Nacional de Acreditación del Postgrado (CONAP), entidades que han tenido un gran impacto en el desarrollo del sistema de posgrados en el país. Se terminaron las becas Fundación Andes en 2001 y las MECESUP en 2004.

Este informe se focaliza en los Programas de Posgrado en Ciencias, excluyendo aquellas disciplinas como Arte, Arquitectura, Administración, Ciencias Sociales, Derecho, Educación y Humanidades. Esta definición no es fácil de establecer en las bases de datos consultadas, ya que cada una de ellas tiene información separada por Áreas de Conocimiento que no son las mismas.

Las Áreas del Conocimiento, que serán objeto de análisis en este capítulo están clasificadas según las fuentes consultadas como sigue:

- **CRUCH Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (www.cruch.cl).**

Área Agropecuaria y Ciencias del Mar

Agronomía, Acuicultura, Horticultura, Silvicultura, Medicina, Veterinaria, Ganadería, Recursos Forestales, Ciencia y Tecnología, Pesquera, Economía Agraria, Recursos Marinos, *Oceanografía*, y otras materias afines.

Área Ciencias Naturales y Matemáticas

Biología, Química, Botánica, Física, Matemática, Meteorología, Astronomía, Biología Marina, Medio Ambiente, Bioquímica, Zoología, Geología, Geofísica, Mineralogía, Entomología, y otras materias afines.

Área Tecnología

Ingeniería Civil, Construcción, Ingeniería de Ejecución (en Computación e Informática, Electrónica, Mecánica, Metalurgia Extractiva, Minas, Transporte y Tránsito, Climatización, Geomensura, Estructuras, Textil, Industrial, etc.), Ingeniería en Alimentos, Ingeniería Ambiental, Cartografía, Topografía, Óptico, y otras materias afines.

Área Salud

Medicina, Odontología, Enfermería, Salud Pública, Química y Farmacia, Fonoaudiología, Kinesiología, Nutrición y Dietética, Tecnología Médica y Dental, Terapia Ocupacional, Obstetricia y Puericultura, y otras materias afines.

- **Consejo Superior de Educación (CSE)** (www.cse.cl)

Agropecuaria Veterinaria, Acuicultura, Agricultura, Oceanografía
Ciencias Física, Matemática, Astronomía, Geología, Biología celular y molecular
Salud Anatomía, Nutrición, Cs. Médicas
Tecnología Ingeniería Química, Biotecnología, Metalurgia

- **Comisión Nacional de Acreditación de Postgrado (CONAP)** (información via e-mail)

Biología I (Ciencias Naturales, e.g.: Morfología, Antropología Física, Bioquímica, Botánica, Ecología, Entomología, Zoología, Toxicología, Virología, etc.);
Biología II (Ciencias Biológicas Biología Celular, Neurociencia, Fisiología, etc.);
Ciencias Biomédicas; Ciencias de la Ingeniería; Cs. Veterinarias y Pecuarias, Forestales, Agronomía; Física, Astronomía; Geología, Geofísica, Oceanografía; Matemáticas, Estadística y Ciencias de la Computación; Química y Biotecnología.

- **Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT)** (www.conicyt.cl)

Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnología, Ciencias Médicas y Ciencias Agrícolas.

- **Academia de Ciencias (este estudio, definición comunicada por Jorge Allende, ppt)**

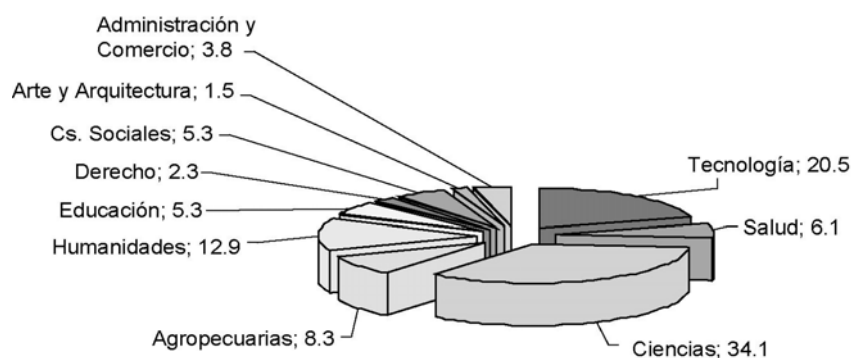
Agropecuaria, Ciencias del Mar. Ciencias Biológicas, Astronomía, Física, Ciencias de la Tierra (no incluye Oceanografía), Ciencias Ambientales, Ingeniería, Química , Ciencias Biomédicas.

2. Evolución de los Programas de Posgrado en Ciencias (1993- 2004)

a) Doctorado

Los programas

En 1993 existían 15 programas de doctorado en ciencias en el país, y en 2004 existían 91. Los programas de doctorado en ciencias constituyen 69% del total de Programas de Doctorado como se muestra en la Figura 3.1.



Fuente: www.cse.cl

Fig. 3.1. Porcentaje de programas de doctorado por disciplina

La Tabla 3.1 muestra el número de programas, activos en 2004, de doctorado y magíster en ciencias, separados por las áreas de conocimiento definidas para este estudio.

Tabla 3.1. Programas de doctorado y magíster en Ciencias activos en 2004.		
	2004	
Área / tipo	Doctorado	Magister
Agropecuaria	8	33
Ciencias del Mar	3	6
Biológicas	16	21
Astronomía	2	2
Física	6	7
Ciencias de la Tierra	2	5
Matemáticas	8	15
Ciencias Ambientales	6	19
Química	5	8
Ingeniería	27	60
Biomédica	8	50
	91	226

Un progresivo número de programas ha sido acreditado por CONAP, 62 en 2004. Las cifras correspondientes aparecen en la Figura 3.2 (totales), y en la Figura 3.3 (por área de conocimiento).

En 1993, 66% de los programas eran impartidos por universidades de la Región Metropolitana, cifra que es de 50% en la actualidad.

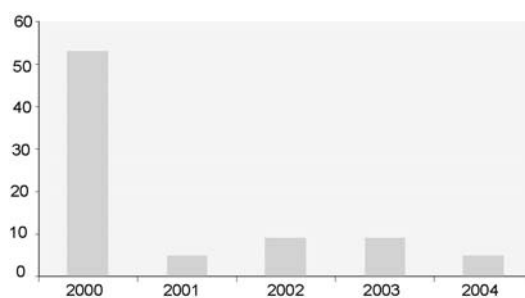


Figura 3.2. Programas de doctorado acreditados por CONAP

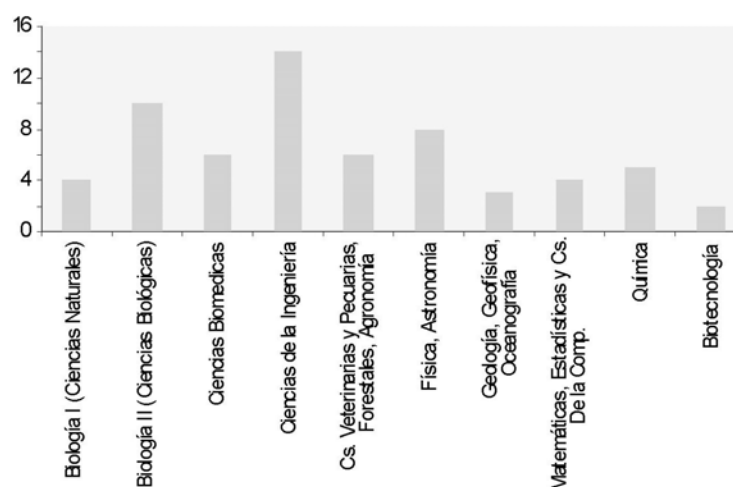


Figura 3.3. Programas de doctorado acreditados por CONAP por área de conocimiento

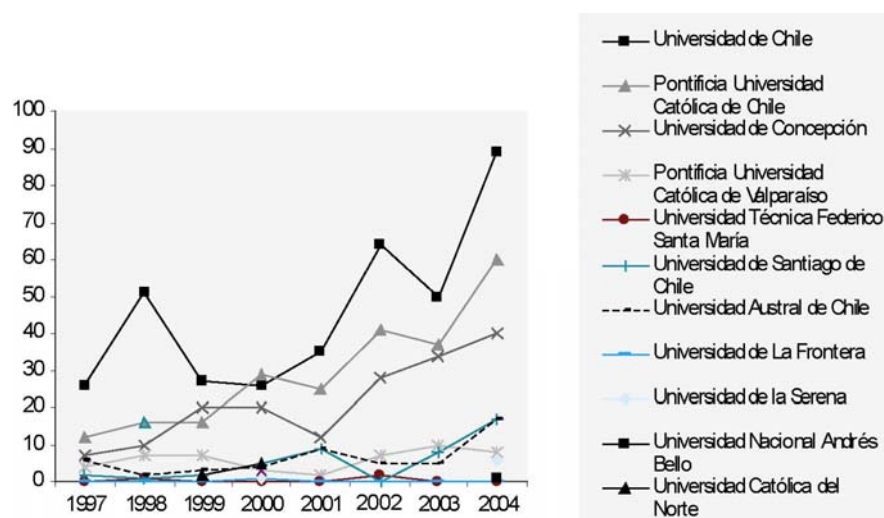


Fig. 3.4. Evolución del total de graduados de los programas de doctorado por Universidad, 2004 según datos de E. Spencer.

Los programas por Universidad

Hay 13 universidades que imparten programas de doctorado en ciencias con un total de 80 programas. La evolución del número total de graduados (no sólo en Ciencias) por universidad en el período 1997-2003 se muestra en la Figura 3.4 según datos de CRUCH.

El número promedio de graduados por programa en 2004 se muestra en la Tabla 3.2, en paréntesis número total de programas de doctorado:

Tabla 3.2. Número promedio de graduados por programa en 2004.			
	Número de programas de doctorado en ciencias (2004)	Total de Graduados de doctorado por universidad (2004)	Promedio anual graduados por programa
Universidad de Chile	23 (33)	89	2.7
Pontificia Universidad Católica de Chile	16 (25)	60	2.4
Universidad de Concepción	14 (17)	40	2.4
Pontificia Univ Católica de Valparaíso	4 (7)	8	1.1
Universidad Técnica Federico Santa María	4 (4)	0	0
Universidad de Santiago de Chile	9 (10)	17	1.7
Universidad Austral de Chile	5 (6)	17	2.8
Universidad de La Frontera	3 (3)	0	0
Universidad Católica del Norte	2 (4)	0	0
Universidad de Valparaíso	1 (2)	0	0
Universidad Tecnológica Metropolitana	4 (8)	0	0
Universidad de Talca	2 (2)	0	0
Universidad Nacional Andrés Bello	4 (4)	1	0.3
Universidad de La Serena	0 (1)	6	6

Los estudiantes

La matrícula total en los programas de doctorado en 1992 era 280, y en 2004 1.578. La variación anual de matrícula de posgrado (incluye doctorado y magíster) entre 1994 y 2003 por áreas de conocimiento del CSE (Consejo Superior de Educación) se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Matrícula Total de Posgrado por Área del Conocimiento CSE. (*)= Total matrícula de doctorado en universidades acreditadas. Información E. Spencer (1999 – 2004) y J. Allende (1994–1998)											
Área/ Años	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Agropecuaria y Ciencias del Mar	163	190	204	210	251	243	267	274	352	409	
Ciencias Naturales y Matemáticas	963	1.091	1.100	1.187	1.134	1.219	1.295	1.374	1.497	1.547	
Tecnología	403	439	493	495	540	772	785	1.003	1.044	1.295	
Salud	288	208	362	314	288	390	411	444	495	683	
Totales Posgrado	1817	1928	2159	2206	2213	2624	2758	3095	3388	3934	
Totales Doctorado *	524	652	583	808	964	1144	1112	1394	1649	1985	2237

El número total de graduados de los programas de doctorado en Ciencias fue de 247 entre 1955 y 1992, y totaliza 597 entre 1997 y 2003 (no se incluyen los años 1993 a 1996 porque no se ha encontrado información, ni la de 2004 que parece incompleta). La evolución de los graduados por año y por área del conocimiento se presenta en la Tabla 3.4 y en la Figura 3.5.

Tabla 3.4. Total de Graduados de Doctorado por Área del Conocimiento. Datos del Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (CRUCH). www.cruch.cl . (2003) y 2004* son sumas obtenidas de la base de datos del CSE. Totales ** corresponde a cifras entregadas por Spencer y Allende (1997 y 1998) que incluyen todas las disciplinas.											
Área / Años	1990	1991	1992	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004*
Agropecuaria y Ciencias del Mar				0	0	0	0	0	2	0 (1)	4
Ciencias Naturales y Matemáticas	23	35	14	45	63	61	63	63	95	94 (93)	46
Tecnología				0	5	1	5	10	15	13 (17)	5
Salud				8	10	4	7	3	13	10 (13)	1
Totales				53	78	66	75	76	125	117 (124)	56
Totales**				57	88	77	93	92	160	194	238

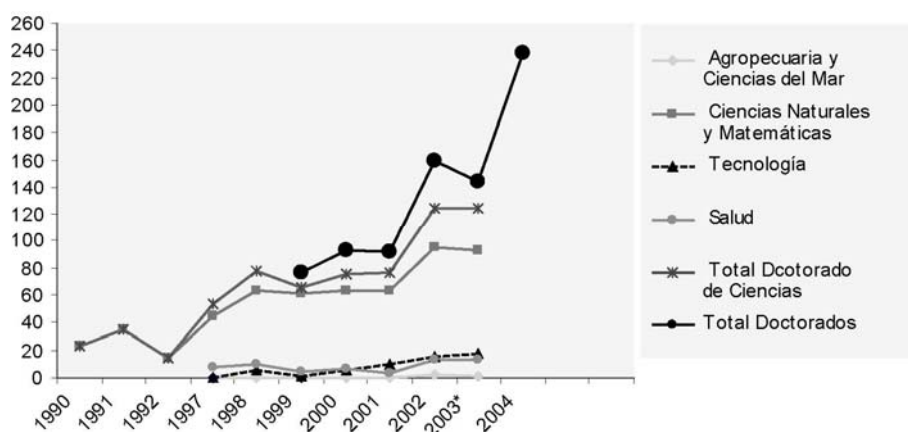


Figura 3.5. Graduados de los programas de doctorado según disciplina.

El número de graduados de programas de doctorado en Ciencias por año era de 23 en promedio desde 1955 a 1992, y es cercano a 84 entre 1997 y 2003. Por género, en 2003 había 532 mujeres y 720 hombres matriculados en los programas de Doctorado en Ciencias, lo que constituye 65% del total (1.931) de estudiantes de doctorado.

El porcentaje de estudiantes de posgrado con respecto a la población universitaria total era de 1,3% hacia 1992, y es de 0,66% en 2004.

Las Becas de Doctorado

Se poseen datos de las becas CONICYT, MECESUP y Fundación Andes. No se tiene información integrada de becas otorgadas por los programas y sus instituciones albergantes. En

1992 se otorgaron 47 becas de doctorado (43 CONICYT y 4 Fundación Andes) y 1.134 entre 2000 y 2004 (606 CONICYT, 186 MECESUP y 4 Fundación Andes), lo que equivale a 227 por año.

La Tabla 3.5, proporcionada por el Dr. Eugenio Spencer, indica las becas totales de doctorado otorgadas entre 1999 y 2004.

Tabla 3.5. Número total de becas de doctorado otorgadas por año						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Total Becas Doctorados Nacionales	96	125	223	339	348	394
CONICYT	96	65	121	187	140	200
MECESUP		42	72	122	173	147
Iniciativa Milenio		10	30	30	35	47
Total Becas Doctorados Extranjeros	26	35	25	57	122	221
Fulbright/USA	26	35	25	38	46	35
Fulbright CONICYT					24	23
Fulbright MECESUP					8	11
Francia / CONICYT				11	11	23
Francia / Cotutela				8	8	7
DAAD					15	15
Alban					10	37
AGCI					nd	70

La Figura 3.6 muestra la evolución del total de becas de doctorado otorgadas por CONICYT (www.conicyt.cl), MECESUP y Fundación Andes (e-mail, A. Detmer y R. Pomareda). CONICYT* corresponde al número de becas de disciplinas no incluidas en ciencias.

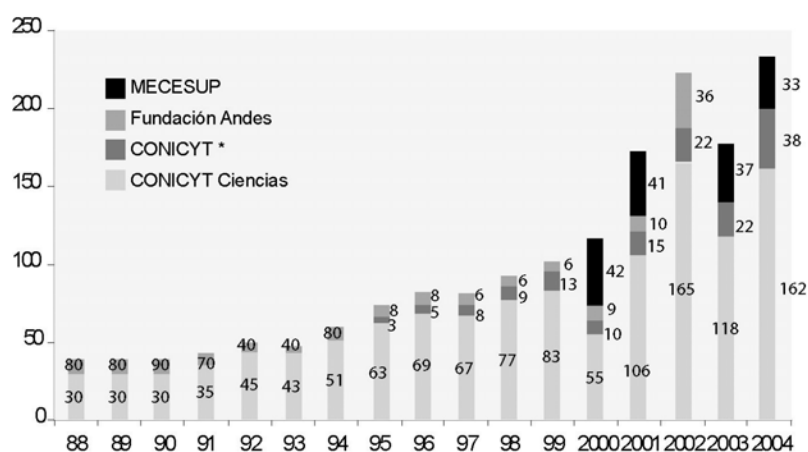


Figura 3.6. Total de becas de doctorado.

La variación anual del número de becas de doctorado en Ciencias otorgadas por CONICYT se presenta en la Figura 3.7 junto al número de postulantes a esas becas. El número de postulantes por beca ofrecida para el período 1988–1993 era de 2,2, cifra que se mantiene similar en el quinquenio 2000–2004.



Figura 3.7. Becas de doctorado en Ciencias CONICYT.

La variación anual del número de becas otorgadas por MECESUP se presenta en la Tabla 3.6.

La variación anual del número total de becas de doctorado CONICYT por área del conocimiento según definición de la Academia de Ciencias para este estudio, en que no se diferencia las de Ciencias Ambientales, se presenta en la Figura 3.8, y según las áreas de conocimiento del CSE en la Figura 3.9.

Tabla 3.6. Becas de doctorado financiadas total o parcialmente por MECESUP.							
Año Calendario	Total	Año Concurso de los Proyectos					
		1999	2000	2001	2002	2003	2004
	629	134	163	160	74	45	13
2000	42	42	0	0	0	0	0
2001	72	31	41	0	0	0	0
2002	122	34	52	36	0	0	0
2003	173	27	49	60	37	0	0
2004	151	0	21	63	33	33	0
2005	71	0	0	15	31	12	13

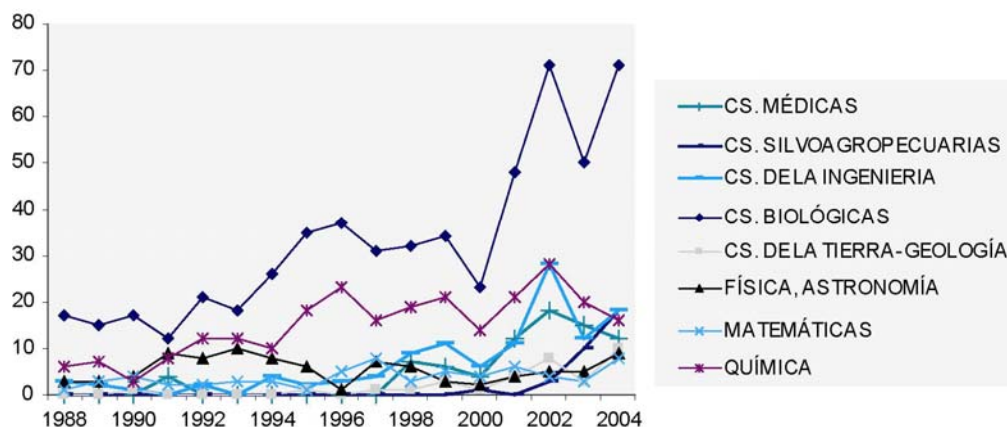


Figura 3.8. Becas Doctorado otorgadas por CONICYT.

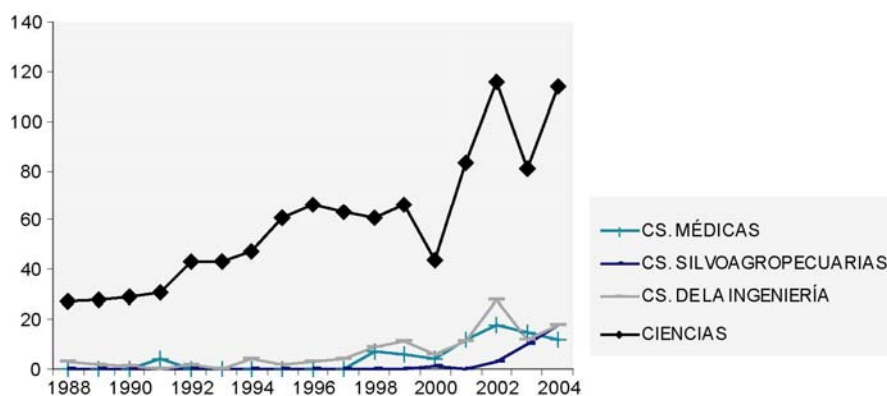


Figura 3.9. Becas Doctorado otorgadas por CONICYT según áreas del conocimiento CSE.

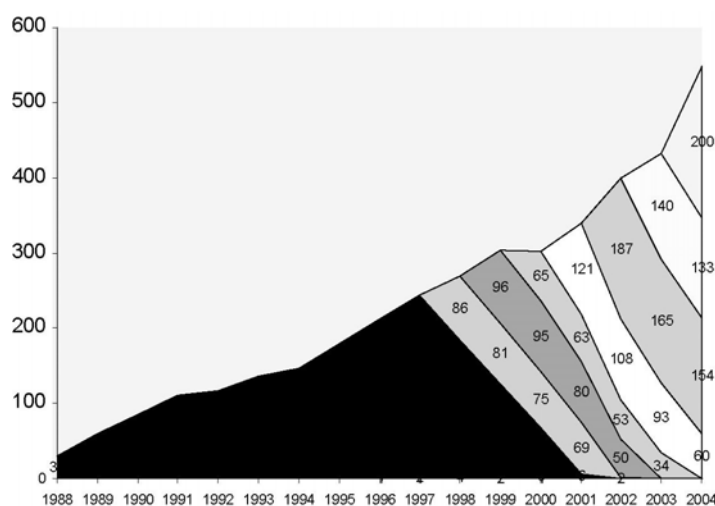


Figura 3.10. Duración de las becas de Doctorado de CONICYT.

La duración de las becas de doctorado de CONICYT se presenta en la Figura 3.10. En este gráfico la línea superior indica el número de becas vigentes para cada año. En los segmentos diagonales se indican las becas vigentes para el año de otorgamiento (cifra superior) y el número de

ellas que continúa vigente en los años siguientes. Se observa que hasta 2002, entre 70 y 90% de las becas tenían cuatro años de duración, y a partir del 2002 sólo algo mas de 50% de las becas duran cuatro años.

Posdoctorado

La evolución del número de proyectos de posdoctorado otorgados por CONICYT se presenta en la Fig. 3.11.

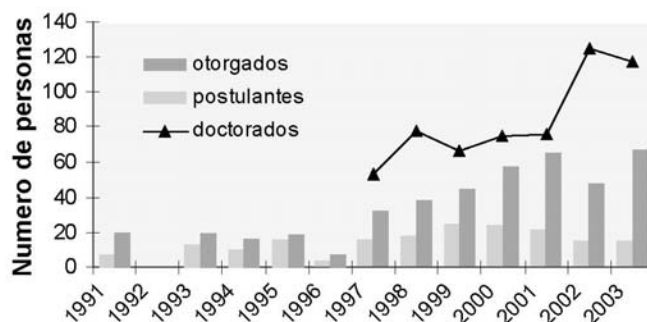


Fig. 3.11. Evolución del número de proyectos de posdoctorado otorgados por CONICYT con indicación del número de proyectos que postularon y el número de doctorados otorgados por el sistema universitario en ese mismo año.

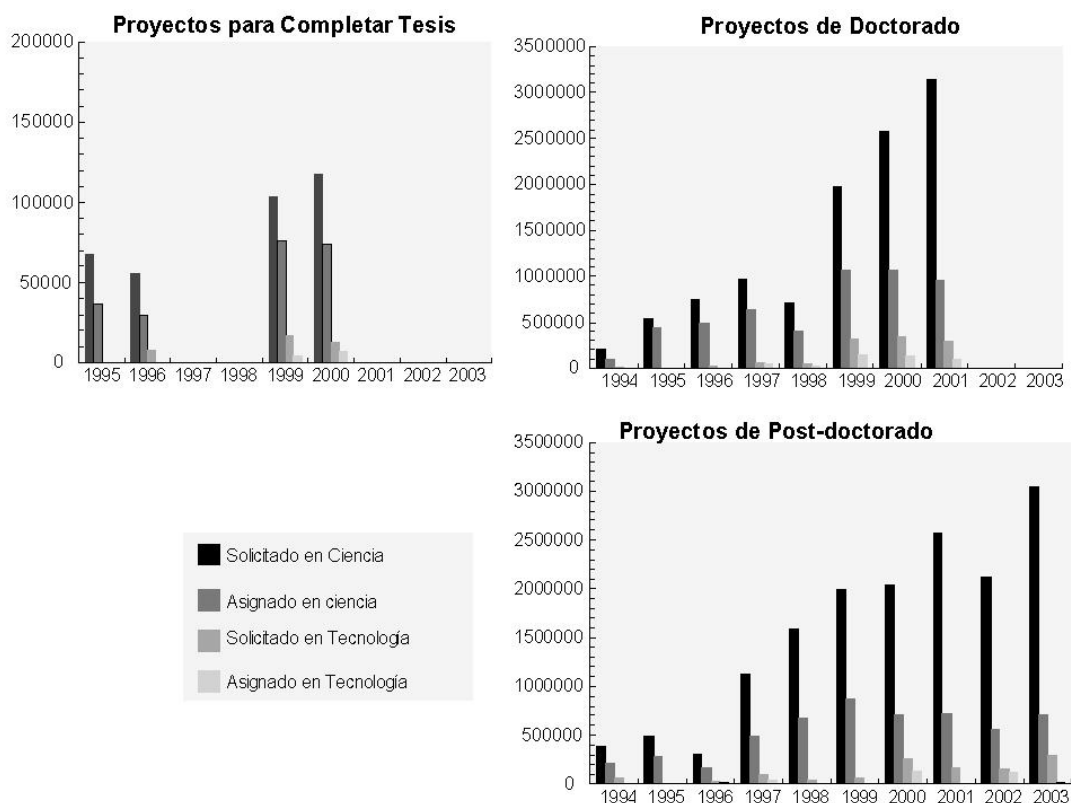


Figura 3.12. Evolución de los recursos (en \$ 2003) solicitados por Doctorandos y Posdoctorandos y entregados por CONICYT para la realización de proyectos. Fuente: ww.conicyt.cl

Recursos entregados por CONICYT a los proyectos de doctorado y de posdoctorado

La figura 3.12 muestra los recursos entregados por CONICYT a los Proyectos de Término de Tesis de Doctorado, Proyectos de Tesis de Doctorado y a los Proyectos de Posdoctorado. En ellos se observa que a pesar del continuo crecimiento en la solicitud de recursos para estas acciones de parte de los becarios de doctorado en Ciencias, los recursos asignados culminaron en 1999 para declinar a partir de entonces.

b) Magíster

Los programas

En 1993 existían 15 programas de magíster en Ciencias en el país, y 225 en 2004. Constituyen el 46% del total de programas de magíster (Figura 3.13).

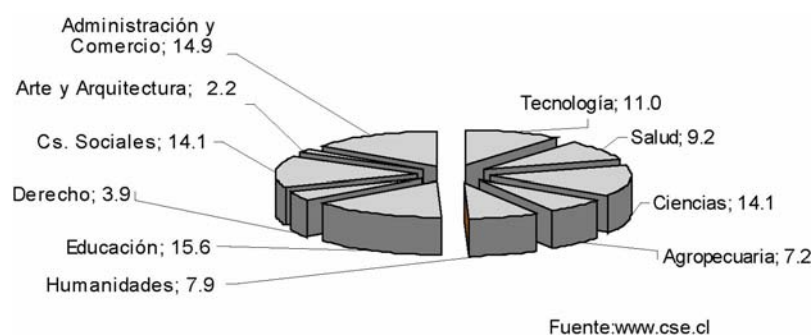


Fig. 3.13. Porcentaje de programas de Magíster por disciplina.

El número total de programas acreditados por CONAP, incluyendo 71 en Ciencias, se muestra en la Figura 3.14, y por Áreas de Conocimiento de CONAP en la Figura 3.15.

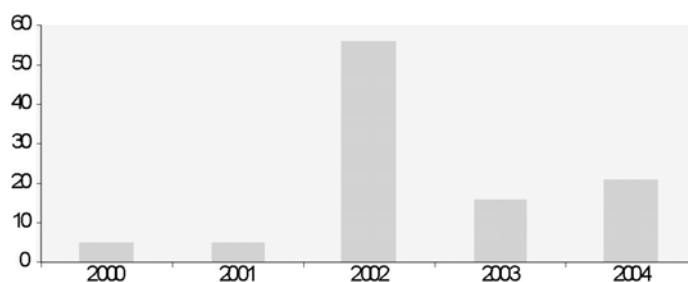


Figura 3.14. Programas de Magíster acreditados por CONAP.

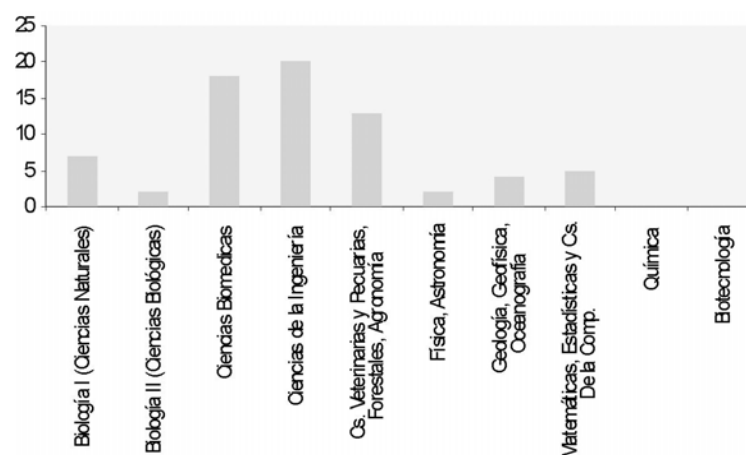


Figura 3.15. Programas de Magíster acreditados por CONAP por área de conocimiento.

La evolución de los graduados por área de conocimiento se muestra en la Tabla 3.7.

Área/ Años	1990	1991	1992	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Agropecuaria y Ciencias del Mar				35	46	34	35	46	61	57 (181)
Ciencias Naturales y Matemáticas	21	17	13	95	126	102	101	100	96	116 (146)
Tecnología				76	93	90	105	196	123	165 (124)
Salud				43	66	55	58	61	49	61 (28)
Totales				249	331	281	299	403	329	399 (479)

El 53% de los programas de Magíster son impartidos por universidades de la región Metropolitana.

Los estudiantes

En 1992 la matrícula total era de 280, en 2004 de 2366. El número total de graduados de los programas de Magíster en Ciencias era de 247 a 1992, y totaliza 2091 entre 1997 y 2003, o sea 299 por año.

La evolución de los graduados por año y por área del conocimiento (CRUCH) se presenta en la Figura 3.16. Datos de www.cruch.cl.

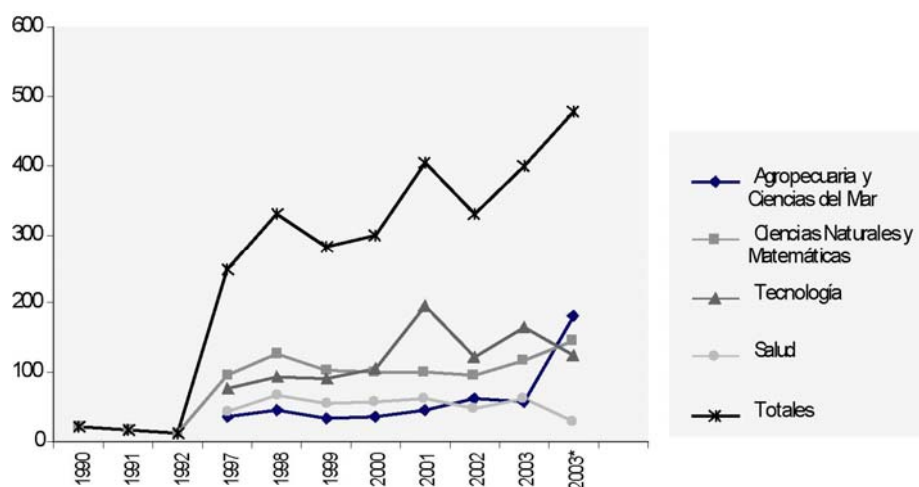


Figura 3.16. Graduados de magíster por área de conocimiento

Por género, en 2003 había 892 mujeres y 1.172 hombres matriculados en programas de magíster.

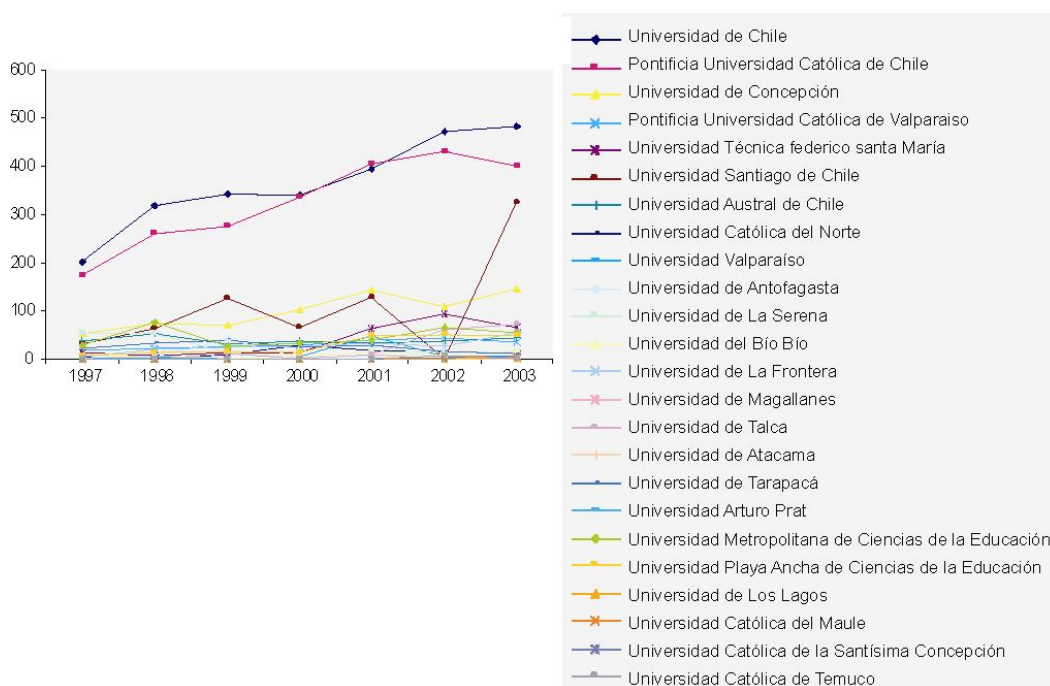


Fig. 3.17. Evolución del número de graduados de magíster por Universidad.

Las Universidades

24 Universidades imparten Magíster en Ciencias en 186 programas. La evolución de los graduados por Universidad en el período 1997 a 2003 se muestra en la Figura 3.17.

El número de programas y de graduados por universidad en 2003 se presenta en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Número de programas y de graduados por universidad en 2003.		
Magíster (www.cse.cl)	Número de programas en ciencias (2004)	Total de graduados de magíster (2003) www.cruch.cl
Universidad de Chile	70	484
Pontificia Universidad Católica de Chile	15	401
Universidad de Concepción	23	145
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	12	34
Universidad Técnica Federico Santa María	9	66
Universidad de Santiago de Chile	16	325
Universidad Austral de Chile	19	44
Universidad Católica del Norte	6	15
Universidad de Antofagasta	3	11
Universidad Tecnológica Metropolitana	3	
Universidad de la Frontera	3	54
Universidad de Talca	8	71
Universidad de la Serena	7	16
Universidad del Bío Bío	4	17
Universidad de los Lagos	1	3
Universidad de Tarapaca	4	11
Universidad de Valparaíso	8	4
Universidad Academia de Humanismo Cristiano	1	
Universidad Adolfo Ibáñez	1	
Universidad Andrés Bello	5	
Universidad del Desarrollo	1	
Universidad del Mar	2	
Universidad Diego Portales	2	
Universidad Mayor	3	

Las becas de Magister

Se posee datos de las becas CONICYT, MECESUP y Fundación Andes. No se tiene información integrada de becas otorgadas por los programas y sus instituciones albergantes. En 1992 se otorgaron 47 becas de Magíster (43 CONICYT y 4 Fundación Andes) y 45 en el periodo 2000-2004 (33 CONICYT, 12 MECESUP y 0 Fundación Andes).

La variación anual del número de becas se presenta en la Figura 3.18.

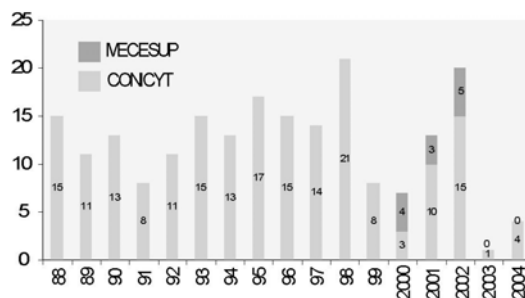


Figura 3.18. Variación anual del número de becas de Magíster

La variación anual del número de becas otorgadas por CONICYT se presenta en la Figura 3.19 junto al número de postulantes a esas becas. En el periodo 2000–2004 hubo en promedio 14 postulantes por cada beca otorgada.

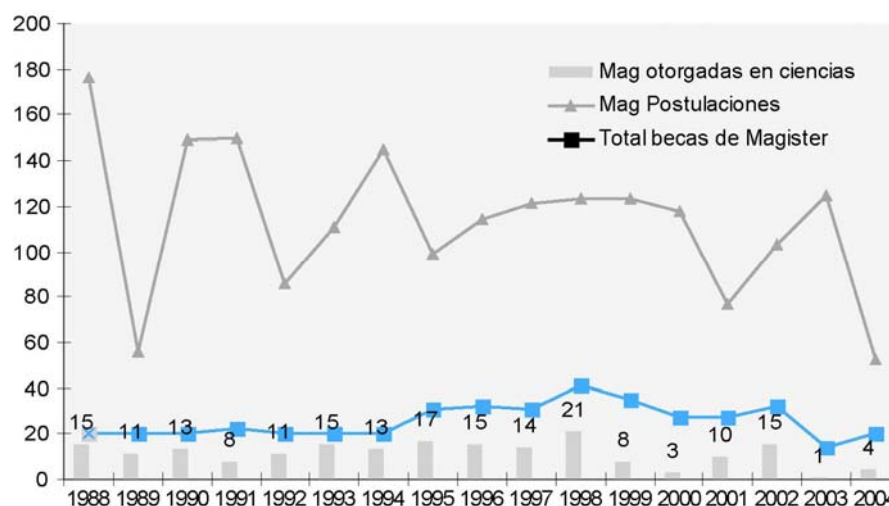


Figura 3.19. Número de becas y postulantes a becas CONICYT.

La variación anual del número de becas otorgadas por MECESUP se presenta en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Becas de Magíster financiadas total o parcialmente por MECESUP.							
Año Calendario	Total	Año Concurso de los Proyectos					
		1999	2000	2001	2002	2003	2004
	88	62	0	12	14	0	0
2001	4	4	0	0	0	0	0
2002	31	28	0	3	0	0	0
2003	39	30	0	4	5	0	0
2004	13	0	0	5	8	0	0
2005	1	0	0	0	1	0	0

La variación anual del número total de becas de magíster otorgadas por CONICYT por área del conocimiento según CRUCH se presenta en la Figura 3.20. En ciencias se agrupan: Ciencias biológicas, Física y Astronomía, Ciencias de la Tierra, Matemáticas y Química.

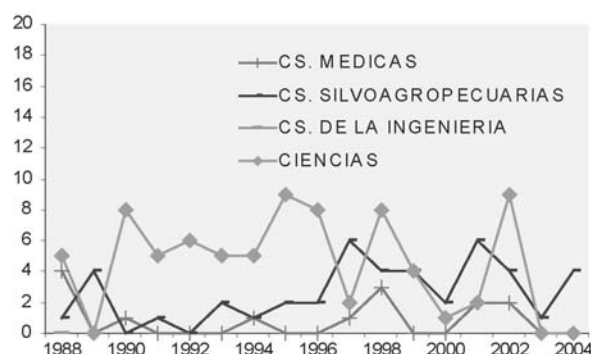


Figura 3.20. Becas de magíster otorgadas por CONICYT por área del conocimiento.

Tasas de crecimiento del sistema de posgrado

Se ha incrementado significativamente la oferta de programas de posgrado en Chile desde 1993. También se ha diversificado a regiones. La tasa promedio de crecimiento anual del número de estudiantes de posgrado ha sido de 11% entre 1994 y 2003, la tasa de crecimiento anual de los graduados de Magíster en Ciencias 27% (1990 - 2003) y la de Doctorado en Ciencias de 14% (1990 - 2003). Estos y otros valores de tasas de crecimiento anual se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Oferta de programas de posgrado entre 1994 y 2003.		
Categoría	Tasa de variación promedio anual en %	Observaciones
Matrícula de Pregrado (1994-2003)	5	Universidades CRUCH
Matrícula total de Pregrado (1994-2003)	17	Incluye Universidades privadas
Matrícula total de Posgrado (1994-2003)	11	Universidades CRUCH
Matrícula de Posgrado Universidades privadas (1994-2003)	55	
Matrícula total de Posgrado ciencias (1994-2003)	9	Universidades CRUCH
Graduados de Magíster (1997-2003)	19	“
Graduados de Magíster ciencias (1990-2003)	27	“
Graduados de Doctorado (1997-2003)	17	“
Graduados de Doctorado en ciencias (1990-2003)	14	“
Graduados de Posgrado (1994-2003)	17	“

La tasa de crecimiento del número de estudiantes de posgrado ha sido inferior a la del total de estudiantes universitarios.

Las tasas de crecimiento promedio anuales 1994–2003 de la matrícula total de posgrado en Ciencias por Área del Conocimiento y por género se muestra en la Tabla 3.11:

Tabla 3.11. Tasas anuales promedio de crecimiento (en %) de matrícula del posgrado en Ciencias			
Area de Conocimiento (CRUCH)	Matrícula Total de Posgrado	Matrícula de Mujeres en Magíster	Matrícula de Mujeres en Doctorado
Agropecuaria y ciencias del mar	11	11	63
Ciencias naturales y matemáticas	5	0	12
Tecnología	14	24	19
Salud	10	11	26
Totales	9	9	15

3. Comparación de los posgrados en Chile y en México

Introducción

Se comparan los datos presentados acerca de los doctorados en ciencias en Chile con los de México según información obtenidas de la página web www.conacyt.mx de CONACYT y www.anui.es.mx Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Educación Superior.

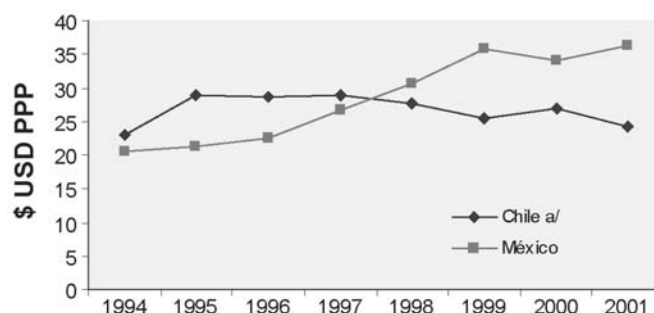


Figura 3.21. Comparación de la evolución del gasto en investigación y desarrollo *per capita* (reducido a paridad de poder de compra) entre Chile y México.

Como marco de referencia de las economías, México y Chile tienen ingresos (PIB) *per capita* anuales similares y la población de México es aproximadamente 7 veces la de Chile. El porcentaje anual del PIB (2001) que se destina a Investigación y Desarrollo es de 0,40 en México y de 0,57 en Chile, en cambio en el gasto *per capita*, reducido a paridad de poder de compra (PPP= purchasing power parity), México ha superado a Chile a partir de 1998, que en este parámetro muestra una tendencia decreciente desde 1997 (Fig. 3.21). (Datos de CONACYT).

Tabla 3.12. Comparaciones de los posgrados de Chile y México				
Posgrado 2003	MEXICO		CHILE	
	doctorado	maestría	doctorado	maestría
Número de instituciones	148	520	13	24
Número de programas	525	3006	81	103
Número de estudiantes	10.825	98.264	1.931	2.366
Número de estudiantes por programa	20,6	32,7	23,8	23,0
Número de estudiantes por millón de habitantes	105	955	122	150

Una comparación de algunas estadísticas generales acerca del desarrollo de las actividades de posgrado en Chile y México se muestran en la Tabla 3.12. El número de becas de posgrado por millón de habitantes se presenta en la Figura 3.22.

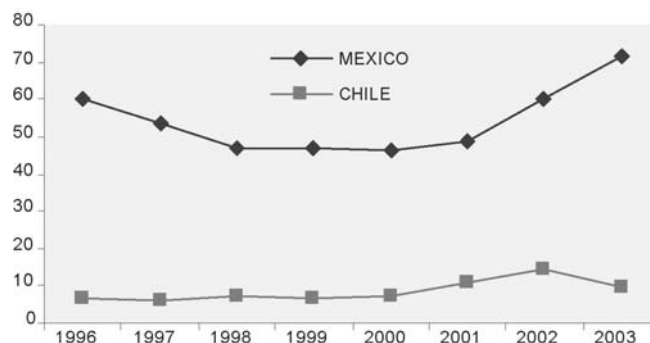


Figura 3.22. Comparación del número de becas de posgrado por millón de habitantes entre México y Chile.

La evolución del número de estudiantes graduados en los programas de doctorado en Ciencias por millón de habitantes en ambos países se presenta en la Fig. 3.23.

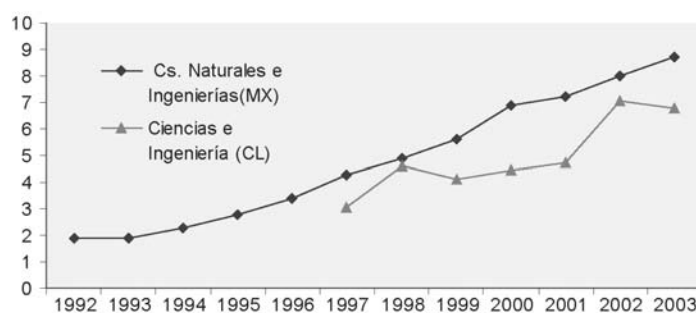


Figura 3.23. Graduados en Programas de Doctorado por millón de habitantes.

Otras comparaciones

Como referencia se incluye en la Figura 3.24 una comparación con el total de graduados en doctorados por millón de habitantes con Nueva Zelanda, para la cual no se pudo obtener datos por áreas de conocimiento equivalentes a los de Chile y México. Información de www.minedu.govt.nz.

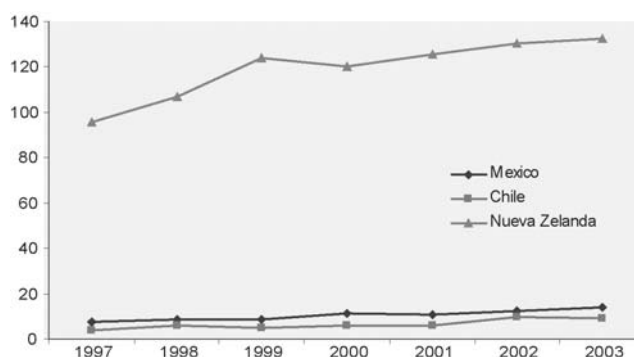


Figura 3.24. Total de graduados en Programas de Doctorado por millón de habitantes. Comparación entre México, Nueva Zelanda y Chile.

En la Tabla 3.13 se presenta el número de doctores de algunos países de Iberoamérica por Área del Conocimiento según información de Ricyt (Año más reciente con información) excepto para Chile (datos de CSE).

Tabla 3.13. Número de doctores en algunos países latinoamericanos por área del conocimiento.							
PAIS	Ciencias Básicas, Naturales y Exactas	Ingeniería y Tecnología	Ciencias Médicas	Ciencias Agrícolas	Ciencias Sociales	Humanidades	Total (Año)
Chile	94	13	10	-	5	22	144 (2003)
Argentina	225	39	40	7	60	37	408 (1996)
Brasil	1.613	806	1.419	785	614	1.532	6.843 (2002)
México	207	450	66	181	255	245	1.404 (2002)
Cuba	52	135	26	39	155	-	407 (2002)
Portugal	272	225	74	55	233	93	952 (2002)
Uruguay	18	1	0	0	1	1	21 (2000)

Posdoctorado

La evolución de la población total de becarios de posdoctorado en México y las becas de posdoctorado otorgadas anualmente por CONICYT en Chile por millón de habitantes se presenta en la Fig. 3.25. En México, a partir de 2002 las becas de postdoctorado están incorporadas en las Cátedras Patrimoniales por lo que dejaron de computarse de manera aislada. En Chile existen becas de posdoctorado no contabilizadas por CONICYT.

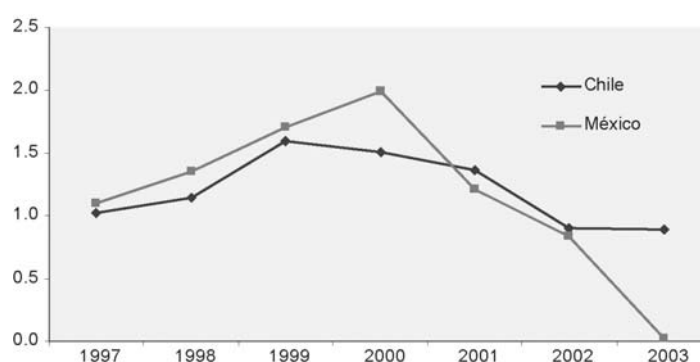


Fig. 3.25. Evolución de la población de posdoctorantes por millón de habitantes en Chile y México.

Comentarios

- En Chile los programas de posgrado están concentrados en menos instituciones respecto a México.
- En Chile hay 15% más de estudiantes de doctorado por millón de habitantes. Pese a ello, se gradúa un 20% menos de estudiantes de doctorado en Ciencias e Ingeniería. El número de estudiantes por programa es similar.
- En Chile existe sólo un 14% de los estudiantes de magíster que hay en México por millón de habitantes.
- En México se otorgan en promedio 7 veces más becas de posgrado por millón de habitantes que en Chile, principalmente por la gran diferencia en las becas de magíster.
- Los programas de posdoctorado presentan una evolución similar en ambos países.

4. Encuesta de autoevaluación

Se enviaron dos encuestas a todas las direcciones de programas de posgrado en el país (Anexo 5). En la primera se solicitó a los directores de programa información general sobre ellos, incluyendo los recursos invertidos por parte de la institución albergante en el programa. Se obtuvo respuesta parcial de la Universidad de la Frontera.

En la segunda, de autoevaluación por los estudiantes matriculados en los programas de posgrado, se obtuvo información bastante completa de la Universidad Austral de Chile y de la Universidad de la Frontera, a quienes se agradece el esfuerzo realizado. Adicionalmente, se obtuvo información parcial del Programa de Doctorado en Geología de la Universidad de Chile. De las encuestas recibidas, la población de estudiantes en su mayoría tiene entre 26 y 35 años, e ingresó en el año 2004: el 5% son extranjeros, principalmente sudamericanos (bolivianos, peruanos, colombianos, ecuatorianos, entre otros). La encuesta aborda 9 aspectos que involucran el desarrollo de los posgrados y su calidad. El primer aspecto es sobre el *programa y su autoevaluación*. El segundo de *Integridad Institucional* sobre el funcionamiento académico del programa. El tercer punto de la *Estructura Organizacional*, se refiere principalmente a la parte administrativa del programa. El cuarto punto de *Estructura Curricular* se refiere al plan del doctorado o magíster. El quinto punto de los *Recursos Humanos* sobre el nivel de los académicos. El sexto corresponde a la *Efectividad de la Enseñanza*, con respecto a admisión, metodología, contenidos y criterios de evolución y graduación. El punto siete de *Infraestructura y otros recursos*, es sobre las condiciones físicas de cada institución para el desarrollo del posgrado. El punto ocho *Vinculación con el Medio*, es sobre la difusión en el medio laboral y otros. Finalmente el punto nueve de *Becas y financiamiento de la tesis*, quiere reconocer las condiciones de apoyo que tienen los programas de posgrado y los recursos disponibles. En general se puede notar en el resumen de respuestas (Tabla 3.14), una buena percepción de cómo se desarrollan los distintos programas de postgrado, sin embargo, hay puntos que son señalados en algunas encuestas de temas que deben mejorarse, como son la infraestructura, la estructura curricular y la vinculación con los medios, más en magíster que en doctorado.

Tabla 3.14. Respuestas de algunas universidades a la encuesta sobre sus programas de posgrado.										
UACH Magíster						UACH Doctorado				
	A. Muy de acuerdo	B. De acuerdo	C. En desacuerdo	D. Muy en desacuerdo	E. Sin opinión	A	B	C	D	E
1.Propósitos	24	48	26	9	27	30	44	13	21	44
2.Integridad Institucional	67	89	29	5	6	45	90	51	6	24
3.Estructura Organizacional	42	63	8	2	21	31	84	16	0	17
4.Estructura Curricular	43	60	51	10	5	32	87	42	13	11
5.Recursos Humanos	32	41	10	1	0	17	39	30	1	6
6.Efectividad de la Enseñanza	34	66	34	2	3	39	78	30	3	6
7.Infraestructura y otros recursos	91	110	36	9	6	61	152	33	10	22
8.Vinculación con el medio	13	32	24	7	6	15	42	22	7	7
9. Becas y financiamiento de la Tesis	18	36	16	6	44	34	63	21	3	30
Total	364	545	234	51	118	304	679	258	64	167
Porcentaje	28	42	18	4	9	21	46	18	4	11
Número de encuestas	28					25				
UFRO Magister						UCh Doctorado Geología				
1.Propósitos	71	50	1	3	22	3	11	6	0	5
2.Integridad Institucional	164	43	3	0	0	6	19	7	1	2
3.Estructura Organizacional	123	23	3	0	1	2	14	7	2	0
4.Estructura Curricular	121	26	17	13	2	1	11	15	0	2
5.Recursos Humanos	73	17	0	0	0	4	11	0	0	0
6.Efectividad de la Enseñanza	101	48	1	0	0	5	13	6	1	0
7.Infraestructura y otros recursos	148	97	16	1	7	0	23	15	6	1
8.Vinculación con el medio	56	24	1	0	9	1	3	4	7	0
9. Becas y financiamiento de la Tesis	24	36	4	2	74	6	8	7	1	3
Total	881	364	46	19	115	28	113	67	18	13
Porcentaje	62	26	3	1	8	12	47	28	8	5
Número de encuestas	30					5				

5. Conclusiones

Entre los aspectos positivos de la evolución en el tiempo del sistema de posgrado se constata que ha experimentado un gran crecimiento desde 1993 en el número de programas, de estudiantes y de graduados. También se advierte un fortalecimiento de la actividad de posgrado en regiones, y una mayor incorporación de estudiantes mujeres. Los graduados de doctor en ciencias, sin embargo,

proviene sólo de seis universidades: Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Austral de Chile, Universidad de Concepción y Universidad de Santiago de Chile.

Se ha establecido a través de CONAP un mecanismo de evaluación para la acreditación de los programas de doctorado y de magíster en Ciencias que ha incidido en la calidad de los mismos.

El crecimiento no ha sido homogéneo: se detecta un menor crecimiento en los estudiantes de ciencias que en otras áreas, una asignación de más de 50% de becas de doctorado de CONICYT a Biología, y un porcentaje de aprobación de las postulaciones a becas de doctorado (40%), de magíster (7%) y de posdoctorado (10%) sostenido o decreciente. Los recursos asignados a Proyectos de Término de Tesis, Tesis y Posdoctorado han disminuido a partir de 1999. Las becas de magíster han disminuido, pero los programas de magíster tienen más alumnos y tasas de crecimiento en el número de graduados mayores que los de doctorado.

Pese al crecimiento advertido, el número de doctores en ciencias graduados por millón de habitantes en Chile, sigue siendo muy inferior al de Brasil, Argentina o Cuba, y es similar al de México.

La Tabla 3.15 siguiente muestra algunas cifras que se lograrán en el sistema universitario y en el sistema de posgrado en 2010 a las tasas de crecimiento promedio anuales actuales.

Tabla 3.15. Cifras que se lograrán en Chile en el sistema universitario y en el sistema de posgrado en 2010 a las tasas de crecimiento promedio anuales actuales.			
	Tasa %	Número de estudiantes para 2003	Número de estudiantes en 2010 a la tasa correspondiente
Matrícula de Pregrado (1994-2003)	5	231.547	325.810
Matrícula total de Pregrado (1994-2003)	17	479.487	1.439.057
Matrícula total de Posgrado (1994-2003)	11	11.155	25.707
Matrícula total de Posgrado ciencias (1994-2003)	9	3.934	7.192
Matrícula total de Doctorado (1994-2004)	16	1.985	5.610
Matrícula total de Magíster (1994-2003)	5	1.949	2.742
Graduados de Posgrado (1994-2003)	17	1.965	6.900
Graduados de Posgrado (1997-2003)	19	1.965	6.640
Graduados de Magíster (1997-2003)	19	1.821	5.171
Graduados de Magíster en Ciencias (1997-2003)	12	479	1.059
Graduados de Magíster Ciencias (1990-2003)	27	479	2.552
Graduados de Doctorado (1997-2003)	17	144	369
Graduados de Doctorado en Ciencias (1997-2003)	15	125	289
Graduados de Doctorado Ciencias(1990-2003)	14	125	313

A las tasas actuales de crecimiento, en 2010 se graduarán 289 doctores en Ciencia y Tecnología. Si la meta es producir 1.000 doctores ese año, las tasas de crecimiento del sistema de doctorado deberían más que duplicarse, a 35% anual. De mantenerse el ritmo de crecimiento actual, Chile llegará en 2014 al nivel de doctores graduados por habitante al año que tuvo Brasil en 2002.

Las condiciones actuales de desarrollo del sistema universitario en Chile, permiten prever un crecimiento importante en la preparación de recursos humanos de nivel de posgrado de reforzarse las políticas para ello. Entre las bases que permiten esta aseveración se cuenta el incremento de la población estudiantil de pregrado, el hecho que se ha consolidado un gran número de programas de Magíster y de Doctorado, de calidad acreditada, que estos programas tienen en la actualidad, por lo general, un número bajo de estudiantes cada uno, y que los graduados del sistema constituyen un elemento nuevo que no existía hasta hace algunos años atrás y que pueden acrecentar el sistema. Por ello se justifica pensar que para aumentar las tasas de crecimiento del sistema de posgrado, la inversión incremental futura por estudiante graduado será inferior a la realizada hasta hoy.

Publicaciones y Patentes

Nibaldo C. Inestrosa (*Coordinador*), Bernardita Méndez, Jorge Allende,
Manuel Krauskopf y Eduardo Soto

Resumen- Los puntos más importantes de este análisis apuntan a conocer lo que ocurre con las publicaciones chilenas, tanto en un contexto dinámico (comparando períodos de tiempo y aumento de la productividad), en un contexto internacional (comparando la contribución de Chile con diferentes países y su contribución regional y mundial) y, finalmente, lo que ocurre con las principales instituciones académicas (analizando las disciplinas que contribuyen de forma más importante a nivel de publicaciones).

El estudio analiza el aumento de la contribución general de Chile a partir de 1993 y cómo las diferentes disciplinas han evolucionado comparando los períodos 1993-1997 y 1998-2003, lo cual da cuenta del cambio de énfasis entre esos dos períodos. Claramente hay un aumento sostenido del número de publicaciones, especialmente para algunas de las áreas analizadas.

El análisis comparado de la productividad en diferentes disciplinas básicas permite conocer cómo se ubica Chile en el contexto regional y mundial. En un número importante de disciplinas Chile está en un muy buen pie a nivel regional y en la comparación directa con nuestros vecinos pero, sólo con un par de excepciones, la Ciencia Nacional se encuentra muy por detrás de países desarrollados. Los números positivos son válidos al analizar el impacto promedio de las publicaciones nacionales en cada área, pero eso no es cierto al mirar el número de publicaciones en donde Chile tiene una cuantía bastante inferior a Argentina, Brasil o México, y desde luego muy lejos de los países desarrollados. A pesar de ello, al analizar la producción de publicaciones totales por habitante, Chile está muy por sobre el promedio de la región y mejor que Argentina, Brasil y México, pero lejos de los países desarrollados que, en la mayoría de los casos, cuadruplican las publicaciones por habitante que logró nuestro país en el período. El aporte de Chile a la ciencia mundial se hace más claro al analizar la contribución nacional considerando el *Índice de Atracción* (IA) que considera no solo publicaciones sino el impacto que tienen en la ciencia mundial según el número de citas. Con ese parámetro sobresale bastante la Astronomía, y muestran su importancia en el contexto mundial disciplinas como Medio Ambiente/Ecología, Medicina Reproductiva, Fisiología y Ciencias de la Tierra.

Otro de los puntos importantes que aborda el análisis dice relación con la forma en que las instituciones nacionales distribuyen su material publicado en las diversas disciplinas de interés. La tendencia general es que las universidades más grandes de la Región Metropolitana concentren parcialmente sus publicaciones en áreas como Medicina y Astronomía, pero existe un gran porcentaje (más de 50%) de las publicaciones en áreas con menos de 2% de contribución al total de las publicaciones; eso habla de una mayor variedad de disciplinas que contribuyen a las publicaciones que producen esas instituciones. Otro punto importante es que universidades regionales muestran diversidad pero concentran sus publicaciones en áreas específicas, que en general se relacionan con un componente geográfico y medio ambiental. El ejemplo más claro de esta focalización es la Universidad de los Lagos la cual, en el período analizado, publicó más de la mitad de su producción en Ciencias Acuáticas.

En el contexto general, Chile sigue avanzando a un ritmo constante focalizando sus esfuerzos en algunas áreas dependiendo de la institución universitaria que produce las publicaciones. El país muestra un aumento tanto en el número de publicaciones como en su calidad, pero aún estamos muy lejos de los niveles de países desarrollados. El impacto de las

publicaciones en Chile es bueno al compararlo con la región, por lo cual es importante mantenerlo o aumentarlo de la mano con el número de publicaciones.

Para el caso de las patentes de invención se analizó lo que ocurre con la dinámica de solicitud de patentes (considerando como parámetros la solicitud de patentes en USA y Chile), lo que ocurre con Chile en un contexto internacional (comparando con diferentes países de la región y fuera de América), y las instituciones chilenas que se interesan por la obtención de patentes (analizando lo que ocurre con las universidades y con instituciones privadas nacionales).

De 1993 a 2003 la solicitud de patentes tanto en USA como en Chile por parte de chilenos ha tenido un aumento sostenido, lo cual no ha ocurrido con el número de patentes concedidas, que se ha mantenido e incluso ha disminuido en los últimos años del período analizado. En cuanto al número, Chile representa solo 0,01% de la solicitud de patentes en USA en 2003 y el 7,3% de las solicitudes presentadas en Chile. Ésto contrasta con el 55% con el cual USA contribuye en solicitudes en Norte América.

En el contexto internacional, Chile se ubicó siempre en el último lugar de los países analizados, tanto en solicitudes como en concesiones de patentes en USA. Sólo si el análisis se hace por habitante, Chile sale en un mejor pie frente a países latinoamericanos como Brasil y México pero por detrás de Argentina. La comparación con países desarrollados o emergentes posiciona a Chile muy lejos de lo que solicitan y logran esos países en patentes.

De las pocas patentes que se solicitan por parte de instituciones nacionales, las solicitudes identificadas como de universidades, fundaciones o institutos, corresponden a 4,4% de las solicitudes totales presentadas por entidades nacionales en el período 1995-2004, mientras que 10,6% son de empresas nacionales. Dentro de las instituciones universitarias destaca la Universidad de Concepción.

Con estos datos es muy claro que en Chile existe un nivel muy bajo de patentamiento absoluto y relativo a otros países con lo cual queda clara la necesidad de un salto "cualitativo" en la solicitud de patentes el cual debiera ir de la mano del desarrollo de una "cultura" de patentamiento.

Introducción

El análisis de la productividad científica puede considerar una amplia variedad de contribuciones, desde resúmenes de trabajos presentados en reuniones científicas hasta el número de patentes concedidas en las diferentes disciplinas. Desde luego la cuantificación de algunos ítems se hace muy difícil, es por ello que en puntos tan importantes como el aporte a la formación de nuevos estudiantes, la docencia de alta calidad y diferentes documentos como tesis o informes no son considerados en este análisis. Con estas consideraciones, es importante establecer una visión de nuestro país en un contexto dinámico interno y cómo nos ubicamos al realizar una comparación con nuestros vecinos de la región y con países desarrollados, con la idea de establecer nuestra contribución en el contexto mundial.

1. Publicaciones

2.1. Recolección de la información

La información analizada en el presente estudio fue extraída de bases de datos generadas por el Institute for Scientific Information (ISI) de Philadelphia, Estados Unidos. Para este estudio se utilizaron las bases de datos detalladas a continuación:

- *ISI 1981-2003*: contiene aquellas publicaciones de revistas ISI en las cuales el (los) autor(es) figure(n) con dirección en Chile hasta el año 2003. Esta base de datos fue estandarizada con el propósito de corregir los errores de nombres y organizaciones. Conjuntamente, los resúmenes de presentaciones a congresos, además de las correcciones de artículos publicados fueron excluidos del presente estudio.
- *NSIOD DELUXE 2003*: Esta base de datos contiene información acerca de la productividad científica de 183 países y conglomerados de éstos (*i.e.* Comunidad Europea y Latinoamérica), que permiten realizar una comparación de los datos recolectados en este estudio en parámetros tales como la productividad de artículos por país durante un período definido o impacto de la investigación producida en una disciplina determinada.
- *Web of Science, WOS*: consiste en una base de datos multidisciplinaria que reúne tres diferentes bases de citas: Science Citation Index, el cual agrupa mas de 5.700 revistas que cubren 164 disciplinas científicas; Social Sciences Citation Index y Arts & Humanities Citation Index. Esta base de datos fue utilizada de forma complementaria a ISI 1981-2003 para categorizar por institución las diferentes publicaciones ISI generadas durante 2004. Nuevamente, se eliminaron del recuento los resúmenes de presentaciones a congresos y las correcciones de artículos publicados.

2.2. Productividad total en ciencias en Chile

La Figura 4.1 muestra el número total de publicaciones registradas por ISI, originadas en Chile a partir de 1993. En el análisis no se incluyeron resúmenes a congresos o correcciones de artículos publicados previamente. Al comparar el número de publicaciones con el estudio 1993 de la Academia de Ciencias, es aparente que las publicaciones del país se duplicaron en 10 años. En lo más específico del período se puede apreciar una relativa estabilidad en el número de publicaciones generadas entre 1993 y 1998 (6 años) desde 1.252 a 1.580. Posteriormente se observa un claro aumento en el número de publicaciones entre 1998 y 2003 (6 años), desde 1.580 a 2.550. Existen diversas razones que podrían justificar el aumento. El impacto de los Centros FONDAP y de los Institutos y Núcleos Milenio podría explicar en parte el incremento en la producción de artículos, junto con el aumento en el ingreso de estudiantes de pre y posgrado en áreas de importante contribución científica.

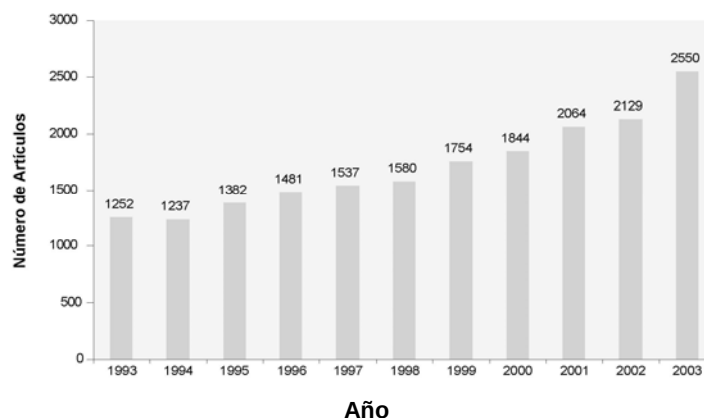


Figura 4.1. Número total de publicaciones en el período 1993-2003. Se muestra el análisis por año.

2.3. Productividad en Diversas Disciplinas Básicas

Para el análisis de productividad en disciplinas básicas, se realizó un estudio comparado en cada disciplina en relación con diversos países latinoamericanos y europeos, además de países con un número de habitantes similar al de Chile, como es el caso de Australia. En Matemáticas (Tabla 4.1) durante 1993-2003 se publicaron 629 artículos ISI con un impacto promedio de 2,67, casi el doble de México (1,69) y superior al de Latinoamérica (2,4). Además, Chile se encuentra al mismo nivel de países más desarrollados como Alemania (2,76), Japón (2,26) y España (2,26), y a niveles similares a los de Francia (3,02), Israel (3,15), la Unión Europea (3,12) y el conjunto de países de Asia Pacífico sin Japón (2,38). Solo UK (3,93) y USA (4,07), superan en alrededor de un punto el impacto promedio nacional. Es importante destacar que, durante el período 1993-2003, Chile solo superó en número de publicaciones a Argentina (en relación a los otros países comparados). En términos generales, la productividad de artículos en esta disciplina es un tercio de lo que publica Brasil, y muy por debajo de Alemania (14.071), Francia (17.011) y UK (10.044). Chile aparece bien situado en comparación con Australia, que tiene un impacto promedio de 3,4; sin embargo publican seis veces más (3.736) que Chile. Las matemáticas chilenas requieren básicamente aumentar el número de publicaciones y el capital humano, ya que el nivel de calidad está en promedio a la altura de lo mejor del mundo.

Tabla 4.1. Análisis de la productividad científica durante el período 1993-2003 en la disciplina Matemáticas		
	Impacto	Publicaciones
Argentina	2,24	542
Australia	3,34	3.736
Brasil	2,30	2.040
Canadá	3,07	7.943
Chile	2,67	629
Francia	3,02	17.011
Alemania	2,76	14.061
Israel	3,15	4.348
Japón	2,26	8.057
México	1,69	852
Nueva Zelanda	2,70	728
España	2,26	6.162
UK	3,93	10.044
USA	4,07	52.139
Asia Pacífico (sin Japón)	2,38	21.307
Unión Europea	3,12	61.644
América Latina	2,40	4.522

En cuanto a la Física (que incluye en este caso Física, Óptica y Acústica, y Física Aplicada/Materia Condensada) se ve en la Tabla 4.2 que Chile muestra un nivel de impacto de 6,1 alcanzando 1.387 publicaciones en el período 1993-2003. En esta área Chile se encuentra muy por sobre el promedio Latinoamericano (4,8) y con un nivel similar a lo que muestra Japón (6,3) mostrándose por sobre países de la región como Argentina (5,6), Brasil (4,9) y México (4,0). Con niveles un poco superiores se encuentran países como Australia (7,2), España (7,2), Nueva Zelanda (7,3), Francia (7,8), y la Unión Europea (7,8). Con niveles más importantes en el impacto se encuentran Alemania (8,8), UK (9,0), Israel (9,3) y USA (11,9). El análisis del número de publicaciones sitúa a Chile en el último lugar de los países analizados. Países como Argentina, que tienen un impacto ligeramente menor que Chile, publican cinco veces más que Chile y, por otro

lado, Australia con un impacto de 7,2 publicó más de diez veces lo que publicó Chile en el período 1993-2003 en esta área. A nivel latinoamericano Chile se posiciona bien en relación al impacto pero solamente publica alrededor del 4% de la producción de América Latina que alcanza a 35.007 artículos. Esto se compara con el hecho que Chile tiene alrededor del 10% de las publicaciones de la región latinoamericana. Estos datos nos dicen que la física chilena es mucho más pequeña que el resto de las disciplinas. A pesar de que el área de la Física en Chile tiene un nivel de impacto comparable a países más desarrollados, se requiere aumentar fuertemente el número de publicaciones, probablemente con un aumento en el número de investigadores.

Tabla 4.2. Análisis de la productividad científica durante el período 1993-2003 en la disciplina Física. (La clasificación disciplinaria incluye en este caso Física, Óptica y Acústica, y Física aplicada/Materia Condensada)		
	Impacto	Publicaciones
Argentina	5,6	6.421
Australia	7,2	16.524
Brasil	4,9	17.288
Francia	7,8	83.325
Alemania	8,8	111.934
Israel	9,3	15.626
Japón	6,3	135.953
México	4,0	9.487
Nueva Zelanda	7,3	1.981
España	7,2	26.869
UK	9,0	65.372
USA	11,9	234.311
Chile	6,1	1.387
Asia Pacífico (sin Japón)	4,1	163.735
Unión Europea	7,8	360.535
América Latina	4,8	35.007

En relación a Química, la Tabla 4.3 muestra que en 1993-2003 se publicaron 2.741 artículos de corriente principal con un impacto promedio de 4,1. El impacto promedio de Chile es inferior al de Latinoamérica (4,8) siendo cercano al de Argentina (4,6), encontrándose en un rango similar los países del Asia Pacífico sin Japón con un impacto de 5,0. Luego vienen países con impactos medios como son los casos de España (7,9), Nueva Zelanda (8,0) y Japón (8,3) los que tienen valores de impacto 2 veces por sobre el chileno. Por su parte los países más desarrollados como UK, Canadá, Francia, Alemania y la Unión Europea, tienen impactos alrededor de 2,5 veces superior al chileno. Es el caso de USA, que tiene un impacto de 13,1 esto es más de 3 veces por sobre Chile. Australia tiene un impacto de alrededor de 9,1, que es 2 veces el de Chile, y el número total de trabajos publicados por investigadores de Química en nuestro país alcanza a 16% del logrado por los australianos. Del análisis realizado se observa que el área de la química en Chile tiene el nivel más bajo en relación a países más desarrollados, con un impacto similar a Argentina (4,6) y México (4,7). No sólo se requiere aumentar fuertemente el número de publicaciones, sino también su impacto.

Tabla 4.3. Análisis de la productividad científica durante el período 1993-2003 en Química. (La clasificación disciplinaria incluye en este caso Química, Química Agrícola, Química y Análisis, Química Inorgánica y Nuclear, Química Orgánica/Ciencia de Polímeros y Fisicoquímica).

	Impacto	Publicaciones
Argentina	4,6	6.082
Australia	9,1	17.072
Brasil	4,8	10.247
Francia	9,3	67.719
Alemania	10,0	100.529
Israel	10,0	100.529
Japón	8,3	133.264
México	4,7	4.756
Nueva Zelanda	8,0	3.865
España	7,9	41.734
UK	10,7	69.397
USA	13,1	250.562
Chile	4,1	2.741
Asia Pacífico (sin Japón)	5,0	160.018
Unión Europea	9,7	359.997
América Latina	4,8	26.565

El análisis de la Astronomía deja en excelente pie a Chile al analizar el impacto de las publicaciones (Tabla 4.4). Chile pertenece al grupo de vanguardia con valores muy similares a UK (14,9) o USA (14,9) y es superado por un margen estrecho por Israel (15,3), Australia (15,7) y el líder Alemania (16,2). Chile (14,8) se ubica por sobre países del primer mundo como Francia (13,1) y por sobre el promedio de la Unión Europea (12,9) además de Japón (11,3), España (11,0) y Latino América (11,0). El nivel de impacto que muestra Chile en esta área está muy por sobre vecinos de la región como Argentina (8,1) y Brasil (9,6) o países como México (9,9) o Nueva Zelanda (8,8) y regiones como Asia Pacífico sin Japón (9,5). En número de publicaciones se observan grupos bien marcados donde USA y la Unión Europea muestran un número de publicaciones que rodea las 45 mil; otro grupo compuesto por Francia, Alemania, UK y Asia Pacífico sin Japón, muestra un número de publicaciones del orden de 10 mil; un tercer grupo con publicaciones de alrededor de 4 a 5 mil está compuesto por Australia, Japón, España y Latino América. Chile se encuentra en un cuarto grupo con menos de 2 mil publicaciones junto a Brasil, Israel y México. El quinto grupo lo cierran Argentina y Nueva Zelanda con menos de mil publicaciones en el período analizado. El número de publicaciones de Chile está muy por debajo de la mayoría de los países analizados pero es superior a países de la región y esto, sumado al nivel de impacto que alcanza la disciplina, posiciona a Chile en un buen lugar en el contexto mundial. Desde luego para el caso específico hay que considerar el aporte de instituciones internacionales que trabajan en el país. Es también importante aumentar el número de publicaciones manteniéndose el nivel de impacto.

En relación a Biología, se decidió desagregar a la “Ecología/Ciencias Ambientales y Ciencias Acuáticas”, del conjunto de las “Ciencias Biomédicas”, incluyendo esta última a Biología General, Biología del Desarrollo, Farmacología y Toxicología, Fisiología, Bioquímica y Biofísica.

Tabla 4.4. Análisis de la productividad científica durante el período 1993-2003 en la disciplina Astronomía		
	Impacto	Publicaciones
Argentina	8,1	929
Australia	15,7	3.680
Brasil	9,6	1.695
Francia	13,1	9.265
Alemania	16,2	11.360
Israel	15,3	1.207
Japón	11,3	5.936
México	9,9	1.648
Nueva Zelanda	8,8	308
España	11,0	4.718
UK	14,9	13.383
USA	14,9	45.296
Chile	14,8	1.965
Asia Pacífico (sin Japón)	9,5	9.737
Unión Europea	12,9	44.635
América Latina	11,0	6.107

Tabla 4.5. Análisis de la productividad científica durante el período 1993-2003 en la disciplina Ecología. (En este caso la clasificación disciplinaria incluye Ecología/Ciencias Ambientales y Ciencias Acuáticas).		
	Impacto	Publicaciones
Argentina	4,6	1.961
Australia	7,7	13.851
Brasil	4,4	3.590
Francia	7,2	13.676
Alemania	6,9	16.267
Israel	6,3	2.892
Japón	4,4	15.340
México	3,4	3.377
Nueva Zelanda	7,1	4.250
España	5,8	10.102
UK	9,1	24.509
USA	9,0	102.575
Chile	4,4	1.723
Asia Pacífico (sin Japón)	5,4	38.214
Unión Europea	7,6	94.930
América Latina	4,8	12.599

La Tabla 4.5, muestra que para el conjunto Ecología entre 1993-2003 se publicaron 1.723 artículos con un impacto en esta área que alcanza 4,4 para Chile. Con ello, Chile se encuentra al mismo nivel de países como Brasil (4,4) o Japón (4,4); ligeramente por debajo de Argentina (4,6) y del promedio de Latino América (4,8), superando a México (3,4). Este nivel de impacto se encuentra a un nivel menor pero similar a países del Asia Pacífico sin Japón (5,4), España (5,8) e Israel (6,3). Aún más arriba en el nivel de impacto se encuentran Alemania (6,9) Nueva Zelanda

(7,1) Francia (7,2), Unión Europea (7,6) y Australia (7,7). Lideran el análisis USA (9,0) y UK (9,1). Al analizar el número de publicaciones, Chile se ubica en último lugar con tan sólo 1.723 publicaciones en el período 1993-2003. Los países que muestran niveles similares o menores en el impacto de sus publicaciones llegan a duplicar, en varios casos, el número de publicaciones que produce Chile (Brasil con 3.590 o México con 3.377). En esta área no existe una dispersión muy importante en los niveles de impacto que muestran los países analizados, pero claramente Chile está al final cuando se analiza la producción científica en número de publicaciones. Chile produce tan sólo 13,6% de la producción de Latino América (1.723 contra 12.599) y con un impacto 4 décimas menor que el promedio. Aunque este análisis sugiere que la Ecología y las Ciencias Ambientales tienen un impacto similar al de los países más desarrollados, no es menos cierto que se requiere un mayor desarrollo para aumentar su productividad. Esta situación parece estar sucediendo, ya que dentro del área biológica esas disciplinas son de las que más han crecido cuando se compara el período 1993-1997 con el período 1998-2003 (130,7%) (ver Figura 4.2).

En el caso de las Ciencias Biomédicas, los 1.293 artículos publicados con un impacto de 8,98 (Tabla 4.6), nos indican que Chile representa sólo 8,1% de la producción científica latinoamericana. Sin embargo, es importante destacar que el impacto de las publicaciones chilenas es superior (38%) al de los países latinoamericanos, siendo un 30-32% superior a México y Argentina y alrededor de 46% por sobre Brasil. Por su parte Chile se encuentra muy cerca de España y los países del Asia Pacífico sin Japón en términos de impacto, y alrededor de 63% por debajo de países como Francia, Japón y Nueva Zelanda. Al comparar el impacto de las publicaciones con la Unión Europea, UK, Alemania, Israel y Canadá, la diferencia observada es aún mayor. Respecto a USA, las publicaciones generadas por Chile corresponden a 0,65% del total de publicaciones y un impacto tres veces menor al de ese país. En comparación con Australia el impacto chileno es solo 35% menor; sin embargo el número de trabajos publicados por investigadores del área Biomédica solo alcanza a 9,17% respecto de los australianos.

Tabla 4.6. Análisis de la productividad científica durante el período 1993-2003 en Ciencias Biomédicas. (La clasificación disciplinaria incluye en este caso Biología, Biología del Desarrollo, Farmacología y Toxicología, Fisiología, Bioquímica y Biofísica)		
	Impacto	Publicaciones
Argentina	5,94	3.515
Australia	14,13	14.099
Brasil	4,84	6.475
Canadá	19,33	27.901
Chile	8,98	1.293
Francia	14,41	34.178
Alemania	20,44	42.160
Israel	17,78	6.857
Japón	13,13	59.921
México	6,26	2.565
Nueva Zelanda	14,25	3.116
España	10,82	14.154
UK	19,74	52.518
USA	27,95	197.025
Asia Pacífico (sin Japón)	10,01	42.122
Unión Europea	17,85	182.374
América Latina	5,50	15.879

Para las Ciencias de la Tierra durante el período 1993-2003 (Tabla 4.7) el nivel de impacto que muestra Chile es de 6,0, ligeramente superior a países latinos como Brasil (5,9) y México (5,8). Con ese mismo nivel de impacto se encuentra España (5,7) y con niveles levemente superiores Asia Pacífico sin Japón (6,2) y Japón (6,5). En este aspecto Argentina se queda muy atrás con un nivel de impacto ISI de 3,8. El promedio de Latinoamérica es de 5,4. Los datos posicionan a Chile por detrás de países como Australia (9,5), Francia (9,3), Alemania (9,2), UK (9,8), USA (12,0) y la Unión Europea (8,4). Las diferencias de impacto no son de un gran rango pero cuando se analiza el número de publicaciones Chile se ubica en el último lugar (de los países analizados) con tan sólo 576 publicaciones. Países con un índice de impacto cercano a 6,0 al menos triplican a Chile en el número de publicaciones científicas en esta área. Por ejemplo, Brasil con 2.009 publicaciones o España con 4.585. A pesar que Chile se ubica con un índice de impacto superior al de la región (6,0 contra 5,4 de Latino América) el número de publicaciones en el área es bajo. Pero hay que destacar que las Ciencias de la Tierra es una de las disciplinas mejor evaluadas en su contribución con respecto al mundo (ver más abajo lo que ocurre con el Índice de Atracción).

Tabla 4.7. Análisis de la productividad científica en Ciencias de la Tierra durante el período 1993-2003.		
	Impacto	Publicaciones
Argentina	3,8	1.450
Australia	9,5	9.764
Brasil	5,9	2.009
Francia	9,3	17.755
Alemania	9,2	17.098
Israel	7,4	1.465
Japón	6,5	10.411
México	5,8	1.350
New Zelanda	7,9	2.599
España	5,7	4.585
UK	9,8	22.385
USA	12,0	73.175
Chile	6,0	576
Asia Pacífico (sin Japón)	6,2	26.925
Unión Europea	8,4	75.088
América Latina	5,4	6.143

Para el análisis de la disciplina Agropecuaria se incluyen en este estudio Agricultura/Agronomía y Medicina Veterinaria/Salud Animal. En esta área Chile se encuentra en el grupo de países con menor impacto ISI (2,1) y con menor número de publicaciones de todos los países analizados (tan sólo 500 publicaciones) (Tabla 4.8). Países como Francia (4,5), Israel (5,5), México (4,1), España (4,1) o la Unión Europea (5,1) están cercanos a duplicar el nivel de impacto de las publicaciones chilenas en esta área. Países como Australia (5,7), USA (6,4) o UK (8,0) están muy por sobre Chile. El promedio nacional tan sólo supera a Brasil (1,6) en el nivel de impacto. Es superado por Argentina (3,6), Japón (3,7), y Asia Pacífico sin Japón (3,2). Chile incluso está por debajo del promedio de la región. Latino América muestra un nivel de 2,5 *versus* 2,1 que tiene Chile. En porcentaje Chile solo tiene 5,7% de las publicaciones de América Latina en esta área. Es preocupante que, además del bajo impacto, el número de publicaciones está muy por debajo de los niveles de todos los países analizados, incluido Brasil que, a pesar de tener un nivel de impacto menor que Chile, tiene un número de publicaciones siete veces mayor. Países como Argentina, Israel y México al menos duplican a Chile en el número de publicaciones. Chile se encuentra muy

lejos del número de publicaciones que alcanzan Francia (8.712) o Australia (11.814) los cuales aún están lejos de liderar los lugares en la lista de impactos y número de publicaciones ISI en el área.

Tabla 4.8. Análisis de la productividad científica durante el período 1993-2003 en la disciplina Agropecuaria. (La clasificación disciplinaria incluye Agricultura/Agronomía, y Medicina Veterinaria/Salud Animal		
	Impacto	Publicaciones
Argentina	3,6	1.272
Australia	5,7	11.814
Brasil	1,6	3.891
Francia	4,5	8.712
Alemania	2,7	19.713
Israel	5,5	1.420
Japón	3,7	12.006
México	4,1	1.008
Nueva Zelanda	5,4	3.415
España	4,1	3.645
UK	8,0	18.428
USA	6,4	70.078
Chile	2,1	500
Asia Pacífico (sin Japón)	3,2	33.544
Unión Europea	5,1	72.129
América Latina	2,5	8.710

Tabla 4.9. Análisis de la productividad científica en Ingeniería durante 1993-2003. La clasificación incluye en este caso Ingeniería Química, Ingeniería Civil, Ingeniería y Ciencias de la Computación, Economía, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Ingeniería en Minas/Petróleo/ Geología e Ingeniería Mecánica.		
	Impacto	Publicaciones
Argentina	3,1	1.663
Australia	3,4	14.112
Brasil	2,2	4.576
Francia	3,8	25.522
Alemania	3,4	31.662
Israel	4,2	6.509
Japón	3,0	46.975
México	2,6	1.862
Nueva Zelanda	2,9	2.183
España	3,9	10.771
UK	3,8	46.771
USA	4,9	193.469
Chile	2,8	879
Asia Pacífico (sin Japón)	2,4	92.252
Unión Europea	3,6	166.718
América Latina	2,5	10.108

El análisis de la Ingeniería incluye: Ingeniería Química, Ingeniería Civil, Ingeniería y Ciencia de la Computación, Economía, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Ingeniería en Minas/Petróleo/Geología e Ingeniería Mecánica. Entre 1993-2003 las diferencias en niveles de impacto entre los países analizados son bajas. El país con el menor nivel de impacto es Brasil con 2,2; en el otro extremo está USA con tan sólo 4,9. No existe una importante dispersión en los datos y los valores se ubican alrededor de 3,0 (Tabla 4.9). Chile con un impacto de 2,8 está a niveles similares de países como México (2,6), Nueva Zelanda (2,9), Japón (3,0) y Argentina (3,1); supera el promedio de América Latina (2,5) y de Asia Pacífico sin Japón (2,4). Países como Australia (3,4) Alemania (3,4), Francia (3,8), UK (3,8), España (3,9), Israel (4,2) y USA (4,9) y la Unión Europea (3,6), superan a Chile en impacto, pero los números en ningún caso duplican los niveles de Chile. Esto contrasta con el número de publicaciones del área, donde Chile, con tan solo 879 publicaciones se ubica en el último lugar de los países analizados; incluso Argentina (1.663), que ocupa el penúltimo lugar, alcanza un número que casi duplica la contribución de Chile. Esto habla de una producción de nivel razonable, en relación al impacto, pero claramente de números muy bajos. En este punto hay que notar que solo algunas disciplinas de la ingeniería fueron consideradas para este análisis.

2.4. Cambio de énfasis de la Ciencia Chilena

Luego se realizó un análisis respecto al cambio de énfasis de la Ciencia chilena, visto a través de las publicaciones de las distintas áreas, como porcentaje del total de los artículos originados en Chile y registrados por el ISI en los períodos indicados. La Figura 4.2, muestra el cambio de escenario científico nacional entre 1993-1997 y 1998-2003, resultante de la distinta dinámica de desarrollo experimentada por las disciplinas específicas. Al analizar el porcentaje de incremento en las diferentes áreas se encuentra que algunas llegaron a duplicar el número de publicaciones entre un período y otro. Es el caso de Física, con un incremento de 113,1%, Ingeniería con 140,7%, Ecología (130,7%), Ciencias de la Tierra (132,9%) y Matemáticas (131,1%). Otras áreas mostraron un aumento menor pero no menos importante como Agropecuaria (47,5%), Ciencias Médicas (72,8%), Astronomía (86,4) y Química (63,6%). Estas últimas tres son las áreas (junto a Ecología) con el mayor número de publicaciones, factor que se debe considerar al analizar los aumentos en esos períodos. La Figura 4.3 muestra la tendencia en el número de publicaciones.

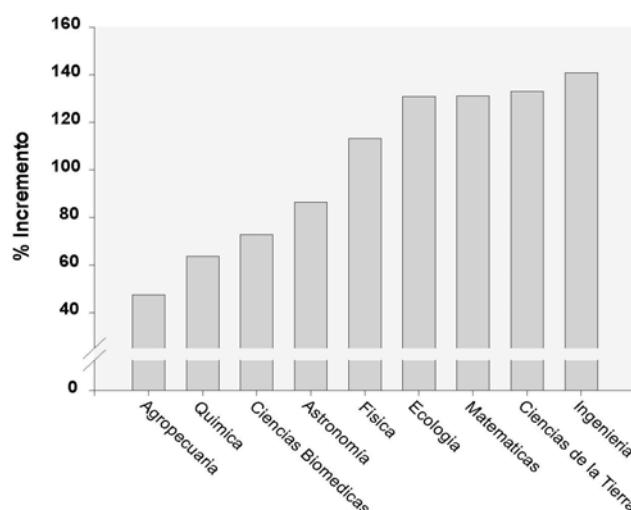


Figura 4.2. Cambio de énfasis de la Ciencia Chilena entre los períodos 1993-1997 y 1998-2003. Se muestra el porcentaje de incremento de las publicaciones por disciplina.

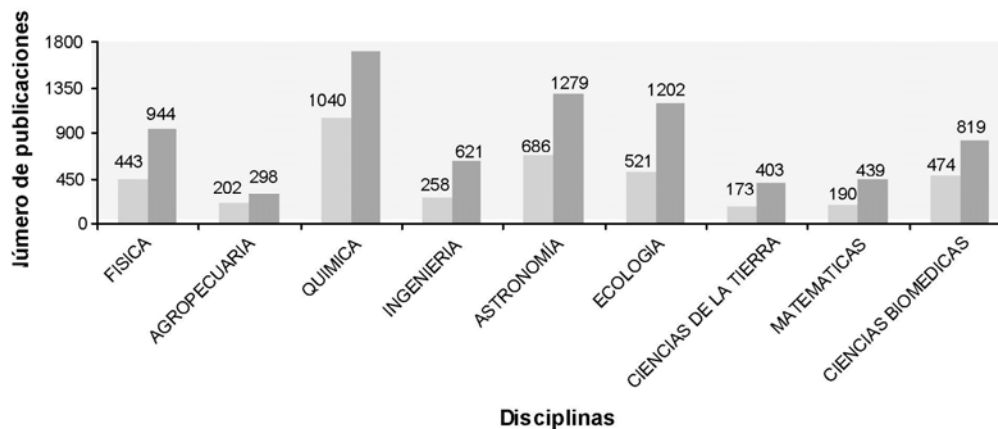


Figura 4.3. Cambio de énfasis de la Ciencia Chilena entre los períodos 1993-1997 y 1998-2003. Se muestra el número de publicaciones por disciplina.

Otro análisis en el contexto mundial es la cuantificación de la productividad científica en todas las disciplinas por habitante, en este caso durante el período 1999-2003. Como muestra la Figura 4.4, en la cual se representan el número de publicaciones por cada 100 mil habitantes, Chile se ubica en buen lugar cuando se compara con los países de la región como Argentina y Brasil, además de México y el promedio de América latina y de Asia Pacífico sin Japón. Nuestro país está muy por debajo del promedio de producción por habitante de países como Australia, Nueva Zelanda, Japón, Unión Europea, Francia, Alemania, Israel España, UK y USA. En este caso la comparación con Australia, que posee un número comparable de habitantes con Chile, nos supera en 10 veces el número de publicaciones por habitante.

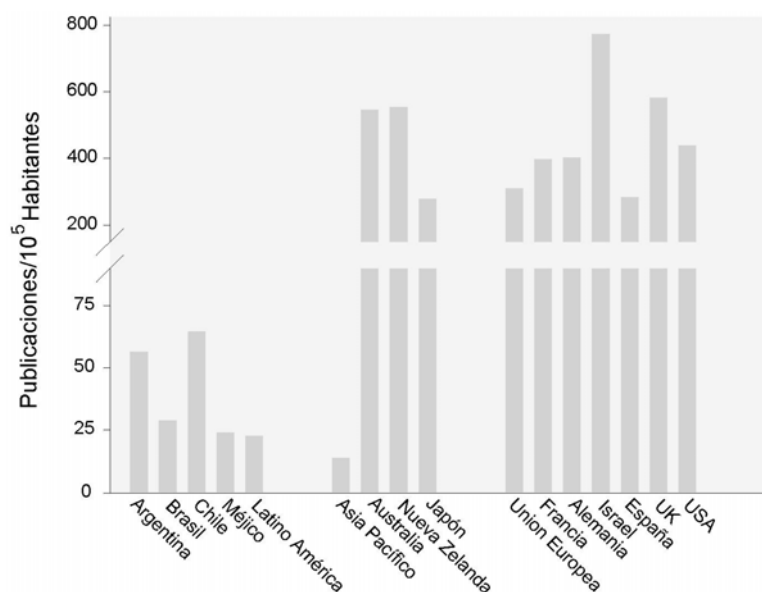


Figura 4.4. Análisis de la productividad científica durante el período 1999-2003 en todas las disciplinas por habitante. Se grafica por cada 100.000 habitantes. Para el cálculo se utilizó la estimación 2005 de la población en los diferentes países.

2.5. La Ciencia Chilena en el concierto mundial y su impacto

Una forma de representar cualitativamente la investigación, es el llamado Índice de Atracción (IA). Un IA de 1,0 significa que el impacto de las publicaciones que se originan en el país en una disciplina dada es similar al que ejerce el promedio mundial en la misma rama del saber, el cual se define como la razón del número de citas en una disciplina determinada atraída por las publicaciones del país, dividido por el número de citas en una disciplina determinada atraída por todas las publicaciones del mundo. La información en la Tabla 4.10 sobre Indicadores Cualitativos de la Investigación Chilena, muestra que aunque la contribución de Chile en las subdisciplinas escogidas (de forma de cubrir el espectro completo), es cuantitativamente escasa, su contenido atrae el interés en términos similares y en algunos casos mayores al promedio mundial. Ello ocurre con claridad en Astronomía (16,6) y en menor medida con Ecología y Medio Ambiente (2,9), Medicina Reproductiva (2,8), Fisiología (2,1), Ciencias de la Tierra (2,1), otro grupo ligeramente por sobre 1,0 como es el caso de Físico Química (1,2) y Farmacología y toxicología (1,1). Si bien las publicaciones generadas en las siguientes disciplinas poseen un menor impacto que el promedio mundial, sus valores son cercanos a 1. Ciencias Vegetales (0,7), Bioquímica y Biofísica (0,7) y Neurociencia y Comportamiento (0,6). Es por ello que en general la contribución de Chile en las áreas analizadas está en un buen nivel en el contexto mundial, desde luego se debe considerar que en términos cuantitativos Chile está lejos de la contribución que realizan los países desarrollados.

Tabla 4.10. Impacto relativo de las publicaciones de Chile el relación al resto del mundo. ^a Índice de Atracción, ver texto.				
	Total Publicaciones	Total Citas	% contribución publicaciones respecto al mundo	IA ^a
Física Aplicada/ Materia Condensada/Ciencia de Materiales	267	517	0,10	0,3
Bioquímica y Biofísica	313	1.656	0,23	0,7
Ciencia de la Tierra	377	1.411	0,37	2,1
Ecología/Medio Ambiente	599	1.650	0,61	2,9
Biología Molecular y Genética	73	334	0,12	0,3
Neurociencia y Comportamiento	230	1.150	0,16	0,6
Farmacología y toxicología	208	765	0,26	1,1
Físico Química	387	1.146	0,27	1,2
Fisiología	75	459	0,36	2,1
Botánica	169	350	0,24	0,7
Medicina Reproductiva	132	522	0,42	2,8
Astronomía	1.167	10.060	2,45	16,6

Con este índice es posible realizar un análisis de la dinámica interna de algunas de las disciplinas consideradas. Al observar lo que ocurre con el IA en el período 1981-1985 (datos que nos entrega el informe anterior de la Academia Chilena de Ciencias) la contribución que realiza la Astronomía en el contexto mundial sigue siendo la más importante de nuestro país. El período anterior muestra un IA de 17,36 mientras que en el período actual corresponde a 16,6. Debido a que el análisis anterior realiza una separación de las disciplinas según un criterio diferente nos es

posible realizar en todos los casos una comparación directa pero en general se observa que Chile ha mantenido el nivel de IA en las diferentes disciplinas analizadas aumentando de forma considerable el número de publicaciones en relación a 20 años atrás. Como se observa en la Tabla 4.11 y realizando una comparación con los datos de la Tabla 4.10, se observa que disciplinas como Neurociencia han tenido una variación de IA de 0,61 a 0,6 con la consideración que en esta área se llegó a cuadruplicar el número de publicaciones. Para Farmacología hay un ligero aumento de 0,81 a 1,1. Para el caso de Ecología hay una ligera disminución de 3,31 a 2,9. En Botánica ocurre una disminución de IA de 1,81 a 0,7 lo cual se correlaciona con que el número de publicaciones en esta área específica no aumentó como otras disciplinas; en los últimos 20 años no se alcanzó a duplicar el número de publicaciones, 98 contra 169. A pesar que se realizó una segregación diferente con las disciplinas, áreas relacionadas a Físico Química mantienen el nivel de IA ligeramente superior a 1,0. Disciplinas relacionadas a Bioquímica y Genética muestran una disminución relativa pasando de niveles superiores a 1,0 a niveles cercanos a 0,5 para el IA. En general la tendencia es a mantener el nivel de IA en la mayoría de las disciplinas lo cual es muy positivo pensando en el aumento explosivo que han tenido las publicaciones a nivel mundial. Chile ha sido capaz de mantener el ritmo de crecimiento en relación a índices cualitativos de la influencia que tiene la ciencia chilena con respecto al resto del mundo.

Tabla 4.11. Tabla extraída del Capítulo XI “Productividad Científica” de la publicación de la Academia Chilena de Ciencias “ <i>Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena</i> ” de 1993. La tabla muestra el período 1981-1985.			
	Número de artículos	% contribución con respecto al mundo	IA
Bioquímica y Biología Molecular	305	0,26	1,00
Biofísica	61	0,19	1,71
Botánica	98	0,25	1,81
Citología e Histología	56	0,18	0,97
Ecología	55	0,46	3,31
Neurociencias	61	0,10	0,61
Farmacia y Farmacología	111	0,14	0,81
Ciencias Físicas	386	0,10	1,61
Astronomía Astrofísica	177	0,78	17,36
Química orgánica	65	0,13	1,04
Físico-Química	81	0,19	1,68
Ciencia de los polímeros	60	0,28	3,36

2.6. Origen de los artículos chilenos

En cuanto al origen de los artículos chilenos entre 2001 y 2004, se utilizaron todas las publicaciones generadas, con excepción de resúmenes de presentación a congresos y correcciones, de todas las universidades chilenas (Tabla 4.12). Se puede apreciar que el grueso de la actividad científica solo se evidencia en las denominadas, universidades de investigación, que incluyen a las Universidades de Chile (3.123), Católica de Chile 1.975), Concepción (1.237), Santiago (725) y Austral de Chile (527). Luego, un segundo grupo entre 293 y 216 publicaciones, donde aparecen las universidades Técnica Santa María, Católica de Valparaíso, Católica del Norte y La Frontera. Más atrás, configurando un tercer grupo con un rango entre 131 a 66 artículos, aparecen las universidades de Valparaíso, Antofagasta, Talca, Andrés Bello, La Serena y Los Lagos. Respecto a

la producción de universidades *versus* otros (Clínicas, Institutos, Observatorios), se realizó un análisis inicial del año 2004 donde se observó que existían aproximadamente 8% de publicaciones no generadas por universidades asociadas. Si esto datos se sostienen para un período más largo de tiempo significa que las universidades siguen liderando las publicaciones científicas en el país, contribuyendo con alrededor de 90% del total de artículos publicados.

Tabla 4.12. Origen de los artículos chilenos publicados entre los años 2001 y 2004	
	2001 - 2004
Universidad de Chile	3.123
Pontificia Universidad Católica de Chile	1.975
Universidad de Concepción	1.237
Universidad de Santiago	725
Universidad Austral de Chile	527
Universidad Técnica Federico Santa María	293
Universidad Católica de Valparaíso	247
Universidad Católica del Norte	226
Universidad de la Frontera	216
Universidad de Valparaíso	131
Universidad de Antofagasta	139
Universidad de Talca	99
Universidad Andrés Bello	82
Universidad de los Lagos	66
Universidad de La Serena	70

Al realizar un análisis de las áreas en la cuales las instituciones publican nos encontramos con diferentes distribuciones en la áreas analizadas lo cual está influido, entre otros factores, por la ubicación geográfica de las instituciones.

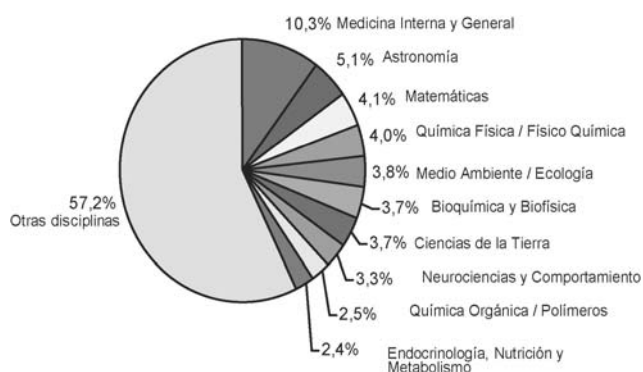


Figura 4.5. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad de Chile.

El análisis de las áreas principales de publicación en la Universidad de Chile (Figura 4.5) muestra que las disciplinas con un mayor porcentaje de publicaciones son, Medicina General e Interna (10,3%) y Astronomía (5,1%). Más atrás se encuentra Matemática (4,1%), Físico Química (4,0), Medio Ambiente/Ecología (3,8%), Bioquímica y Biofísica (3,7%), al igual que Ciencias de la Tierra con 3,7%, Neurociencia y Comportamiento (3,3%), y finalmente Química Orgánica/Ciencia de Polímeros (2,5%) y Endocrinología, Nutrición y Metabolismo (2,4%). Un fenómeno es el alto porcentaje de publicaciones en la categorías Otras Disciplinas (57,2%) lo cual indica la variedad de áreas de esta universidad que contribuyen al importante número de publicaciones de la institución. Otra observación es que el área de mayor publicación es Medicina General e Interna lo cual tiene una explicación relacionada con la interacción del Hospital Clínico asociado a la Universidad y la demanda en salud de una institución ubicada en la ciudad más grande del país.

La Figura 4.6 muestra que la Universidad Católica de Chile tiene una distribución homogénea en Química y Análisis (2,2%), Sistema Cardiovascular y Respiratorio (2,5%), Física Aplicada/Materia Condensada/Ciencia de Materiales (2,7%), Ciencias Acuáticas (3,3%), Física (3,6%), Investigación Médica de Órganos y Sistemas (3,6%), Más arriba están Medio Ambiente/Ecología (4,0%) y Química Orgánica/Ciencia de Polímeros (4,3%). Las dos áreas con un mayor porcentaje de publicación son Astronomía (8,7%) y Medicina General e Interna (9,2%). El 55,7% de publicaciones dedicadas a otras áreas (Figura 4.2), da cuenta de una importante variedad del quehacer científico. Estas dos últimas características las comparte con la Universidad de Chile.

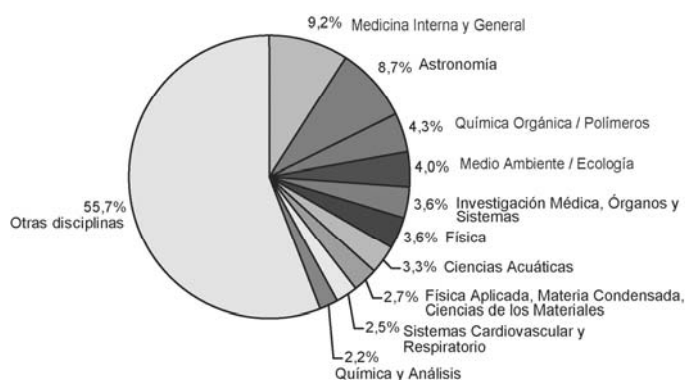


Figura 4.6. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Pontificia Universidad Católica de Chile.

La Universidad de Concepción muestra (Figura 4.7) en el período 2001-2003 una variedad mucho menor que la Universidad de Chile o la Universidad Católica de Chile con 39,9% de publicaciones en la categoría Otras disciplinas. La Universidad de Concepción muestra especialización en Astronomía (9,1%) y Medio Ambiente/Ecología (9,0%). Otras áreas rodean el seis por ciento como las Ciencias Acuáticas (6,5%), Química (6,1%) y Ciencias de la Tierra (6,0%). Más abajo, pero con un porcentaje de publicación importante, aparecen Química Orgánica/Ciencia de Polímeros (5,1%), Físico Química (4,9), Matemáticas (4,8%), Ingeniería Química (4,5%) y finalmente Ciencia de Materiales e Ingeniería (4,0%).

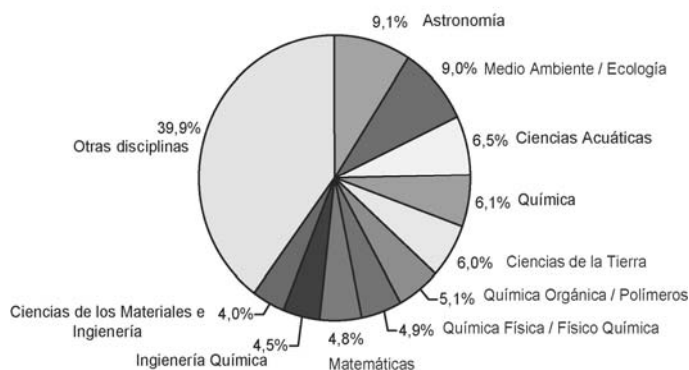


Figura 4.7. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad de Concepción.

La Universidad de Santiago (Figura 4.8) aparece con especial contribución de publicaciones en las áreas relacionadas con la Química y la Física. Aparece en primer lugar Física (13,4 %), después Química (10,4%), Físico Química (7,5%), Física Aplicada/ Materia Condensada/Ciencia de Materiales (6,6%), Bioquímica y Biofísica (5,4%), Química Orgánica/Ciencia de Polímeros (5,2%), más atrás aparece Espectroscopia/ Instrumentación/Ciencias Analíticas (3,8%), Ingeniería Química (2,9%), Microbiología (2,7%) y finalmente Ingeniería Mecánica (2,5%). El 39,6 % corresponde al aporte de otras áreas a las publicaciones de esta institución durante el período 2001-2003.

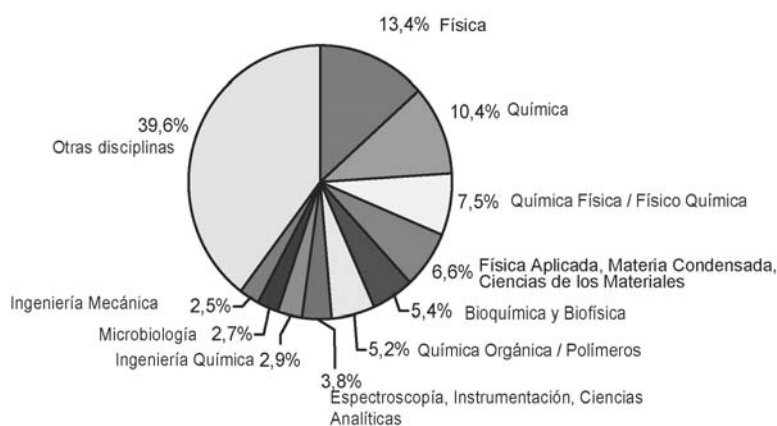


Figura 4.8. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad de Santiago.

Como muestra la Figura 4.9 la Universidad Austral es un ejemplo de universidad regional que aporta publicaciones en las disciplinas relacionadas con su entorno. El área principal es Ciencias Acuáticas (14,2%), Medicina Veterinaria/Salud Animal (9,8%) y Medio Ambiente/Ecología (8,6%); más atrás aparecen Ciencias Animales (4,2%), Ciencias Vegetales (4,0%) y Investigación Médica/Sistemas y Organos (3,7%). Disciplinas como Biología, Lenguaje y Lingüística, y el área multidisciplinaria, aportan cada una con 3,5% de las publicaciones. Con porcentajes menores aparecen Instrumentación y Medición (2,6%) y finalmente Química (2,3%). El aporte de otras disciplinas llega al 40,0%.

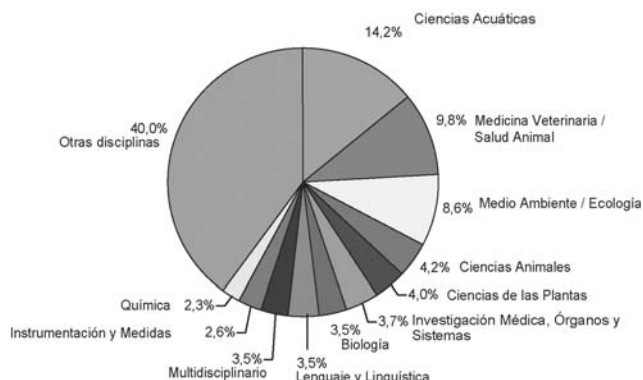


Figura 4.9. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad Austral de Chile.

La Universidad Técnica Federico Santa María (Figura 4.10) es una de las universidades que concentra una parte muy importante de sus publicaciones en una disciplina específica, en este caso en Física (34,5%). Las disciplinas que siguen con porcentajes importantes se encuentran en áreas de interés similar, como es el caso de Física Aplicada/Materia Condensada/Ciencia de Materiales (12,5%), Ingeniería eléctrica y Electrónica (7,5%), Matemáticas (7,5%) e Inteligencia Artificial, Robótica y Control Automático (3,5%). Contribuyen, cada una con un 3,0% de las publicaciones, Química, Ciencias Alimenticias/Nutrición y Geología/ Ingeniería Petrolera y Minera. Más atrás aparece Ingeniería Química (2,5%) y finalmente Medio Ambiente/Ecología (2,0%). Solo 21,0% de las publicaciones pertenecen a otras disciplinas.

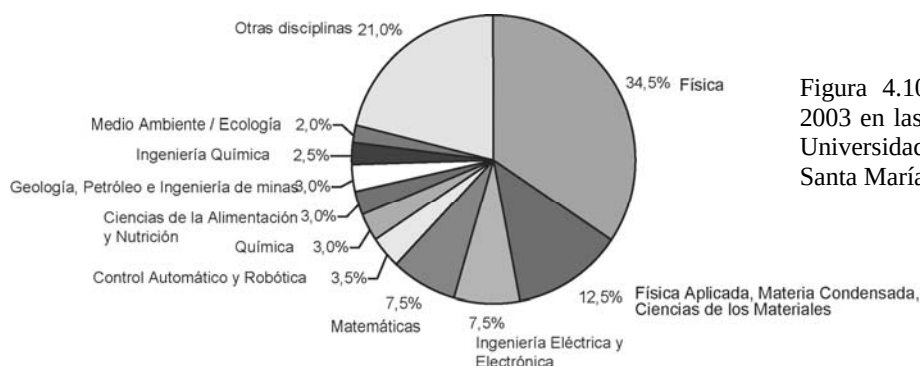


Figura 4.10. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad Técnica Federico Santa María.

La Universidad Católica de Valparaíso (Figura 4.11) publicó, entre 2001 y 2003, el 14,0% de su producción en Física. Bioquímica y Biofísica contribuyeron con 8,5%, mientras Química lo hizo con 8,0%. Después aparecen Biotecnología y Microbiología Aplicada (7,0%), Física Aplicada/Materia Condensada/Ciencia de Materiales (6,0%), Medio Ambiente/Ecología (6,0%), Físico Química (5,5%), Espectroscopia/Instrumentación/Ciencias Analíticas (5,0%), Ciencias de Materiales e Ingeniería (4,0%) y finalmente Matemáticas (3,0%). Esta institución dispersa parcialmente las publicaciones con un 33% de las publicaciones correspondiente a la categoría Otras disciplinas.

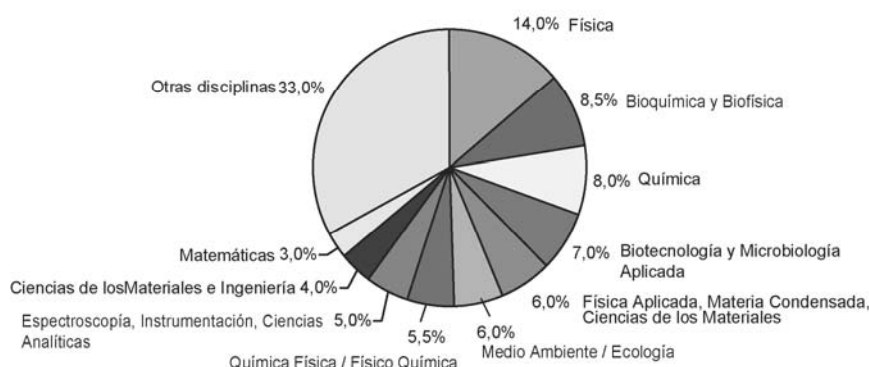


Figura 4.11. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad Católica de Valparaíso.

La Universidad Católica del Norte es otro buen ejemplo de especialización en las disciplinas en las cuales la institución publica (Figura 4.12). El 23,7% corresponde a Ciencias Acuáticas. Las Ciencias de la Tierra contribuyen con 11,0%, Física Aplicada/Materia Condensada/Ciencia de Materiales (8,1%) y Biología también con 8,1%; más atrás aparece Medio Ambiente/Ecología (6,4%). Con porcentajes menores aparecen Matemáticas (4,6%), Física (4,6%), Química (4,0%), Ciencias de la Computación e Ingeniería (3,5%) y finalmente Astronomía (3,5%). Solo 22,5% de las publicaciones corresponden a otras disciplinas.

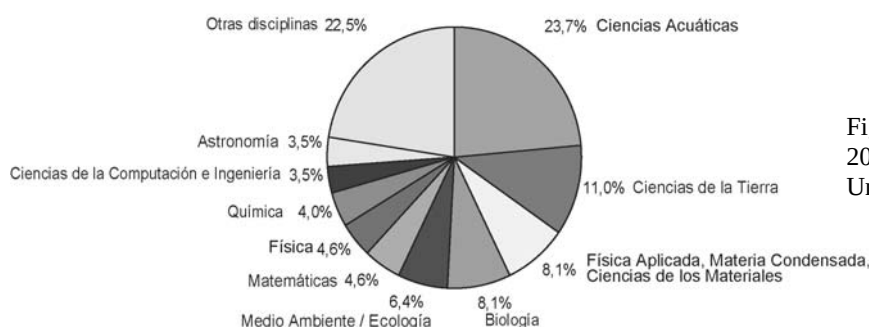


Figura 4.12. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad Católica del Norte.

Entre las universidades regionales, la Universidad de la Frontera (Figura 4.13) tiene la especial característica de concentrar un importante porcentaje de sus publicaciones en Medicina General e Interna (17,0%). Esa especialización la comparte con la Universidad de Chile y la P. Universidad Católica. Más atrás en el aporte a las publicaciones en el período analizado, aparece Medio Ambiente/Ecología (6,2%), Investigación Médica, Órganos y Sistemas (5,7%); después aparecen Biotecnología y Microbiología Aplicada con Física, ambas con 4,5%. Con 3,4% se encuentran Química y Ciencia Alimenticia/Nutrición. Física Aplicada/Materia Condensada/Ciencia de Materiales (2,8%), Medicina Ambiental y Salud Pública (2,8%) y finalmente Lenguaje y Lingüística (2,8%). Otras disciplinas aportan 46,6%, importante porcentaje que llega hasta casi la mitad de la producción en publicaciones de esta institución.

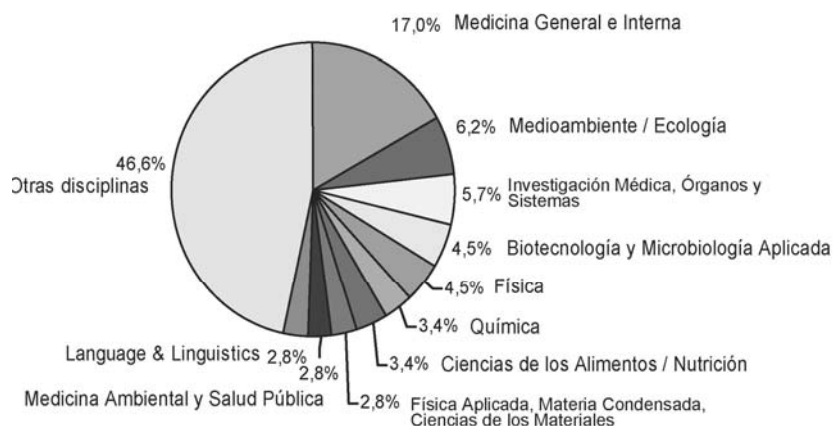


Figura 4.13. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad de la Frontera.

La Universidad de Valparaíso muestra una importante especialización en las publicaciones. Así, Medicina General e Interna reúne 20,2% de las publicaciones producidas entre los años 2001 y 2003. Como muestra la Figura 4.14, disciplinas como Neurociencia y Comportamiento (9,1%), Medio Ambiente/Ecología (8,1%) y Farmacología y Toxicología (6,1%) tienen una contribución menor pero importante. Disciplinas como Ciencias Acuáticas, Bioquímica, Biofísica y Matemática aportaron cada una con 4,0% de las publicaciones de esta institución. Más atrás aparecen Química (3,0%), Física Aplicada/ Materia Condensada/Ciencia de Materiales (2,0%) y finalmente Odontología/ Cirugía oral y Medicina. El 37,4% corresponde a otras áreas.

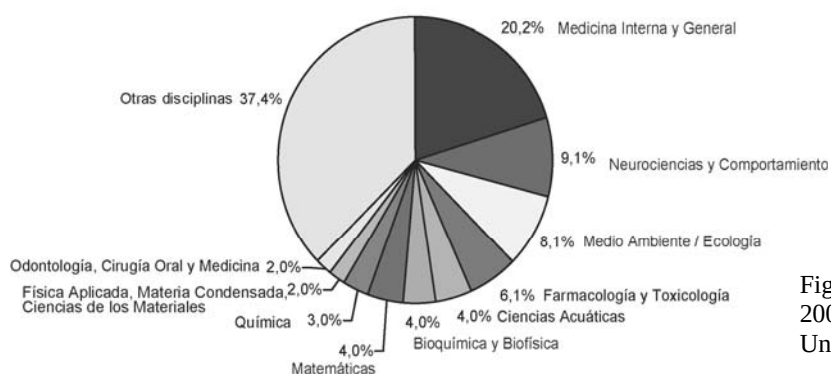


Figura 4.14. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad de Valparaíso.

La Universidad de Antofagasta (Figura 4.15) también se especializa en Ciencias Acuáticas con 16,7% de las publicaciones totales de esta institución. Ingeniería Química aparece con 10,8% y Química con 10,0%. Más atrás aparece Física Aplicada/Materia Condensada/Ciencia de Materiales con 6,7%. Disciplinas como Medio Ambiente/Ecología y Físico Química aportan cada una con 5,8% de las publicaciones. Luego, aparecen Biología (4,2%), Tecnología Médica, Sistemas y Órganos (4,2%), Ciencia de Materiales e Ingeniería (3,3%) y finalmente Química y Análisis (2,5%). Otras disciplinas aportan con el 30,0% de las publicaciones de esta Institución.

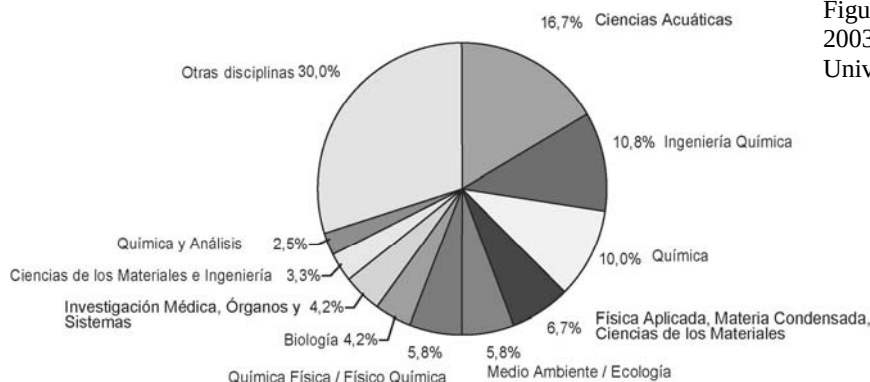


Figura 4.15. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad de Antofagasta.

La Universidad de Talca (Figura 4.16) publica especialmente en dos disciplinas al mismo nivel, con 13,5% en Matemáticas y Farmacología/Toxicología. Más atrás aparecen las Ciencias Vegetales (9,5%). Con valores de 6,8%, Física Aplicada/Materia Condensada/Ciencia de Materiales y Entomología/Control de parásitos aparecen más atrás. Medio Ambiente/Ecología (5,4%) al igual que Física (5,4%). En un grupo final (2,7%) se encuentran Bioquímica y Biofísica, Investigación Cardiovascular y Hematología y finalmente Química. Similar a lo que ocurre con otras universidades de provincia sólo 31,1% corresponde a la categoría otras disciplinas lo cual indica cierta especialización de esta universidad.

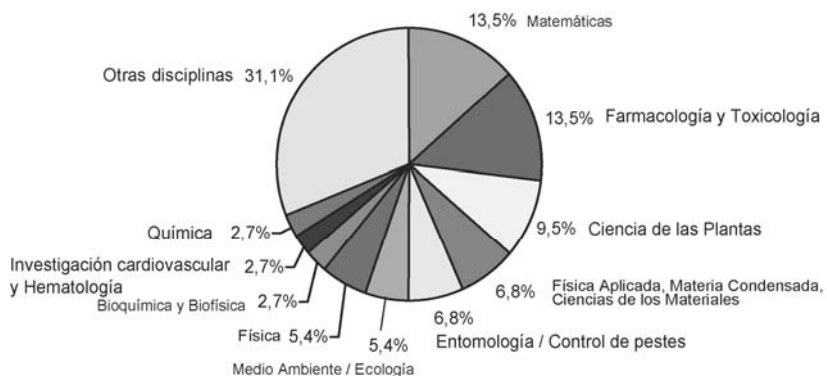


Figura 4.16. Principales disciplinas publicadas 2001-2003. Universidad de Talca.

La Figura 4.17 muestra que la Universidad Andrés Bello cuenta con una importante focalización de sus publicaciones. El 23,5% de su producción científica medida en publicaciones corresponde a Física. Más atrás aparecen Físico Química (17,6%), Química Orgánica/Ciencia de Polímeros (11,8%), Química y Análisis (9,8%), Microbiología (7,8%), Bioquímica y Biofísica (5,9%) y con un porcentaje menor, Biotecnología y Microbiología Aplicada (3,9%), Biología Celular y del Desarrollo (3,9%), Cirugía (3,9%) y finalmente Química (2,0). Hay que destacar que esta universidad solo posee un porcentaje de 9,8% de publicaciones correspondientes a otras disciplinas lo cual indica la focalización y escasa variedad de áreas específicas en las cuales se producen publicaciones.

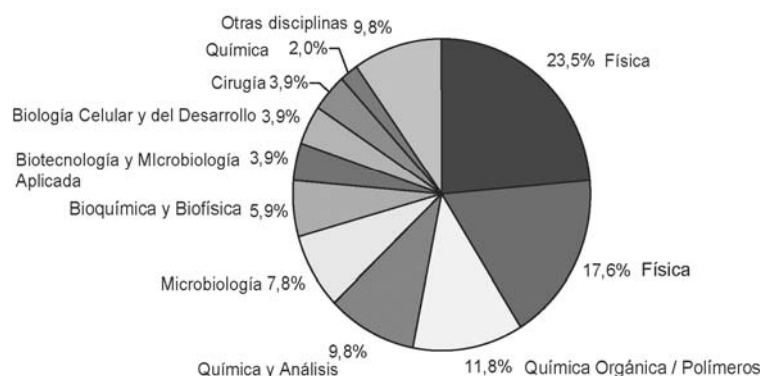


Figura 4.17. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad Andrés Bello.

La Universidad de los Lagos es el ejemplo más claro de especialización (Figura 4.18). Las Ciencias Acuáticas publican más de la mitad (50,9%) de los trabajos que produce esta universidad. Mucho más atrás aparecen las Ciencias Animales (10,9%). Disciplinas como Biología y Medio Ambiente/Ecología aportan cada una con 5,5% de las publicaciones. Ciencias Computacionales e Ingeniería aporta con 3,6% al igual que Lenguaje y Lingüística, y Matemáticas. Finalmente aparecen tres disciplinas que aportan con 1,8% de las publicaciones totales de la institución como son Ciencias Animales y Vegetales, Bioquímica y Biofísica, y Ciencias de la Tierra. Tan solo el 10,9% corresponde al aporte de otras disciplinas.

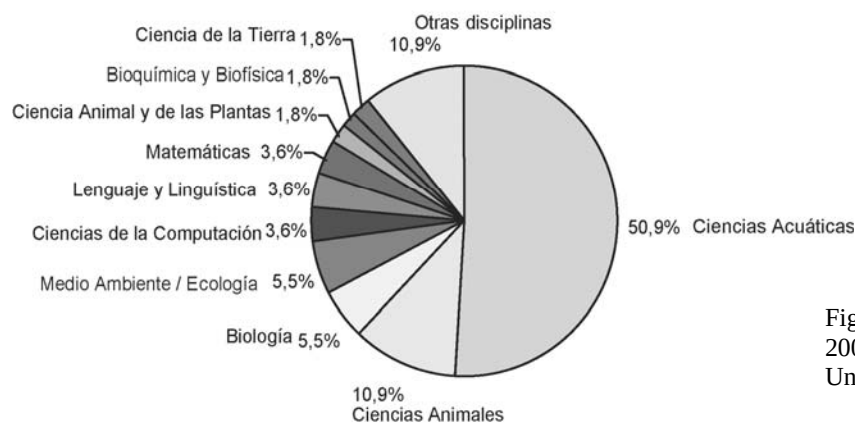


Figura 4.18. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad de los Lagos.

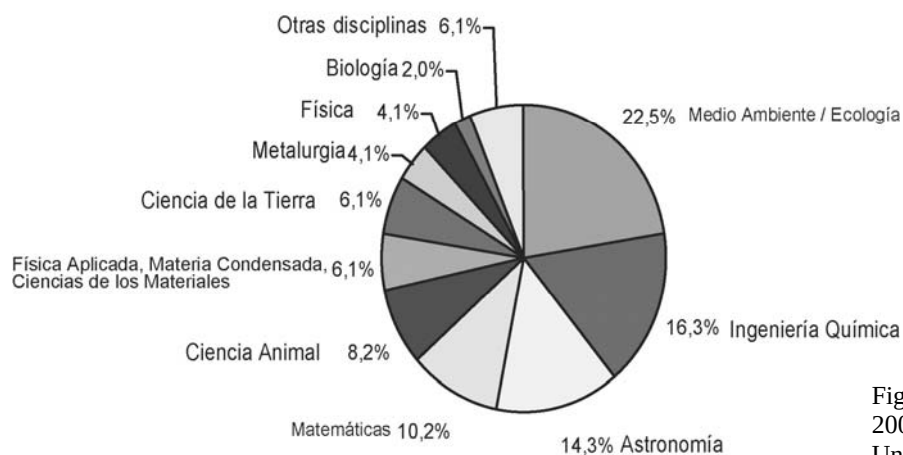


Figura 4.19. Publicaciones 2001-2003 en las disciplinas principales. Universidad de La Serena.

El análisis de la Universidad de La Serena (Figura 4.19) muestra la concentración de sus publicaciones en el área Medio Ambiente/Ecología (22,5%), Ingeniería Química (16,3%), Astronomía (14,3%) y Matemáticas (10,2%). Con porcentajes menores aparecen Ciencias Animales (8,2%), Física Aplicada/Materia Condensada/Ciencia de Materiales (6,1%). Con ese mismo porcentaje contribuyen las Ciencias de la Tierra. Metalurgia y Física aportan cada una con 4,1%, finalmente aparece Biología con 2,0%. Tan sólo el 6,1% de las publicaciones son producidas por otras áreas fuera de las descritas más arriba.

2.7. Algunas conclusiones sobre publicaciones

El análisis realizado permite una visión comparada de la productividad científica de Chile con respecto al mundo y cómo esta producción ha evolucionado en los últimos años. El estudio analiza cómo Chile ha aumentado su contribución general a partir del año 1993 y la evolución de las diferentes disciplinas comparando los períodos 1993-1997 y 1998-2003, lo cual da cuenta del cambio de énfasis entre estos dos intervalos. Claramente hay un aumento sostenido del número de publicaciones, lo cual es más claro para algunas de las áreas analizadas.

El análisis comparado de la productividad en diferentes disciplinas básicas permite conocer cómo se ubica Chile en el contexto regional y mundial. En un número importante de disciplinas Chile está en un muy buen pie a nivel regional y en la comparación directa con nuestros vecinos, pero sólo con un par de excepciones (Astronomía y Matemáticas), la Ciencia Nacional se encuentra muy por detrás de los países desarrollados. Los números positivos son válidos al analizar lo que ocurre con el impacto promedio de las publicaciones nacionales en cada área, pero no cuando se mira el número de publicaciones en donde Chile tiene una cuantía bastante inferior, en muchos casos, que Argentina, Brasil o México, y desde luego muy lejos de países desarrollados. A pesar de ello, cuando se analiza la producción de publicaciones totales por habitante, Chile está muy por sobre el promedio de la región y mejor que Argentina, Brasil y México, pero lejos de los países desarrollados que en la mayoría de los casos cuadruplican las publicaciones por habitante que logró nuestro país en el período analizado.

El análisis del aporte de Chile a la ciencia mundial se hace más claro cuando se calcula el Índice de Atracción (IA) que considera no solo las publicaciones sino el impacto que ellas tienen en relación a la ciencia mundial de acuerdo al número de citas. Con este parámetro sobresale

bastante la Astronomía, y muestran su importancia, en el contexto mundial, disciplinas como Medio Ambiente/Ecología, Medicina Reproductiva, Fisiología y Ciencias de la Tierra.

Otro de los puntos importantes del análisis dice relación con la forma en que las instituciones nacionales distribuyen su material publicado en las diferentes disciplinas de interés. La tendencia general es que las universidades más grandes ubicadas en la región Metropolitana concentran sus publicaciones parcialmente en áreas como la Medicina Interna y General, y en Astronomía, pero existe un gran porcentaje (más de 50%) de las publicaciones en áreas con menos de 2% de contribución al total de las publicaciones; éso habla de la mayor variedad de disciplinas que contribuyen a las publicaciones que producen esas instituciones. Otro punto importante es que las universidades regionales muestran diversidad, pero concentran sus publicaciones en áreas específicas que en general se relacionan con un componente geográfico y medio ambiental; el ejemplo más claro de esa focalización es la Universidad de los Lagos la cual publicó más de la mitad de su producción en Ciencias Acuáticas en el período analizado.

En el contexto general Chile sigue avanzando a un ritmo constante focalizando sus esfuerzos en algunas áreas dependiendo de la institución universitaria que genera las publicaciones. Chile muestra un aumento tanto el número de publicaciones como en su calidad, pero aún estamos muy lejos de los niveles de los países desarrollados.

En el contexto regional, al analizar las curvas de aumento en el número de publicaciones de países como México y especialmente Brasil, queda claro que el ritmo al cual se avanza en nuestro país es menor que el de nuestros vecinos y aunque en algunas disciplinas el impacto de las publicaciones es de buen nivel, las curvas de progresión en el número de publicaciones nos dejan bastante atrás en el contexto latinoamericano. Hay un crecimiento en el área científica pero se debe mejorar bastante para alcanzar un buen nivel en el número de publicaciones acompañado de un alto impacto. Desde luego esos objetivos necesitan de mucho trabajo acompañado de políticas que fomenten y realcen la ciencia en nuestro país.

3. Patentes

Con el fin de determinar cuánto patentan los investigadores chilenos, y cómo se comparan estos resultados con los de otros países, se analizaron bases de datos de la oficina de patentes de Chile y de diversas oficinas de patentes internacionales. Se debe recordar que la patente de invención es un derecho que otorga el estado a un inventor para excluir a otros de explotar (hacer, usar o vender) su invención, por un tiempo determinado y en un país o región definida. Por esta razón, es necesario presentar solicitudes de patentes en los distintos países donde se requerirá protección, dependiendo de los mercados a servir. Las solicitudes se tramitan en cada oficina de patentes y la tramitación puede durar varios años.

En Chile, las patentes de invención se presentan y tramitan en el Departamento de Propiedad Industrial (DPI), dependiente del Ministerio de Economía. El portal del DPI incluye estadísticas de solicitudes de patentes presentadas y de patentes concedidas por entidad de origen. La Tabla 4.13 presenta los números para una muestra seleccionada de países durante los últimos diez años. Se seleccionó una muestra de 20 países porque: 1) son países de América Latina (Argentina, Brasil, México), o 2) son del grupo tecnológico emergente (Australia, Corea del Sur, Finlandia, Irlanda, Nueva Zelanda, Singapur, Sudáfrica), o 3) son ejemplos de países desarrollados (Alemania, Canadá, España, Francia, Israel, Japón, Suecia, Reino Unido, USA).

En el año 2004 se presentaron 2.867 solicitudes en Chile. El 36,3% de éstas corresponden a solicitantes de USA, mientras que 13,3% corresponden a solicitantes de Chile y 10,7% a solicitantes

de Alemania. En el mismo año, las patentes concedidas por el DPI fueron 351, con 37,6% para titulares de USA, 11,9 % para titulares de Alemania y 4,8% para titulares de Chile. Se observa un aumento al doble de las solicitudes presentadas por entidades chilenas a través del tiempo (170 en 1995 versus 382 en 2004). Este aumento en solicitudes, que ocurre mayormente a partir del año 2000, aún no se ve reflejado en un aumento en el número de patentes concedidas (19 en 1995 versus 17 en 2004). Cabe notar que las solicitudes demoran entre 4 y 5 años de tramitación, y que un porcentaje de ellas se rechazan o se abandonan durante este proceso.

Con el fin de conocer mejor cuál es la actividad de patentamiento de las diversas instituciones que realizan investigación en el país, se solicitó al DPI un análisis de las solicitudes de patentes de invención presentadas por solicitantes nacionales y de los registros concedidos a solicitantes nacionales entre los años 1995 y 2004. El DPI proporcionó listas de solicitudes o registros de patentes de invención por solicitante o titular. En base a esas listas, se confeccionaron las Tablas 4.14, 4.15 y 4.16. Esta es la primera vez que el DPI realiza un análisis de esta clase para solicitudes y registros de patentes en Chile.

Tabla 4.13. Solicitud o registro de patentes de invención por país del solicitante y por año de presentación o concesión					
País	Solicitudes de Patentes por Año de Presentación		Registros de Patentes de Invención por Año de Concesión		
	1995	2004	1995	2004	TOTAL 1995-2004
Alemania	164	308	10	40	408
Argentina	9	18	3	2	17
Australia	21	47	1	2	45
Brasil	37	37	0	2	32
Canadá	32	42	5	6	67
Chile	170	382	19	17	194
Corea del Sur	18	25	0	0	22
España	37	35	2	11	92
Finlandia	18	60	1	5	40
Francia	36	61	4	11	119
Irlanda	6	14	0	2	14
Israel	4	4	0	2	9
Japón	13	64	2	11	32
México	11	10	0	2	9
Nueva Zelanda	9	11	3	0	11
Reino Unido	51	51	4	14	123
Singapur	0	1	0	0	0
Sudáfrica	12	19	0	2	22
Suecia	35	121	8	12	131
USA	732	1.041	48	132	1.330
TOTAL Solicitudes presentadas por año	1.702	2.867	133	351	3.420

Fuente: www.dpi.cl

El total de solicitudes presentadas por entidades chilenas en el período de diez años es 2.509, de las cuales 1.738 (69,3%) fueron presentadas por inventores independientes como personas naturales (Tabla 4.14). En conjunto las solicitudes identificadas como pertenecientes a universidades, centros, institutos o fundaciones (n=154), corresponden a 6,1% de las solicitudes totales presentadas por entidades nacionales en ese período, mientras que 24,6% (n=617) son de empresas nacionales. Las solicitudes presentadas por universidades provienen de un pequeño subgrupo, destacándose la Universidad de Concepción con 51, un número significativamente mayor que todas las restantes (Tabla 4.15). Las cinco instituciones que la siguen presentan 10 o más solicitudes en el período: Universidad Técnica Federico Santa María (n=25), Universidad de Santiago (n=18), Pontificia Universidad Católica (n=13), Universidad de Chile (n=11) y Fundación Ciencia para la Vida (n=10). Durante el mismo decenio, se han concedido sólo 18 registros a universidades, centros, institutos o fundaciones (Tabla 4.16), perteneciendo 6 de ellos a la Universidad de Concepción. Cinco de los 18 registros son del Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM) en conjunto con la Corporación Nacional del Cobre de Chile.

Tabla 4.14. Solicitud de patentes de invención presentadas por solicitante nacional o registros concedidos a titular nacional años 1995-2004		
Solicitudes presentadas por entidades nacionales:	Número	%
Total	2.509	100
Personas naturales	1.738	69,3
Corporaciones	771	30,7
• Universidades	138	6,5
• Centros	2	0,1
• Institutos	3	0,1
• Fundaciones	11	0,4
• Empresas y otros	617	24,6
Registros otorgados a entidades nacionales:		
Total	194	100
Personas naturales	111	57,2
Corporaciones	83	42,8
• Universidades	12	6,2
• Centros	5	2,6
• Institutos	0	0
• Fundaciones	1	0,5
• Empresas y otros	65	33,5

Fuente: Información proporcionada por DPI

Las empresas presentan una actividad de patentamiento un poco mayor que la categoría anterior, con 617 solicitudes en el decenio, siendo 77 de éstas de la Corporación Nacional del Cobre. La situación de los registros concedidos en este período a las empresas es levemente mejor, con un total de 65 registros, 10 de ellos de la Corporación Nacional del Cobre (Tabla 4.16).

Cabe notar que los números correspondientes a las solicitudes presentadas en el decenio 1995-2004 (Tablas 4.15 y 4.16) son independientes del estado actual en que se encuentran dichas solicitudes. Es decir, algunas de ellas pueden haber sido concedidas (y por lo tanto, pueden también figurar dentro de los números de registros otorgados en el mismo decenio), otras pueden estar en

trámite, otras pueden haber sido abandonadas o desistidas y finalmente otras pueden estar aún en la etapa secreta (antes que se publiquen en el diario oficial). En este último caso, no se puede obtener información sobre el contenido de dicha solicitud.

Tabla 4.15. Solicitudes de Patentes de Invención presentadas por solicitantes nacionales. Años 1995-2004.	
Solicitante: Universidad, Fundación, Centro o Instituto	Solicitudes Presentadas Años 1995-2004
Universidad de Concepción	51
Universidad Técnica Federico Santa María	25
Universidad de Santiago de Chile	18
Pontificia Universidad Católica de Chile	13
Universidad de Chile	11
Fundación Ciencia para la Vida	10
Fundación Chile	9
Universidad de Antofagasta	9
Universidad Católica de Valparaíso	8
Universidad Austral	2
Instituto de Investigaciones Agropecuarias	5
Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM)	2
Universidad Católica de Temuco	2
Universidad La Frontera	2
Instituto de Fomento Pesquero	1
Universidad Católica del Norte	1
Universidad del Bío-Bío	1
Universidad de los Lagos	1
Universidad de Magallanes	1
Universidad de Talca	1
Universidad Mayor	1
Total solicitudes Universidad, Fundación, Centro o Instituto^a	174^a
^a 20 de éstas corresponden a doble conteo de solicitudes que tienen dos solicitantes	
Solicitante: Empresas y Otros	
Corporación Nacional del Cobre de Chile	77
Compañía Chilena de Tabacos S.A.	20
Indalum S.A.	8
Sociedad de Inversiones Proyectos y Tecnología Ltda, Industria Metalúrgica Sorena S.A., Minera Michilla S.A.	8
Industrial Support Company Ltda.	5
Virutex-Ilko S.A.	5
Sociedad Chilena del Litio	6
Tecmin S.A.	6
Sociedad Minera Salar de Atacama S.A.	5
Carlos Carreño Vargas Inventos E.I.R.L	5
Riquelme Medina Pedro Alejandro y Alep S.A.	5
Solicitudes adicionales distribuidas de 4 o menos por cada empresa	140
Total solicitudes Empresas y Otros	617

Fuente: Información proporcionada por DPI

Tabla 4.16. Registros de Patentes de Invención concedidos a titulares nacionales. Años 1995-2004.	
Titular: Universidad, Fundación, Centro o Instituto	Registros Concedidos Años 1995-2004
Universidad de Concepción	6
Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM)	5
Universidad de Chile	3
Universidad de Santiago de Chile	1
Universidad Católica del Norte	1
Universidad Mayor	1
Fundación para la Transferencia Tecnológica	1
Total registros Universidad, Fundación, Centro o Instituto^a	18
Titular: Empresas y Otros	
Corporación Nacional del Cobre	10
Sociedad de Inversiones Proyectos y Tecnología Ltda, Industria Metalúrgica Sorena S.A., Minera Michilla	5
Sociedad Minera Salar de Atacama S.A.	4
Empresas CCT S.A.	3
Tepual S.A.	3
SMP Tecnología S.A.	2
Registros adicionales distribuidos de 1 por cada empresa	45
Total registros Empresas y Otros^b	72^a

^a 7 de éstos corresponden a conteo doble de registros que tienen dos titulares (uno en esta categoría y uno en la categoría anterior). Fuente: Información proporcionada por DPI

Con el fin de determinar en qué áreas se presentan solicitudes de patentes, se analizaron los títulos, resúmenes y clasificaciones de 110 de las 154 solicitudes de patentes de invención presentadas por universidades, centros, institutos y fundaciones. Por no disponer de información pública, quedaron sin analizar las solicitudes en estado “secreto” y las solicitudes abandonadas no fueron incluidas. Los resultados se presentan en la Tabla 4.17 y muestran que las áreas más representadas en las solicitudes analizadas son el área biológica/biotecnológica (incluyendo agricultura, biología vegetal, forestal, acuicultura, silvicultura y salud animal) con 37,3% y el área metalúrgica con 24,6%.

Considerando la globalidad de la actividad comercial, el número de solicitudes de patentes presentadas a la Oficina de Patentes de USA (USPTO) es uno de los indicadores más relevantes del nivel de competitividad en esta área para los investigadores de todos los países del mundo. Por este motivo se revisaron las estadísticas publicadas por dicha oficina para los últimos veinte años. En 2003 se presentaron 342.441 solicitudes de patentes de invención en USA, correspondiendo 188.941 (55%) de éstas a inventores de ese país (Tabla 4.18). En el mismo año, Chile presentó 33 solicitudes (0,01%) a dicha oficina. En comparación, los países del grupo emergente, presentaron entre 224 y 10.411 solicitudes en el mismo período, mientras que los países desarrollados presentaron entre 606 y 60.350, y los de América Latina entre 125 y 259. En el caso de las patentes concedidas en 2003, existe una situación análoga, con 169.028 patentes otorgadas, correspondiendo

87.901 (52%) de éstas a inventores de USA (Tabla 4.18). En ese año, Chile obtuvo 11 patentes (0,01%), en comparación con los países del grupo emergente que obtuvieron entre 112 y 3.944 patentes, los países desarrollados entre 309 y 33.224, y los de América Latina entre 51 y 110. La Tabla 4.18 muestra una tendencia general al aumento de solicitudes presentadas a la USPTO y en consecuencia, aumentan las patentes otorgadas para casi todos los países. En particular, destacan los aumentos significativos para patentes concedidas a: Corea del Sur que pasa del séptimo lugar en el año 1993, al lugar 4 en el 2003; Singapur (del lugar 18 al 12), Finlandia (del lugar 15 al 11) y Nueva Zelanda (del lugar 17 al 15). Por el contrario, tanto Sudáfrica como Brasil y México caen de los lugares 12, 14 y 16 en 1993 a los lugares 17, 16 y 18, respectivamente en 2003.

Tabla 4.17. Áreas de solicitudes de patentes presentadas por Universidades, Centros, Fundaciones e Institutos entre 1995 y 2004		
Area	Número de solicitudes	%
Biología y biotecnología (agricultura, forestal, biología vegetal, acuicultura, silvicultura, salud animal)	41	37,3
Metalurgia	27	24,6
Sistemas y métodos de enseñanza interactivos	10	9,1
Química y materiales	8	7,3
Alimentos	6	5,4
Electricidad	4	3,6
Instrumentación	3	2,7
Otras	11	10,0
Total	110	100

Fuente solicitudes: www.dpi.cl

La Tabla 4.19 presenta un “índice de patentamiento” definido como número de solicitudes presentadas o de patentes concedidas en USA por año de presentación o concesión y por millón de habitantes del país de origen del inventor. Se determinó dicho índice para los países de la muestra en los años 1993 y 2003. Considerando este índice, Chile se encuentra en el penúltimo o último lugar, bajo Argentina, con valores entre 0,8 y 2,1, similar a Brasil y México. Con excepción de Sudáfrica, los índices de los países emergentes son 17 a 177 veces mayor que los de Chile, mientras que los índices de los países desarrollados, a excepción de España, son entre 52 y 433 veces mayor. España y Sudáfrica presentan índices 3 a 11 veces mayor que Chile.

Chile aumentó la presentación de solicitudes a USPTO de 0,8 a 2,1 por millón de habitantes entre 1993 y 2003. Este aumento en el índice de solicitudes se observa también en los otros países, con incrementos muy significativos para Corea del Sur (5,9 veces), Singapur (4,7 veces), y Nueva Zelanda (3,8 veces). Del mismo modo, el aumento en la presentación de solicitudes lleva a un aumento en las patentes otorgadas a los países en 2003 en relación a 1993, siendo particularmente significativo los aumentos para Corea del Sur (4,6 veces) y Singapur (7,1 veces). En el caso de Chile, el pequeño aumento de solicitudes que ocurre mayormente a partir del año 2000, aún no se ve reflejado en un aumento en el número de patentes concedidas, probablemente debido al desfase

existente entre la fecha de presentación de la solicitud y la concesión de la patente, luego de su tramitación (aproximadamente 5 años).

Tabla 4.18. Solicitudes y registros de patentes de invención por país del primer Inventor y por año de presentación o concesión.					
	Solicitudes de Patentes por Año de Presentación		Patentes de Invención por Año de Concesión		
País	1993	2003	1993	2003	Total 1963-2003
Alemania	10.500	18.890	6.893	11.444	265.313
Argentina	56	125	24	63	1.072
Australia	781	2.310	378	900	14.725
Brasil	105	259	57	130	1.599
Canadá	3.910	7.750	1.944	3.425	67.753
Chile	11	33	9	11	214
Corea del Sur	1.624	10.411	779	3.944	29.437
España	269	606	158	309	4.752
Finlandia	568	1.935	293	865	10.008
Francia	4.320	6.603	2.909	3.869	101.163
Irlanda	104	368	53	166	1.745
Israel	803	2.539	314	1.193	11.364
Japón	34.816	60.350	22.293	35.517	556.335
México	82	185	45	84	2.166
Nueva Zelanda	85	387	39	135	1.977
Reino Unido	4.414	7.700	2.295	3.627	113.109
Singapur	104	771	38	427	2.098
Sudáfrica	246	224	93	112	3.507
Suecia	1.157	2.314	636	1.521	34.800
USA	99.955	188.941	53.231	87.901	2.132.535
TOTAL Solicitudes presentadas por año	174.743	342.441	98.342	169.028	3.583.814

Fuente: www.uspto.gov

Con el fin de determinar quiénes son los titulares de las patentes presentadas por inventores chilenos en el extranjero, se hizo un análisis más detallado en diversas bases de datos. En USPTO se hizo una búsqueda de todas las patentes concedidas a inventores chilenos en el período de 1976 al presente. Se analizó el titular de las 235 patentes obtenidas en esta búsqueda. El 32% de estas patentes presentan inventores que no asignan a ninguna entidad, es decir inventores independientes (Tabla 4.20). El 60% asignan a empresas, ya sean chilenas (28%) o extranjeras (32%) y solamente 7,7% asignan a universidades, ya sean chilenas (2,1%) o extranjeras (5,6%).

Un análisis similar se realizó con las solicitudes de patentes que se presentan en la oficina de patentes europea (para obtener una patente regional de Europa) y que se publican. La base de datos utilizada contiene las publicaciones de los dos últimos años. El total de solicitudes obtenidas con

inventores chilenos fue de 52, con 28% de inventores independientes, 3,8% de asignaciones a universidades nacionales y 67% a empresas (34,6% nacionales, 32,4% extranjeras) (Tabla 4.20). La misma tabla muestra resultados similares obtenidos al analizar las solicitudes de patentes de inventores chilenos publicadas en la base de datos de WIPO. Estas solicitudes se presentan mediante el Patent Cooperation Treaty (PCT) y la base de datos contiene las publicaciones de los dos últimos años.

Tabla 4.19. Índice de patentamiento. Solicitudes de patentes o patentes de invención por año de concesión y por millón de habitantes del país de origen.				
País	Solicitudes por Año de Presentación y por Millón de Habitantes		Patentes por Año de Concesión y por Millón de Habitantes	
	1993	2003	1993	2003
Alemania	130,6	229,2	85,7	138,9
Argentina	1,9	3,2	0,7	1,6
Australia	44,4	117,3	21,5	45,7
Brasil	0,7	1,4	0,4	0,7
Canadá	142,7	240,6	70,9	106,4
Chile	0,8	2,1	0,7	0,7
Corea del Sur	36,8	215,6	17,7	81,7
España	6,9	15,0	4,0	7,7
Finlandia	113,6	372,1	58,6	166,3
Francia	75,4	109,7	50,8	64,3
Irlanda	29,7	94,4	15,1	42,5
Israel	170,9	416,2	66,8	195,6
Japón	279,6	474,4	179,1	279,2
México	0,9	1,8	0,5	0,8
Nueva Zelanda	25,8	96,8	11,8	33,8
Reino Unido	76,4	128,1	39,7	60,1
Singapur	37,1	175,2	13,6	97,0
Sudáfrica	5,9	5,2	2,2	2,6
Suecia	134,5	260,0	74,0	170,9
USA	254,5	650,8	209,2	302,8

**Solicitudes de patentes de USA presentadas por país de origen del primer inventor (primera columna), en el año indicado, por millón de habitantes de dicho país durante ese año.

**Patentes de USA por país de origen del primer inventor (primera columna), en el año indicado, por millón de habitantes de dicho país durante ese año.

Fuentes:

patentes: www.uspto.gov

población: www.theodora.com/wfb

La información de la USPTO es consistente con esos valores ya que solamente alrededor de 2% de las patentes totales concedidas anualmente en USA, tienen como solicitantes universidades y “colleges” (lo que corresponde a 4% de las patentes concedidas a titulares de USA). Este 2% está conformado por un grupo reducido de las universidades americanas, correspondiendo un cuarto de las patentes de este grupo a cinco universidades (California Institute of Technology, Massachusetts Institute of Technology, Stanford University, University of California, University of Texas). Por otra parte, los inventores independientes dan cuenta de aproximadamente 12% de las patentes concedidas en USA en 2003 y el 86% restante lo reciben las entidades corporativas, ya sea de

USA o extranjeras. En este contexto, cabe notar que algunas de las empresas más exitosas en la gestión de patentes, como IBM, obtienen más de 3.000 patentes de USA al año, siendo superada sólo por los primeros ocho países en el lugar en la lista de patentes de USA por año (USA, Japón, Alemania, Taiwan, Corea del Sur, Francia, UK y Canadá).

Tabla 4.20. Solicitudes de patentes de invención presentadas por inventores chilenos en USA, Europa o PCT			
Solicitante o titular	Patentes concedidas en USA (USPTO 1976 al presente)	Solicitudes europeas publicadas (espacenet EP: 2 últimos años)	Solicitudes PCT publicadas (espacenet WIPO: 2 últimos años)
Ninguno	76 ^a	15 ^d	4 ^g
Universidades	18	2	3
• Chilena	5	2	3
• Extranjera	13	0	0
Empresas	141	35	30
• Chilenas	66 ^b	18 ^e	7 ^h
• Extranjeras	75 ^c	17 ^f	30 ^m
TOTAL	235	52	44

^a De estas patentes, 74 tienen solamente inventores chilenos, las otras 2 incluyen también inventores extranjeros.

^b Incluye 15 patentes de empresas estatales chilenas como Codelco.

^c De estas patentes, 30 tienen solamente inventores chilenos, las otras 45 incluyen también inventores extranjeros.

^d Todas estas solicitudes tienen solamente inventores chilenos.

^e Incluye 2 solicitudes de empresas estatales chilenas como Codelco.

^f De estas solicitudes, 6 tienen solamente inventores chilenos, las otras 11 incluyen inventores extranjeros.

^g De estas solicitudes, 3 tienen solamente inventores chilenos, las otra incluye también inventores extranjeros.

^h Incluye 15 solicitudes de empresas estatales chilenas como Codelco.

^m De estas solicitudes, 22 tienen solamente inventores chilenos, las otras 8 incluyen inventores extranjeros.

Los datos indican que la asignación de solicitudes a universidades nacionales por inventores nacionales, en los diferentes sistemas de patentes, es entre 3,8% a 7,7% de las presentaciones totales por inventores o solicitantes chilenos, según las bases de datos de EP, WIPO, USPTO y DPI.

3.1. Algunas Conclusiones Sobre Patentes

Las tablas y figuras presentadas revelan el gran desafío que enfrentamos para acercarnos a los países "emergentes". Para ello debemos, como mínimo, aumentar el número de solicitudes presentadas por millón de habitantes en un factor de 10. Esto significa presentar alrededor de 300 solicitudes de patentes anuales a la USPTO. Y éso, sólo para empezar, ya que con esto quedaríamos en situación similar a España y un poco mejor que Sudáfrica. El siguiente salto, para alcanzar a nuestros "países modelos", tendría que ser un aumento de 50 veces en el número de solicitudes de patentes presentadas a la USPTO, lo que equivale aproximadamente a 1.500 solicitudes de patentes

anuales. Resulta una tarea inalcanzable cuando se miran las escasas 33 solicitudes de patentes presentadas a la USPTO por inventores chilenos en 2003.

Lo primero y más importante para lograr un objetivo como el delineado, es contar con invenciones en la cantidad adecuada para permitir ese nivel de patentamiento. Estudios presentados en el congreso 2005 de la Association of University Technology Managers (AUTM) muestran que las oficinas de transferencia tecnológica de universidades en USA, Canadá y Reino Unido, patentan aproximadamente 50% de las invenciones que presentan los investigadores con ese fin. Las invenciones presentadas a las oficinas de transferencia tecnológica (OTT) no constituyen todo el universo de inventos, sino la fracción que los investigadores consideran que cumplen los requerimientos de patentabilidad. La consecuencia de esta consideración, es que en Chile tendríamos que contar al menos con el doble de inventos que solicitudes de invención potenciales al año por un millón de habitantes, es decir, con aproximadamente 600 inventos anuales, como base.

Al mismo tiempo, se debe considerar el nivel de inversión en investigación requerido para producir dichos inventos. La Universidad de California genera 4,4 invenciones por cada 10 millones de dólares de gasto en investigación (*California's Future, It Starts Here. An Impact Study for the University of California. March 2003*). Considerando la necesidad de aumentar nuestra productividad al menos a 600 inventos anuales en el país, y suponiendo una eficiencia de investigación similar a la de la Universidad de California, se requerirían alrededor de 1.300 millones de dólares de inversión anual en investigación a nivel nacional, cifra muy superior al gasto actual en este rubro (alrededor del 0,6% del PIB).

Disponer de inventos patentables es sólo el primer requisito. Para capitalizarlos se requiere protegerlos con patentes o derechos de marca o autor. Para estimular el nivel de patentamiento, no sólo se requiere tener capital humano y el nivel de inversión adecuados, entre otros. Se requiere, además, desarrollar una "cultura de patentamiento" que contribuya a lograr los objetivos planteados.

Necesitamos exponer a los investigadores, ya sea en el ambiente académico o industrial, al sistema de patentes para que el tema no sea un misterio. Información sobre qué es una patente, cuáles son los requisitos de patentabilidad, cómo se prepara, presenta y tramita una solicitud, cuánto cuesta, quién puede ayudar en el trámite, quién puede financiar, debe estar disponible de alguna forma simple y práctica. Hoy ya se ve más actividad en esta área, con la organización de talleres de propiedad industrial y patentamiento, patrocinados por diversas instituciones. Esos talleres y cursos tendrán que multiplicarse y expandirse en Chile, para lograr que los científicos incorporen el concepto de patentar a su universo cotidiano.

Las universidades podrían contribuir a ese desarrollo "cultural" a través de una persona o grupo de personas con experiencia en la materia que faciliten esta actividad a los científicos y tecnólogos (mini-oficinas de transferencia tecnológica). Esas unidades pueden ser inicialmente virtuales, en la medida que las necesidades sean bajas, e ir creciendo en el tiempo. Pueden considerarse soluciones creativas como el compartir una unidad de transferencia tecnológica por varias universidades o licitar a una entidad externa, con el fin de disminuir costos y maximizar la utilización de recursos humanos (probablemente escasos) con experiencia práctica en un área nueva para Chile. Una iniciativa interesante es la OTRI Chile (Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación) recientemente inaugurada. Esta entidad es un consorcio conformado por cinco universidades, Asexma y la Confederación de la Producción y el Comercio, con aportes de la Corfo, a través de su programa Innova. El objetivo de la oficina es ofrecer un servicio de gestión de patentamiento y licenciamiento de invenciones provenientes de cualquier entidad natural o jurídica.

Igualmente, es importante que las universidades establezcan y definan los incentivos para sus investigadores-inventores, en relación a la participación en los retornos asociados a las licencias de sus patentes y que éstos estén claramente explicitados en políticas de la institución. Se ha demostrado que estos incentivos han sido efectivos en el mundo desarrollado y en particular en USA, donde las universidades que dan participación de regalías más altas a sus científicos, generan más invenciones y comandan mayor ingreso por concepto de licencias (*S. Lach & M. Schankerman, NBER Working Paper 9727, Mayo 2003*). Las participaciones de los inventores en retornos varían dependiendo de las universidades, con intervalos de 25% a 50%.

Aunque existen hoy algunas universidades en Chile que están trabajando activamente el tema de propiedad intelectual y patentes de invención, se requiere una preocupación más general y amplia para lograr un impacto real en el nivel de patentamiento nacional.

Uno de los obstáculos significativos en la actividad de patentamiento, es disponer de fondos para financiar ayuda legal en la preparación y presentación de la solicitud, como también para financiar los aranceles de las oficinas de patentes. Los costos legales iniciales se pueden reducir si los interesados pueden participar directamente en la preparación de las solicitudes y a la evaluación de patentabilidad de su invento. Sin embargo, por lo general la presentación no será solamente en Chile, donde los costos son módicos, sino también en USA y tal vez en el resto del mundo, dependiendo de dónde se consideren los negocios asociados. De ser así, se puede incurrir en gastos significativos que no son solventables para investigadores en las unidades académicas. Por este motivo, es necesario crear un mayor número de programas de financiamiento a la actividad de patentamiento de modo de eliminar este factor como obstáculo inicial. En este contexto, un ejemplo reciente lo constituye la iniciativa del programa Bicentenario en Ciencia y Tecnología de CONICYT, a través de la cual se adjudicaron fondos a ocho instituciones, las que a su vez convocarán durante 2005 a diferentes concursos que financiarán el patentamiento de proyectos de innovación. Asimismo, es interesante notar que los fondos concursables públicos (FONDEF, FONDECYT, FONDAP, Milenio, Innova) actualmente incluyen los gastos de protección de propiedad intelectual como ítem financiable. En FONDECYT, el decreto vigente de 1980, requiere restitución de los recursos en caso de obtenerse una patente de invención. El Director Ejecutivo de CONICYT (Sr. Patricio Velasco) informó que éste no es el espíritu ni la práctica de FONDECYT, y que en un futuro cercano se planea modificar dicho decreto para eliminar este requerimiento.

El DPI está aumentando el número de examinadores de su plantel, anticipando un aumento en la actividad de propiedad industrial. Nuestra experiencia ha sido muy positiva en relación con la seriedad y eficiencia de las personas que integran el DPI. Sin embargo, existen algunos aspectos con relación a la interfase virtual del DPI con el usuario vía internet que requieren atención para hacerla más amistosa y útil. Actualmente, se puede acceder al banco de datos del DPI solamente después de haberse registrado formalmente y adquirido una clave específica. Existe un tipo de consulta normal y gratis, y un segundo tipo de consulta, levemente más compleja, que debe pagarse. Estas características son peculiares del DPI. Las otras bases de datos frecuentemente consultadas, como USPTO y espacenet, de otros países, son de libre acceso (no hay necesidad de registro) y totalmente gratis. Es necesario que las bases de datos de este departamento cubran una mayor cantidad de información para poder ser útiles, ya que hoy existe mucha información que se debe obtener asistiendo personalmente a las oficinas del DPI para revisar las carpetas.

Finalmente, es necesario que Chile integre el Patent Cooperation Treaty (PCT) a la brevedad posible. Hoy se requiere contar con una entidad "amiga" en algún país que pertenezca al PCT para poder, indirectamente, presentar una solicitud a través de este sistema. En la medida que podamos tener acceso directo al PCT, se simplificará una etapa del proceso de presentación de la solicitud de patente a nivel internacional.

Agradecimientos: Al Departamento de Propiedad Industrial por proporcionar información sobre solicitantes y titulares nacionales.

Inversión Nacional en Investigación y Desarrollo (1995–2004)

5

Bernabé Santelices (*Coordinador*), Claudia Contreras y Diego Morata

Resumen- En el presente estudio se analiza la evolución del gasto nacional en Investigación y Desarrollo (I+D) en la década 1995-2004. Para ello se distingue entre aportes privados y públicos. Entre estos últimos, se analizan los aportes directos a universidades e institutos del Estado, los aportes concursables para investigación básica, aplicada y desarrollo y para formación de recursos humanos y los aportes orientados al mejoramiento de programas de doctorado. Por falta de datos no se analizan los recursos de cooperación internacional o programas más recientes, como el Programa de Ciencia para la Economía del Conocimiento, el Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología y el Fondo de Innovación para la Competitividad generado por la futura Ley del Royalty Minero.

La década estudiada se caracteriza por un aumento significativo (del orden de 210%) del aporte privado a I+D. Debido a que en la década también se produjo una reducción sostenida de los aportes estatales con respecto al PIB, la relación aporte privado:aporte público llega ahora a 40:60, cambio de significación con respecto a décadas precedentes. La orientación relativa de los aportes también ha cambiado en la década. En la actualidad, alrededor de 22% se orienta a investigación básica, mientras que el 78% restante se orienta a investigación aplicada y desarrollo. La década se caracteriza, además, por el aumento significativo (112,6%) en recursos para entrenamiento de posgrado. Sin embargo, los valores totales orientados a este propósito (US\$ 15-18 millones anuales) son pequeños en comparación a las expectativas declaradas de graduar en el país mil doctores / año.

También subieron en la década los aportes directos a los Institutos del Estado (38,99%) y a los fondos concursables orientados de preferencia a investigación aplicada y desarrollo (68,53%). Sin embargo, resulta difícil conocer, y más aún evaluar, las contribuciones de esos instrumentos al desarrollo científico-tecnológico por la escasez de patentes originadas en Chile, el rol protagónico que están adquiriendo los aportes privados para investigación aplicada y desarrollo y las diversas orientaciones y propósitos de los Institutos del Estado y los fondos concursables respectivos.

En profundo contraste con los aumentos indicados previamente, los aportes directos a las universidades y a los fondos concursables orientados a investigación básica han sufrido escaso aumento, especialmente en los últimos 4 años. El programa MECESUP de posgrado, iniciado en el año 2000, y que se supone que reemplaza parcialmente el Aporte Fiscal Directo a las universidades, es útil sólo para algunas actividades de investigación asociadas a los posgrados, pero no financia otros desarrollos. Por otro lado, el estancamiento de los fondos de FONDECYT ha influido en forma negativa en el tamaño y número de los proyectos regulares y ha impedido el crecimiento de subprogramas esenciales para el desarrollo científico del país, tales como los proyectos de Posdoctorado, los de Cooperación Internacional o el surgimiento de nuevos FONDAP. Si en el futuro no se aumenta el Aporte Fiscal Directo a las universidades, sería necesario aumentar el 5% competitivo de dicho fondo a porcentajes mayores, a fin de estimular el trabajo de investigación en las universidades. Por su parte, el congelamiento de FONDECYT debiera ser revertido a la brevedad debido a la importancia que este programa tiene para el desarrollo científico-tecnológico nacional.

El total de recursos nacionales movilizados anualmente para I+D no supera los US\$ 500 millones, cifra objetivamente baja en comparación con el PIB del país y claramente insuficiente para la diversidad de problemas científico-tecnológicos necesarios de resolver para el desarrollo nacional.

Introducción

Los temas de Ciencia y Tecnología (CyT), e Investigación y Desarrollo (I+D) han recibido una atención creciente en los últimos 15 años debido a las expectativas que se han puesto en el desarrollo científico-tecnológico como elemento central del crecimiento integral de nuestra sociedad. Este interés ha significado la publicación de numerosos estudios que han aproximado el problema de desarrollo científico desde el punto de vista del desarrollo universitario (Ureta, 2003), desde la perspectiva de la innovación tecnológica (Benavente 2004 a y b) y desde el punto de vista del crecimiento (Eyzaguirre et al., 2005; Rodríguez y Tokman, 2005). Los diagnósticos incorporados en esos estudios dependen fuertemente de la actualidad y calidad de los datos usados, los que van variando con el tiempo. De entre éstos, los recursos orientados a I+D resultan de importancia global en el sistema de CyT del país.

El presente estudio analiza la evolución del gasto nacional en Investigación y Desarrollo en la última década, considerando los distintos tipos de instrumentos y las instituciones que financian este gasto en el país. Previo al análisis de las tendencias económicas, sin embargo, parece necesario definir los procesos involucrados, las instituciones participantes y los instrumentos considerados. Los métodos usados en los cálculos correspondientes se explicitan junto a cada instrumento.

1. Definiciones usadas

1.1. Procesos involucrados

En el desarrollo y accionar del Sistema Científico-Tecnológico Nacional se pueden distinguir tres procesos principales e interactuantes (CONICYT, 1995): la investigación científica-tecnológica, la innovación y la difusión y la formación de recursos humanos. Cada uno de esos procesos tiene características propias, que se analizan a continuación:

a) *La investigación y el desarrollo.* La investigación es el trabajo teórico o experimental que se lleva a cabo, primordialmente, para adquirir nuevos conocimientos. Ella puede ser *básica*, cuando el conocimiento se refiere a los fundamentos en los que se sustentan los fenómenos y hechos observables, sin tener en vista ninguna aplicación o uso en especial. Por contraste, en la *investigación aplicada*, la búsqueda original llevada a cabo para adquirir conocimiento está dirigida, principalmente, hacia un objetivo o propósito práctico. A menudo, la investigación aplicada es seguida por el *desarrollo experimental*, que es el trabajo sistemático, basado en el conocimiento existente, obtenido de la investigación o de la experiencia práctica, dirigido a producir nuevos materiales, productos o artefactos; instalar nuevos procesos, sistemas o servicios; o mejorar sustancialmente los ya producidos o instalados. El criterio básico para diferenciar las actividades de I+D de actividades relacionadas es la presencia en aquellas de un elemento apreciable de novedad. Así, la investigación permite incrementar el patrimonio del conocimiento y, a la vez, constituye un instrumento fundamental para aprender a trabajar con lo desconocido. Su desarrollo es indispensable, toda vez que permite la incorporación y adaptación al medio local del avance científico mundial, que es la base para el progreso de la sociedad y de los países. Sus hallazgos son de conocimiento público y sus resultados, generalmente, se validan a través de medios escritos formales, debidamente acreditados en el mundo científico. Ello incluye publicaciones en revistas de prestigio internacional y las patentes de invención.

b) *La innovación y la difusión.* En general, se considera que la innovación es la primera aplicación de la ciencia y la tecnología en una nueva forma, con éxito comercial. La innovación tecnológica incluye los productos y nuevos procesos, así como las modificaciones tecnológicas importantes de productos y procesos. Se habla de innovación de producción cuando la comercialización de un

producto ha sufrido una modificación tecnológica, a través de la cual las características de concepción de un producto son cambiadas de manera de ofrecer al consumidor un producto nuevo o mejorado. Se habla de innovación de procesos cuando se introduce una modificación importante a la tecnología de producción de un artículo. Se puede tratar de un nuevo equipo, de métodos nuevos de gestión o de organización o de ambos tipos de cambios asociados. La innovación se expande a través de la difusión. Sin difusión, la innovación no tiene incidencia económica.

La innovación en el desarrollo de productos, así como el mejoramiento y reconversión de los equipos, procesos y operaciones, implica relacionar conocimientos de índole científica, técnica y empírica, con oportunidades de mercado. Los conocimientos necesarios se obtienen por distintos métodos y de varias fuentes: investigación científica, desarrollo, adaptación, compra de tecnología, utilización de expertos y otros. El proceso representa una visión multidimensional sobre cómo desarrollar tecnología realmente vinculada a las unidades productivas y sus hallazgos tienen un grado importante de confidencialidad. Su resultado debe ser un “negocio” viable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, que puede ser incorporado al proceso productivo para dar lugar a la producción de bienes o servicios de mayor valor agregado, más competitivos y que no comprometan la disponibilidad futura de recursos naturales.

c) *La formación de investigadores.* Los procesos de formación de investigadores y de preparación de profesionales guardan relación con el desarrollo de la investigación científica y tecnológica y con la innovación, pero tienen su propia dinámica. Estos procesos se desarrollan, preferentemente, en el ámbito universitario, aunque con conexiones crecientes con la empresa y el sector productivo. La calidad del recurso humano resultante tiene fuerte dependencia de la calidad de los investigadores que lo forman, de la infraestructura disponible y de la estabilidad de la institución. El proceso de formación es largo, de duración promedio de cuatro a seis años de posgrado y requiere fuerte dedicación y capacidad de aprendizaje. Más aún, es frecuente que el investigador requiera especialización adicional, de nivel posdoctoral, antes de ser efectivo en investigación. Como en todas las profesiones, el interés por continuar este proceso tiene, además del componente vocacional, una fuerte dependencia de la valorización social y económica por la sociedad en que el profesional se inserta, la que, a su vez, está estrechamente asociada a la demanda local de ciencia y tecnología.

Siendo la investigación científica y tecnológica, la innovación y la formación de recursos humanos procesos con objetivos y dinámica propios, ellos demandan políticas de desarrollo, instrumentos y financiamiento diferenciados. Sin embargo, en Chile no siempre es posible observar esta diferenciación en todos los instrumentos. Algunos (por ej. FONDECYT), financian investigación científica y formación de recursos humanos. Otros (por ej. FONDEF), financian investigación e innovación. Otros son específicos para un proceso dado.

El análisis que sigue de instrumentos e inversiones incluye sólo instrumentos que apoyan la formación de recursos humanos y la investigación y desarrollo. Estas últimas están concebidas como el conjunto de actividades creativas y sistemáticas, dirigidas a generar, modificar o aumentar el conocimiento científico y técnico y a concebir nuevas aplicaciones (OECD, 2003). Estas actividades se caracterizan por la presencia de dos elementos diferenciadores: la creatividad y la realización sistemática. Ellas persiguen, mediante la aplicación rigurosa del método apropiado, la obtención de nuevos conocimientos o de una nueva aplicación de los ya adquiridos. Las tareas de rutina, la mera obtención o acumulación de datos, la utilización de procedimientos ya establecidos, las actividades de extensión científica, los capitales semillas, etc., no constituyen investigación o desarrollo, por lo que no han sido consideradas en este análisis.

1.2 Clasificación de instituciones participantes en los procesos de I+D

Para facilitar la recolección de datos, la descripción de los flujos institucionales de fondos y el análisis e interpretación de los datos en el campo de I+D, en 1993 la Organización de Cooperación y de Desarrollo Económico (OECD) publicó un manual (Manual de Frascati) que en la actualidad constituye la norma para la elaboración de estadísticas en investigación y desarrollo y que, entre otros acápites, sugiere clasificar a las instituciones y unidades consideradas en la estimación del gasto en I+D, según los sectores económicos, tanto de financiamiento como de ejecución. En este sistema de clasificación (edición de 2002) se distinguen los siguientes sectores:

- 1.2.1 Empresas
- 1.2.2 Estado
- 1.2.3 Enseñanza superior
- 1.2.4 Instituciones privadas sin fines de lucro
- 1.2.5 Extranjero

1.2.1. Empresas. Este sector incluye: a) Todas las empresas, organismos e instituciones cuya actividad principal consiste en la producción mercantil de bienes y servicios (exceptuando la enseñanza superior) para su venta al público, a un precio que corresponde al de la realidad económica; b) Las instituciones privadas sin fines de lucro, que están esencialmente al servicio de las empresas. El núcleo de este sector lo constituyen las **empresas privadas** (sociedades o cuasisociedades), distribuyan o no beneficios. Entre esas empresas se encuentran aquellas cuya actividad principal es la I+D (institutos y laboratorios de I+D comerciales).

Este sector comprende, además, las empresas públicas (sociedades y cuasisociedades públicas controladas por los poderes públicos), cuya actividad principal es la producción mercantil y la venta de bienes y servicios, que habitualmente son producidos por empresas privadas, si bien, por razones políticas, el precio que se fija para estos productos y servicios puede ser inferior a los costes globales de producción. Para que exista “producción mercantil” en este contexto es preciso que los costes se correspondan con el valor (en cantidad y calidad) de los bienes y servicios suministrados, que la decisión de adquirirlos sea libre y que el precio fijado tenga un efecto claro sobre la oferta y la demanda.

Cualquier empresa pública que proporcione servicios de enseñanza superior debe clasificarse en el sector enseñanza superior.

1.2.2. Estado (Administración). Este sector incluye todos los departamentos, oficinas y otros organismos que suministran, generalmente a título gratuito, servicios colectivos, los que no serían fáciles ni rentables suministrar de otro modo y que, además, administran los asuntos públicos y la política económica y social de la colectividad. (Las empresas públicas se incluyen en el sector empresas). Además incluye a las Instituciones Privadas sin Fines de Lucro (IPSFL) controladas y financiadas principalmente por la administración, con excepción de las administradas por el sector de la enseñanza superior.

1.2.3. Enseñanza superior. Este sector considera a todas las universidades, centros de nivel universitario, institutos tecnológicos y otros centros post-secundarios, cualesquiera que sea el origen de sus recursos y su personalidad jurídica. Incluye también todos los institutos de investigación, estaciones experimentales y hospitales directamente controlados, administrados o asociados a centros de enseñanza superior.

1.2.4. Instituciones privadas sin fines de lucro. Incluye instituciones que están fuera del mercado y al servicio de particulares y público en general.

1.2.5. *Extranjero.* El sector extranjero incluye todas las instituciones e individuos situados fuera de las fronteras políticas de un país, excepto los vehículos, buques, aeronaves y satélites espaciales utilizados por instituciones nacionales y los terrenos de ensayo adquiridos por estas instituciones.

Ahora bien, los sectores económicos implicados en I+D pueden tener una acción importante en el financiamiento, en la ejecución del gasto o en ambos. Cuando ambos tipos de acciones se comparan (Tabla 5.1) aparece un nuevo sector que a nivel interno ejecuta recursos provenientes del extranjero. Uno de estos casos corresponde a las Organizaciones Internacionales, que ejecutan en el país un programa de desarrollo internacional a través del uso de recursos de origen variado, principalmente extranjero. Ejemplos de estas organizaciones en Chile son el “European Southern Observatory” (ESO) y el programa “Association of Universities for Research in Astronomy” (AURA).

Tabla 5.1. Clasificación de los sectores económicos según el Manual de Frascati.	
Clasificación según Sectores de Financiamiento	Clasificación según Sectores de Ejecución
Empresas Estado (Administración) Enseñanza superior Instituciones privadas sin fines de lucro Extranjero	Empresas Estado (Administración) Enseñanza superior Instituciones privadas sin fines de lucro Organizaciones internacionales

1.3. Modalidades de adjudicación de recursos

En general, existen dos modalidades distintas para adjudicar recursos a determinados programas o proyectos. Una es la adjudicación directa por la institución financiante y la otra es adjudicación por concurso, público o privado.

Los recursos aportados por el Estado para I+D comprenden ambos tipos de modalidades. Así, existen Aportes Fiscales Directos a Universidades e Institutos del Estado y existen fondos concursables, tales como FONDECYT, FONDEF, FONTEC, etc. Los fondos concursables reciben un aporte directo por parte del Estado, pero la distribución final de recursos se realiza a través de concurso de proyectos. El conjunto de aportes entregados por el Estado constituye los Programas Públicos destinados a I+D y los montos totales están estipulados en la Ley de Presupuesto para el sector público de cada año.

La empresa también ocupa ambas modalidades de aporte, aunque los concursos públicos son muy infrecuentes. Más frecuentes son los aportes directos a una institución dada, como donación o venta de servicio, o los concursos privados por invitación. Los montos totales aportados por la empresa son reunidos a través de encuestas y no siempre es posible diferenciar en forma nítida los recursos asignados a I+D y aquellos aportados para otras actividades de Ciencia y Tecnología.

Los aportes provenientes del extranjero generalmente toman la forma de un aporte directo con un propósito definido. Dependiendo del nivel de madurez de la comunidad científica en el lugar de destino, estos aportes pueden tomar la forma de programas que distribuyen recursos a través de concursos competitivos de proyectos o corresponden preferentemente a aportes directos.

Tabla 5.2. Programas públicos destinados a I+D en Chile, indicando el servicio que los administra.	
1.1. Aportes directos	▪ Aporte directo a universidades (MINEDUC) ▪ Aporte directo a institutos del Estados (varios Ministerios)
1.2. Aportes concursables 1.2.1. Orientados preferentemente a Investigación Básica 1.2.2. Orientados preferentemente a Investigación Tecnológica y Desarrollo Experimental	▪ Fondo de Investigación Científica y Tecnológica (FONDECYT-CONICYT) ▪ Iniciativa Milenio (MIDEPLAN) ▪ Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF-CONICYT) ▪ Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo (FONTEC-ECONOMÍA) ▪ Fundación para la Innovación Agraria (FIA-AGRICULTURA) ▪ Fondo de Desarrollo e Innovación (FDI-ECONOMÍA) ▪ Fondo de Investigación Pesquera (FIP-ECONOMÍA) ▪ Fondo de Investigación Antártica (RELACIONES EXTERIORES) ▪ Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica (ECONOMÍA) ▪ Programas Regionales (CONICYT) ▪ Fondo Nacional de Investigación en Salud (FONIS-SALUD)
1.2.3. Orientados preferentemente a formación de investigadores 1.2.4. Orientados a refuerzo de Programas de Doctorado	▪ Programa Nacional de Becas de Postgrado (CONICYT) ▪ Complemento de Tesis Doctoral (CONICYT) ▪ Proyectos de Doctorado (CONICYT) ▪ Proyectos de Posdoctorado (CONICYT) ▪ Becas Presidente de la República (MIDEPLAN) ▪ Becas Doctorado Nacionales (MIDEPLAN) ▪ Becas Doctorales de la Iniciativa Científica Milenio (MIDEPLAN) ▪ Becas Doctorales del Programa MECESUP (EDUCACIÓN) ▪ Componente competitivo, Programa MECESUP de Postgrado (EDUCACIÓN)

1.4. Instrumentos considerados en este estudio

Como se indicó precedentemente, el presente análisis incluye instrumentos y aportes que se orientan a Investigación y Desarrollo. No existe una nomenclatura preestablecida para los aportes entregados por la industria, donde se supone que una parte sustancial de los recursos declarados en las encuestas se orientan a investigación aplicada y desarrollo. En el caso de los aportes estatales, éstos se ejecutan a través de Programas Públicos, los que han sido ordenados en la Tabla 5.2, distinguiendo primero si el programa constituye un tipo de aporte directo o concursable y luego separando los instrumentos por la orientación preferente del programa dado (ciencias básicas, investigación aplicada y desarrollo o formación de investigadores). Un número menor de instrumentos, considerados por otros autores (Benavente, 2004 b; Rodríguez y Tokman, 2005) como destinados a CyT no han sido incluidos en la Tabla 5.2, porque ellos no conllevan necesariamente I+D y están orientados a otros aspectos de CyT, tales como transferencia tecnológica o fomento de actividades tecnológicas. Es el caso de los Programas de Marcas y Patentes y de Profo (Proyectos Asociativos de Fomento) y FAT (Fondo de Asistencia Técnica) de Economía, el Programa Explora de CONICYT, que se orienta a difusión y los Fondos de Desarrollo Institucional de las universidades, orientados a reforzar infraestructura y enseñanza de pregrado.

2. Evolución Presupuestaria de los Programas Públicos de Apoyo a I+D en el período 1994-2004.

2.1. Aportes directos

2.1.1. Aporte Fiscal Directo a las Universidades. Este fondo se estableció durante la Reforma Universitaria de 1980 (D.F.L. N° 4), concebido como una transferencia que realiza el Estado a las universidades como contrapartida a las prestaciones que estas hacen a la sociedad. Estas prestaciones incluyen la investigación científica y tecnológica, que conforma un bien público no vendible a ningún usuario específico y la extensión universitaria, que constituye un bien meritorio cuyo consumo el Gobierno está dispuesto a fomentar y, por lo tanto, a financiar.

El monto global del Aporte Fiscal Directo se aprueba anualmente en la Ley de Presupuesto de la Nación y los recursos se asignan entre las universidades que existían en 1980 (8 universidades), y las creadas como resultado de la división de alguna de éstas (17 universidades). Por lo tanto, hoy el Aporte Fiscal Directo a las universidades lo reciben en total 25 instituciones que conforman el Consejo de Rectores y su distribución se realiza principalmente con criterio histórico. Sólo 8 años después de haber iniciado su funcionamiento (finales de la década de los 80) se puso en práctica la idea de que un 5% de este aporte pudiese ser asignado en términos competitivos. Solamente el 35% de este 5% competitivo está determinado por el número de publicaciones y de trabajos de investigación realizados por cada universidad, por lo que no es esperable que la totalidad o una mayoría de esos fondos se orienten a investigación científico-tecnológica y extensión universitaria.

La Tabla 5.3 y la Figura 5.1 muestran la evolución del Aporte Fiscal Directo durante los últimos 10 años. Aunque el monto del aporte ha aumentado todos los años, el porcentaje de incremento anual se ha ido reduciendo en los últimos 7 años.

Tabla 5.3. Evolución del Aporte Fiscal Directo (AFD) a las universidades (1995-2004) y sus cambios porcentuales respecto a 1995 (Δ_1) y al año anterior (Δ_2). Los recursos movilizados en I+D corresponde a la extrapolación al decenio usando el valor (58,59%) calculado por CONICYT. Todos los valores corresponden a \$ de 2004.

Año	AFD (millones de \$)	Δ_1	Δ_2	Recursos Movilizados (millones de \$)
1995	86.744	0,00	0,00	50.823
1996	91.039	4,95	4,95	53.339
1997	95.687	10,06	5,11	56.063
1998	97.630	12,09	2,03	57.201
1999	100.008	14,53	2,44	58.594
2000	101.705	16,23	1,70	59.589
2001	102.987	17,49	1,26	60.340
2002	105.979	20,40	2,91	62.093
2003	106.426	20,82	0,42	62.355
2004	107.337	21,68	0,86	62.889

Fuentes: Compendio Estadístico de Educación Superior. (www.mineduc.cl) y CONICYT

Mientras entre los años 1995 y 1997 los aumentos oscilaron en torno a 5%, los valores equivalentes promedio para los dos últimos años están en torno al 0,6%. El incremento total acumulado en el período es de 21,68%, equivalente a 2,17% anual (interés simple).

Como se explicó precedentemente, en la actualidad se desconocen los montos de Aporte Fiscal Directo que las universidades dedican a las actividades de investigación y desarrollo. Sin embargo, Contreras y Verdugo (2005) han desarrollado una metodología para calcular la cantidad de recursos institucionales movilizadas para I+D por una universidad dada, en virtud de los recursos concursables obtenidos por dicha institución y analizando la orientación de los proyectos involucrados. Existen datos disponibles para efectuar dicho cálculo en los años 2002 y 2003 solamente, los que indican que en promedio las universidades movilizaron en esos años recursos equivalentes al 58,59% de los montos recibidos por concepto de Aporte Fiscal Directo. A pesar que hay datos sólo para 2002 y 2003 y que es esperable que los montos cambien de acuerdo a variaciones en la magnitud de los fondos concursables a lo largo de la década, la Tabla 5.3 incorpora el cálculo de los recursos movilizadas en los últimos 10 años. A pesar de los errores que puede contener esta extrapolación, ésta es la aproximación más realista encontrada para calcular la contribución del Aporte Fiscal Directo a investigación y desarrollo en las universidades. A 2004 dicho aporte alcanzaba a \$ 62.889 millones, equivalentes a US\$ 103 millones, al tipo de cambio promedio del año 2004 según el Banco Central de Chile (1 US\$ = \$609,5).

Al conocer la magnitud y orientación de los recursos concursables capturados por las universidades se puede conocer también la orientación de la porción del Aporte Directo que se orienta a la investigación básica, tecnológica o a desarrollo experimental. Los cálculos, realizados por Contreras y Verdugo (2005) para el presupuesto 2003 sugieren que un 40,5% de ese aporte se orienta a investigación básica, un 47,3% a investigación aplicada y el restante 12,2% a desarrollo experimental.

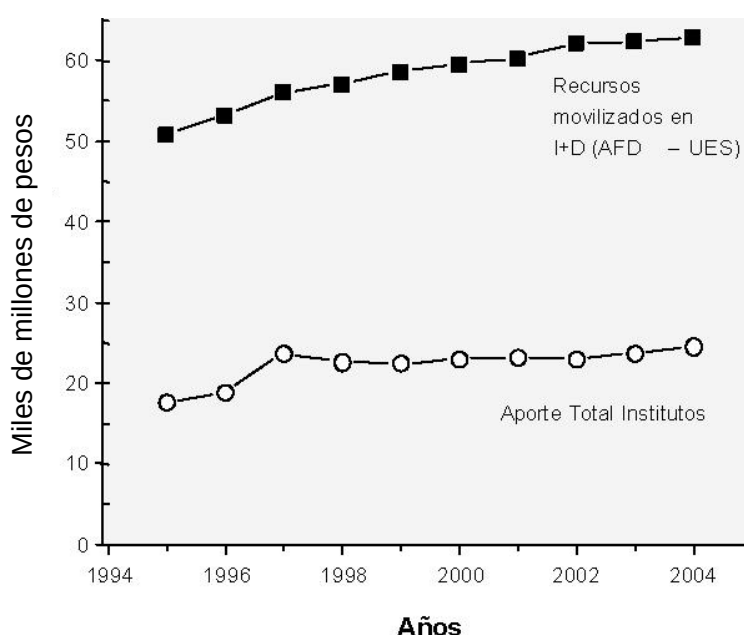


Fig.5.1. Evolución de los aportes estatales directos para I+D durante la década 1995-2004. Se incluye recursos del AFD de las Universidades movilizadas para I+D y el aporte estatal a los Institutos del Estado.

2.1.2. Aporte a los Institutos del Estado. En la actualidad, el Estado aporta financiamiento directo a 13 Institutos y servicios estatales que desarrollan investigación básica o investigación aplicada y desarrollo en proporciones variables (Tabla 5.4). Es necesario recordar que varios de estos Institutos fueron fundados durante la década de los sesenta (Tabla 5.4) para estimular el desarrollo de empresas, usando como paradigma el modelo lineal de innovación. En la última década los aportes

(Fig. 5.1, Tabla 5.5) han aumentado de \$ 17.647 millones anuales en 1995 a \$ 24.527 millones anuales en 2004. Este último valor es equivalente a US\$ 40,2 millones al tipo de cambio promedio de 2004 (Banco Central de Chile, 1 US\$ = 609,5) Los aumentos acumulados durante la década indican un incremento de 38,99%, equivalentes a \$ 6.880 millones. No sólo una mayoría de los Institutos y Servicios aumentaron su presupuesto en la década, sino que algunos que no recibían aporte directo, como Fundación Chile, empezaron a recibirlo.

Usando el método de clasificación de Contreras y Verdugo (2005), sólo 6% de estos recursos (unos \$ 1.472 millones) se usan en investigación básica, orientándose la mayor parte del resto de los recursos a investigación aplicada (\$ 20.786 millones) y, en menor volumen, (9,25%; \$ 2.269 millones) a desarrollo experimental.

Tabla 5.4. Institutos del Estado con Aporte Fiscal Directo e indicación de la importancia relativa de dicho aporte en actividades de investigación básica (i.b.), investigación aplicada (i.a.) y desarrollo (des.).					
Instituto	Año Creación	Ministerio	Porcentaje		
			i.b.	i.a.	Des.
Instituto Nacional Investigaciones Agrarias (INIA)	1964	Agricultura	5	85	10
Instituto Forestal (INFOR)	1965	Agricultura	8	92	8
Centro de Investigaciones y Recursos Naturales (CIREN)	1985	Agricultura	0	72	28
Instituto Fomento Pesquero (IFOP)	1965	Economía	10	90	0
Fundación Chile	1976	Agricultura y Economía	0	66	33
Instituto Astronómico Isaac Newton	1978	Educación	100	0	0
Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN)	1964	Minería	25	30	45
Servicio Nac. de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)	1980	Minería	0	100	0
Instituto Nacional de Hidráulica (IH)	1953	Transporte y Telecomunicaciones	0	100	0
Instituto Geográfico Militar (IGM)	1922	Defensa	0	100	0
Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA)	1990	Defensa	0	100	0
Servicio Aerofotogramétrico de la FACH (SAF)	1963	Defensa	0	100	0
Instituto Antártico Chileno	1963	Relaciones Exteriores	37	51	12

Fuente: Contreras y Verdugo, 2005

2.2. Los Fondos Concursables

La reforma al financiamiento universitario chileno de 1980 también contempló introducir la idea de competencia en los accesos a los fondos para investigación y desarrollo. Si bien el Aporte Fiscal Directo se contemplaba como el principal recurso a ser usado por las Universidades en actividades de investigación, entre 1982 y 1990 se realizó una reducción significativa de ese Fondo. Se explicó como necesaria para dar origen a un fondo competitivo que financiaría, a través de

concursos entre investigadores, proyectos y programas de investigación. Así nació en 1981 el Fondo de Desarrollo Científico-Tecnológico (FONDECYT).

Tabla 5.5. Evolución de los aportes directos del Estado a los Institutos Estatales (1995-2004) y sus cambios porcentuales con respecto a 1995 (Δ_1) y al año anterior (Δ_2). Todos los valores en millones de pesos de 2004.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
INIA	3.349	5.159	9.324	7.271	7.303	7.258	7.183	7.226	7.332	7.191
INFOR	464	397	0	0	0	522	680	738	917	925
CIREN	389	326	327	0	238	429	424	192	415	419
IFOP	849	169	0	124	421	419	414	417	389	392
Fundación Chile	0	0	0	1.855	1.189	1.159	1.117	1.016	1.595	1.939
CCHEN	5.034	4.977	5.155	4.142	4.664	4.458	4.349	4.314,9	4.057	3.980
SERNAGEOMIN	4.590	4.317	4.993	4.577	4.616	4.356	4.122	4.314	3.961	4.064
SHOA	606	807	971	1.167	1.125	1.713	2.033	1.872	1.943	2.004
SAF	87	86	84	85	74.3	49.4	69	70.4	126.4	153
IGM	556	728	888	904	746	668	804	821	845	1.102
INACH	1.425	1.564	1.626	1.613	1.650	1.541	1.606	1.665	1.683	1.911
INH	298	337	350	358	376	406	404	406	399	447
Total	17.647	18.867	23.718	22.596	22.402	22.978	23.205	23.052	23.662	24.527
Δ_1	0,00	6,91	34,40	28,04	26,95	30,21	31,50	30,63	34,09	38,99
Δ_2	-	6,91	25,71	-4,73	-0,86	2,57	0,99	-0,66	2,65	3,65

Fuente: Leyes de Presupuestos del Sector Público, años 1995 - 2004.

Desde sus primeros años, FONDECYT estableció un sistema de distribución de recursos basado en la calidad intrínseca de la investigación a realizar, con prioridad manifiesta a la originalidad y trascendencia de la propuesta de investigación, confianza en la experiencia o la excelencia de los proponentes de la investigación y evaluación rigurosa por parte de revisores externos, tanto de las proposiciones a investigar como de los resultados obtenidos (Santelices, 1996, 2000). Con esas características, pronto FONDECYT se transformó en el programa más importante en el desarrollo científico nacional, contribuyendo muy significativamente a los trabajos científicos y tecnológicos que se publican desde Chile. Más importante aún, el éxito del modelo convenció a las autoridades que la asignación de fondos a través de fondos competitivos podría constituir una modalidad eficiente para asignar recursos estatales para investigación. Ello sirvió de semilla para la implementación de varios otros fondos que han surgido con distintos objetivos y orientaciones en Chile (Tabla 5.1). Los fondos se deberían entender como un conjunto de mecanismos de distribución de recursos sobre bases competitivas que complementan a los aportes directos entregados por el Estado.

Basados en los objetivos de estos fondos y en el tipo de proyectos que financia, se pueden distinguir recursos orientados preferentemente a ciencia básica, investigación tecnológica y diseño experimental, y formación de recursos humanos.

2.2.1. *Fondos orientados preferentemente a ciencias básicas.* Estos programas incluyen, esencialmente, a FONDECYT y la Iniciativa Milenio. Ambos programas tienen como función principal la creación de conocimiento, realizando principalmente investigación básica, pero también desarrollando investigación aplicada, especialmente en el Programa FONDECYT.

El conjunto de fondos dedicados a investigación básica (Fig. 5.2, Tabla 5.6) creció en la década en 53,85%, desde \$ 16.168 millones en 1995 a \$ 24.874 millones en 2004 (unos US\$ 40,8 millones, al tipo de cambio promedio de 2004 según el Banco Central de Chile; 1 US\$ = \$ 609,50). Sin embargo, los perfiles de crecimiento de los dos fondos aquí incluidos fueron muy distintos. La Iniciativa Milenio emergió en el año 2000 con recursos por \$ 3.270 millones. Aunque los recursos aumentaron 20-35% en los años siguientes, en 2004 las cifras volvieron a los volúmenes originales. Comparado con el año de su inicio (2000), el programa ha crecido un 10,5% (unos \$ 340 millones) en el quinquenio (2,6% anual).

Tabla 5.6. Evolución de los fondos dedicados principalmente a ciencia básica; Δ_1 significa el cambio porcentual acumulado con respecto a 1995; Δ_2 indica el cambio porcentual respecto al año anterior. Todos los valores en millones de pesos de 2004.										
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
FONDECYT	16.167,70	18.313,00	19.329,60	19.472,10	20.272,60	19.714,50	21.693,90	21.460,80	21.082,90	21.263,50
Iniciativa Milenio	—	—	—	—	—	3.268,50	4.404,50	4.158,50	4.085,30	3.610,70
Total	16.167,70	18.313,00	19.329,60	19.472,10	20.272,60	22.983,00	26.098,40	25.619,30	25.168,20	24.874,20
Δ_1	0,00	13,27	19,56	20,44	25,39	42,15	61,42	58,46	55,67	53,85
Δ_2	27,06	13,27	5,55	0,74	4,11	13,37	13,56	- 5,59	- 1,76	- 11,62

Fuente: Leyes de Presupuesto del Sector Público, años 1995 – 2004.

Por su parte, el programa FONDECYT experimentó un crecimiento real total de 31,52% entre 1995 y 2004 (de \$ 16.168 a \$ 21.264 millones). La mayor parte de este crecimiento fue en el período 1995-2001, con incrementos promedios de \$ 1.100 a \$ 1.200 millones anuales ($x = 5-7\%$ anual). En los últimos 4 años considerados, los recursos han disminuido desde \$ 21.694 millones en 2001 a \$ 21.264 millones en 2004, lo que constituye un crecimiento negativo de 1-2% anual.

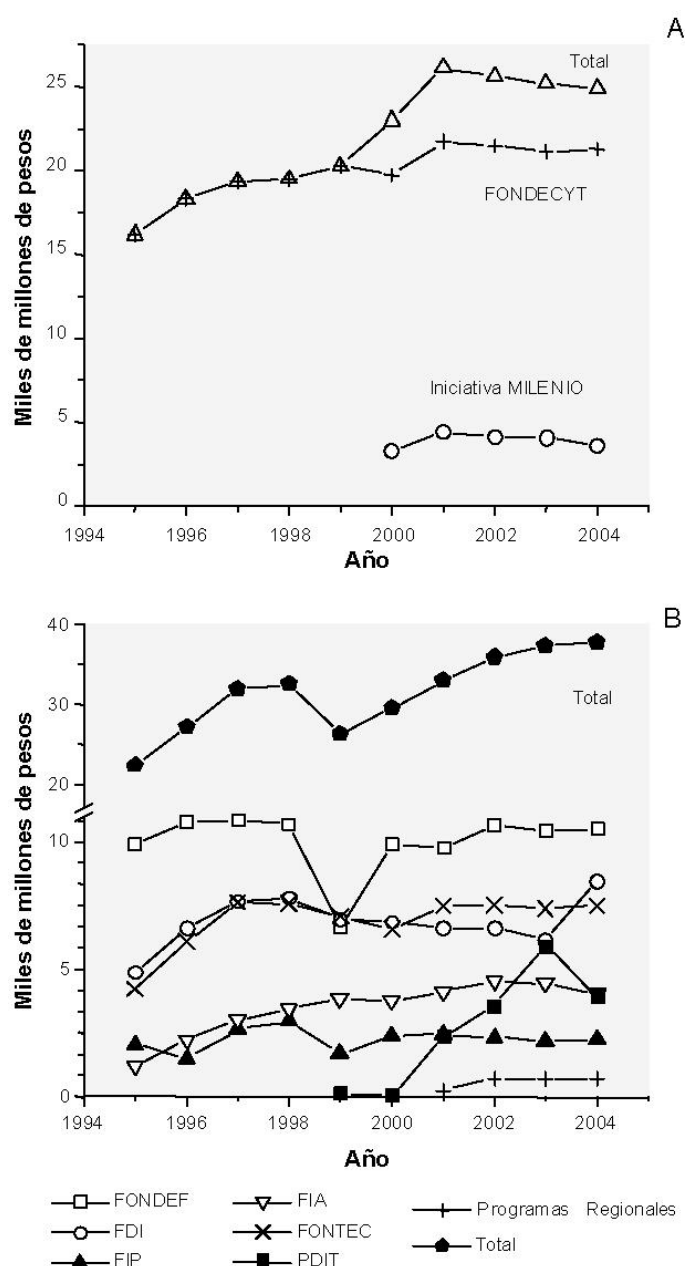


Fig. 5.2. Evolución durante la década 1995-2004 de los fondos concursables.
A: Fondos orientados preferentemente a investigación básica.
B: Fondos orientados preferentemente a investigación tecnológica y desarrollo.

Si bien es cierto que los datos parecieran sugerir que la iniciación y desarrollo del Programa Milenio reemplazó el crecimiento de FONDECYT en la segunda parte de la década, se debe tener en cuenta que ambos programas tienen objetivos y usuarios distintos. La Iniciativa Científica Milenio, al igual que el Subprograma FONDAP de FONDECYT, atiende preferentemente a grupos de investigadores. Por su parte, los recursos del Programa FONDECYT se orientaban, a principios de la década, a varios tipos de subprogramas incluyendo el concurso regular, el de líneas complementarias, la cooperación internacional, los programas de postgrado y los FONDAP. Siendo el concurso regular la base del trabajo individual o de grupos pequeños que se hace en Chile y

financiando este programa proyectos de hasta 4 años de duración, en vez de 3, la ausencia de crecimiento de FONDECYT en los últimos 5 años se podría parcialmente explicar porque una mayoría de los recursos han sido orientados al programa regular, el que se vio obligado a crecer por incremento en el número de proyectos de 4 años aprobados desde 1998 y que se empiezan a hacer efectivos en el 2001 (ver Tabla 5.7). Esto ha llevado a un bajo crecimiento de los FONDAP, a la desaparición de los programas sectoriales y del programa de líneas complementarias, a un muy bajo crecimiento de los programas de posgrado y a escaso crecimiento en el número y monto de los proyectos del concurso regular mismo. Como se muestra en la Tabla 5.7, el número de nuevos proyectos no ha crecido sino que disminuido en los últimos años.

Tabla 5.7. Recursos (en millones de pesos de 2004) del Programa FONDECYT orientados a financiar proyectos del Programa Regular en los últimos 10 años.				
	Millones de \$	% ⁽¹⁾	Nº Total de Proyectos ⁽²⁾	Nº Proyectos 4 años ⁽³⁾
1995	11.900	73,6	445	0
1996	12.594	69,5	380	0
1997	13.607	70,4	338	0
1998	13.089	67,2	346	0
1999	12.989	64,1	337	0
2000	13.862	70,3	322	0
2001	16.734	77,1	316	98
2002	17.863	83,2	323	96
2003	19.939	94,6	357	123
2004	19.383	91,2	364	92

(1) El valor del porcentaje (%) indica la proporción de recursos del Programa usados en el Concurso Regular.

(2) El Nº total se refiere al total de nuevos proyectos en el Concurso Regular.

(3) 4 años se refiere al número de proyectos entrando en su cuarto año de realización.

Fuente: Base de datos FONDECYT-CONICYT.

En términos de moneda internacional, el Programa FONDECYT equivale a unos US\$ 34,9 millones, mientras que la Iniciativa Científica Milenio alcanza a unos US\$ 5,9 millones (al tipo de cambio promedio de 2004; 1 US\$ = \$ 609,5). De acuerdo a evaluaciones realizadas primero por Álvarez y Crespi (1999) y luego continuadas por Contreras y Verdugo (2005), el 67,7% de los recursos de FONDECYT se orienta a ciencia básica, mientras que el 32,2% se destina a investigación aplicada. En el caso de la Iniciativa Milenio, el 93,5% de los recursos se orienta a ciencia básica y el 6,5% restante se orienta a investigación aplicada. Considerando los tamaños relativos de los programas y sus orientaciones respectivas, se concluye que aproximadamente el 82% de los US\$ 40,8 millones invertidos en esos programas se orientan hacia la investigación básica, mientras que el 18% restante apoya la investigación aplicada.

2.2.2 Fondos orientados preferentemente a Investigación Aplicada y Desarrollo. Los 9 Fondos incluidos en la lista de Fondos Tecnológicos (Tablas 5.1 y 5.8) son un grupo heterogéneo con respecto a objetivos y orientaciones. Algunos como el FIA, el FIP o el FONIS están orientados a las actividades de sectores específicos (agrícola, pesquero y salud, respectivamente), mientras que otros (FONDEF, FDI, FONTEC) son horizontales, con o sin definición de áreas prioritarias. Algunos se orientan a resolver problemas específicos de ciertas regiones (Fondo de Investigaciones Antárticas, Fondos Regionales), mientras que otros tienen proyección nacional. Todos ellos, sin embargo, se caracterizan por un predominio de la investigación aplicada sobre la investigación básica, con algunos fondos que financian también actividades de desarrollo.

Tabla 5.8. Evolución de los Fondos Concursables orientados a tecnología en la década 1995– 2004. Todos los valores corresponden a millones de pesos de 2004. Los símbolos Δ_1 corresponde al cambio porcentual del fondo con respecto a 1995 y Δ_2 corresponde al cambio con respecto al año anterior.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF CONICYT)	9.932	10.753	10.860	10.696	6.656	9.877	9.775	10.643	10.432	10.521
Fondo de Desarrollo a Innovación (FDI; ECONOMÍA)	4.870	6.618	7.655	7.791	6.971	6.851	6.582	6.621	6.137	8.447
Fondo de Investigaciones Pesqueras (FIP; ECONOMÍA)	2.053	1.475	2.625	2.968	1.664	2.409	2.456	2.310	2.193	2.211
Fundación para la Innovación Agraria (FIA; AGRICULTURA)	1.217	2.207	2.985	3.428	3.851	3.763	4.106	4.523	4.427	4.035
Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo (FONTEC; ECONOMÍA)	4.225	6.087	7.650	7.573	7.070	6.574	7.477	7.507	7.377	7.485
Programa de Desarrollo a Innovación Tecnológica (ECONOMÍA)	0	0	0	0	133	52	2.359	3.533	5.924	3.973
Programas Regionales (CONICYT)	0	0	0	0	0	0	231	733	703	717
Fondo Nacional de Investigación en Salud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204
Fondo de Investigaciones Antárticas (*)	37	37	37	36	36	36	36	55	46	46
Total	22.330	27.180	31.810	32.490	26.380	29.560	33.020	35.920	37.240	37.640
Δ_1	0,00	21,68	42,43	45,48	18,12	32,36	47,85	60,85	66,74	68,53
Δ_2	-	21,68	17,05	2,14	-18,81	12,06	11,70	8,79	3,66	1,08

Fuentes: CORFO, Chile; Indicadores CyT CONICYT y Leyes de Presupuesto del Sector Público, años 1995 – 2004.

(*) Cifras por confirmar

En 1995 este conjunto de programas sumaba \$ 22.330 millones, cifra que en 2004 llegó a \$ 37.640 millones. Ello representa un crecimiento de 68,5 % (\$15.310 millones) en la década. El costo de este conjunto de programas equivale a US\$ 61,8 millones (al tipo de cambio promedio de 2004; 1 US\$ = \$ 609,5), un 61% del cual se orienta a investigación aplicada y el 32% restante a desarrollo. Sólo un porcentaje menor (7%), representado por actividades en los Programas Regionales y las investigaciones antárticas, financian ciencia básica (ver Tabla 5.9).

2.2.3 Aportes orientados preferentemente a la formación de investigadores. La Tabla 5.10 y la Fig. 5.3 resume la evolución durante la última década de los instrumentos orientados a la formación de doctores en el país o en el extranjero. En 1995 los recursos sumaban casi \$ 4.405 millones. En los años siguientes ellos aumentaron en forma sostenida, especialmente las Becas Presidente de la República, el Programa Nacional de Becas de Posgrado y las Becas de Doctorado aportados por el Fondo Competitivo del Programa MECESUP. En 2003, los fondos alcanzaron a \$11.415 millones, valores que mostraron una declinación en 2004, como consecuencia de la terminación del Programa MECESUP, reducciones en las becas de posdoctorado y en las de posgrado de MIDEPLAN. Así, los fondos para formación de recursos humanos en la última década incrementaron en 112,56%. Considerando el valor promedio del dólar para 2004 (\$ 609,5; Banco Central), este conjunto de instrumentos alcanzó a US\$ 15 millones en 2004.

Tabla 5.9. Contribución relativa (en %) de los Fondos Tecnológicos a la investigación básica (i.b.), aplicada (i.a.) y desarrollo (des.).			
	i.b.	i.a.	des.
FONDEF	0	59.9	40.1
FDI	0	83.6	16.4
FIP	0	100.0	0
FIA	0	47.4	52.6
FONTEC	0	17.0	83.0
PDIT	0	51.7	48.3
Regionales	47.2	52.8	0

Fuente: Calculado de Contreras y Verdugo, 2005.

Tabla 5.10. Evaluación de los recursos destinados a la formación de doctores (investigadores). Todos los valores corresponden a millones de pesos del año 2004.										
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Progr. Nacional Becas Postgr.	944,5	936,9	1.303,6	1.384,7	1.573,0	1.787,3	2.292,7	3.383,2	3.538,3	3.059,3
Proyecto Tesis Doctorado	930,3	500,9	681,2	428,6	1.204,6	1.196,6	1.045,7	—	—	—
Progr. Término de Tesis	36,9	30,1	—	—	80,2	80,9	—	—	—	—
Becas Presid. de la República	2.210,2	2.542,6	3.509,8	4.100,9	2.930,7	2.992,6	4.359,4	5.105,4	5.216,3	4.438,6
Programa de Postdoctorado	283,4	187,7	517,3	665,8	872,6	838,5	719,8	690,2	719,9	—
Progr. Becas MECESUP	—	—	—	—	—	242,4	413,99	716,11	1.048,9	862,0
Becas Postgr. Chile Mideplan*	—	—	—	—	—	455,2	545,7	549,0	507,1	652,3
Iniciativa Cient. Milenio	—	—	—	—	—	178,3	261,71	241,53	384,81	351,8
Total	4.405,3	4.198,2	6.011,9	6.580,0	6.661,1	7.771,8	9.639,0	10.685,44	11.415,31	9.364,0

* (Art. 27, Ley N° 19.595). Fuentes: Departamento de Recursos Humanos del CONICYT, Secretaría Ejecutiva de los Programas MECESUP y Milenio y Departamento de Becas de MIDEPLAN.

2.2.4 Aportes orientados al mejoramiento de programas de doctorado. Estrechamente asociado con los procesos de formación de científicos se inscribe el programa de reforzamiento de los Programas de Doctorado del componente competitivo del Programa MECESUP. Este programa, en general, está orientado a mejorar la calidad y equidad en la Educación Superior en Chile y desde 1999 financia, entre otras actividades, proyectos de mejoramiento de los programas de posgrado, especialmente doctorados.

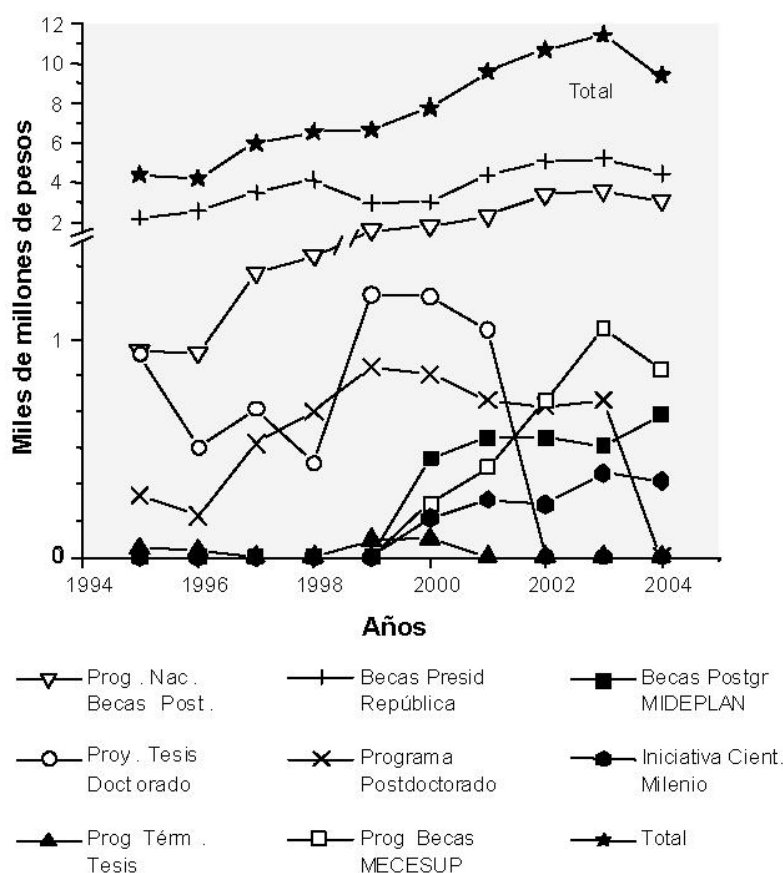


Fig. 5.3. Evolución durante la década (1995-2004) de los aportes orientados a la formación de recursos humanos.

Como muestra la Tabla 5.11, el programa es de duración limitada (1999-2004) aportando un total cercano a \$ 29 mil millones. Si a esos valores se le restan los aportes de becas de doctorado, ya considerados en la Tabla anterior, se concluye que entre 1999 y 2004 el Programa MECESUP aportó sobre \$ 25 mil millones a los programas de doctorado del país (unos \$ 4.260 millones anuales). Con esos recursos se adquirió equipamiento y bienes necesarios para los programas, se mejoró la infraestructura e instalaciones, aumentó el intercambio académico y el perfeccionamiento de profesores.

Esta inyección de recursos a través del Programa MECESUP de Posgrado, compensó parcialmente por la falta de incremento del Aporte Fiscal Directo en los últimos cinco años de la década. Es necesario hacer notar, sin embargo, que dicha compensación se relaciona con las funciones docentes asociadas a investigación, principalmente la formación de doctores. Esos fondos no alcanzan ni permiten otros desarrollos de investigación, como trabajo independiente de investigadores, programas de investigación de interés para la universidad u otros.

Tabla 5.11. Aportes del Componente Competitivo del Programa MECESUP para los Programas de Posgrado. Valores corresponden a millones de pesos del año 2004.			
Año	Total	Becas	Otras acciones (total menos becas)
1999	4.488	---	4.488
2000	6.114	242.4	5.871.6
2001	7.529	414.0	7.115.0
2002	7.011	716.1	6.294.9
2003	2.524	1.049.0	1.475.0
2004	1.182	862.0	320.0
Total	28.848	3.283.5	25.564.5

Fuente: Dirección Ejecutiva del Programa MECESUP, Ministerio de Educación.

2.3. Evolución Presupuestaria de los Aportes privados en Chile para Investigación y Desarrollo

Tradicionalmente, el aporte de la empresa a las actividades de I+D había sido medida a través de preguntas pertinentes a gastos de I+D contemplados en la Encuesta Anual de Innovación la cual consideró en sus dos primeras versiones (1995-1998) sólo al sector Manufacturas. En el 2001 se incluyó en la muestra a unidades de los sectores Minero y Generación y Distribución de Energía. Los montos (Fig. 5.4 y Tabla 5.12) estimados a 1995 alcanzaban a los \$ 48.926 millones de pesos anuales. En los 4 años siguientes (1995-1999) los valores de inversión fueron iguales o menores que aquellos calculados en 1995. En 2000 y 2001, los aportes de la empresa volvieron a alcanzar los niveles de 1995 llegando a \$ 62.733 millones en 2001 e indicando un claro crecimiento (74%) con respecto a 1998.

En 2002 el Ministerio de Economía realizó el primer Censo de Gasto Privado en I+D. Los datos resultantes de este censo fueron contrastados y complementados con los recursos declarados como aportados por las empresas, a los proyectos en los programas FONTEC y FONDEF, y los resultados obtenidos de la Encuesta de Innovación.

El resultado de este análisis es un incremento en la inversión, entre el año 2001 y 2002, de un 81,7%. Aunque es esperable que la inversión privada haya crecido en ese año, pareciera que una parte de este incremento radica en la nueva metodología de análisis aplicada a este sector.

Tabla 5.12. Gasto en Investigación y Desarrollo de las empresas (millones de pesos) y aportes a través de la Ley de Donaciones.									
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Gasto I+D Empresas	42.181,90	36.843,40	27.400,10	29.573,40	32.709,10	55.085,70	62.733,20	114.002,60	104.827(*)
Ley de Donaciones	1.569	1.690	2.484	2.435	2.526	0	4.051	3.769	3.599

Fuente: CONICYT y Ministerio de Economía (Encuesta de Innovación)

(*) Cifra por confirmar

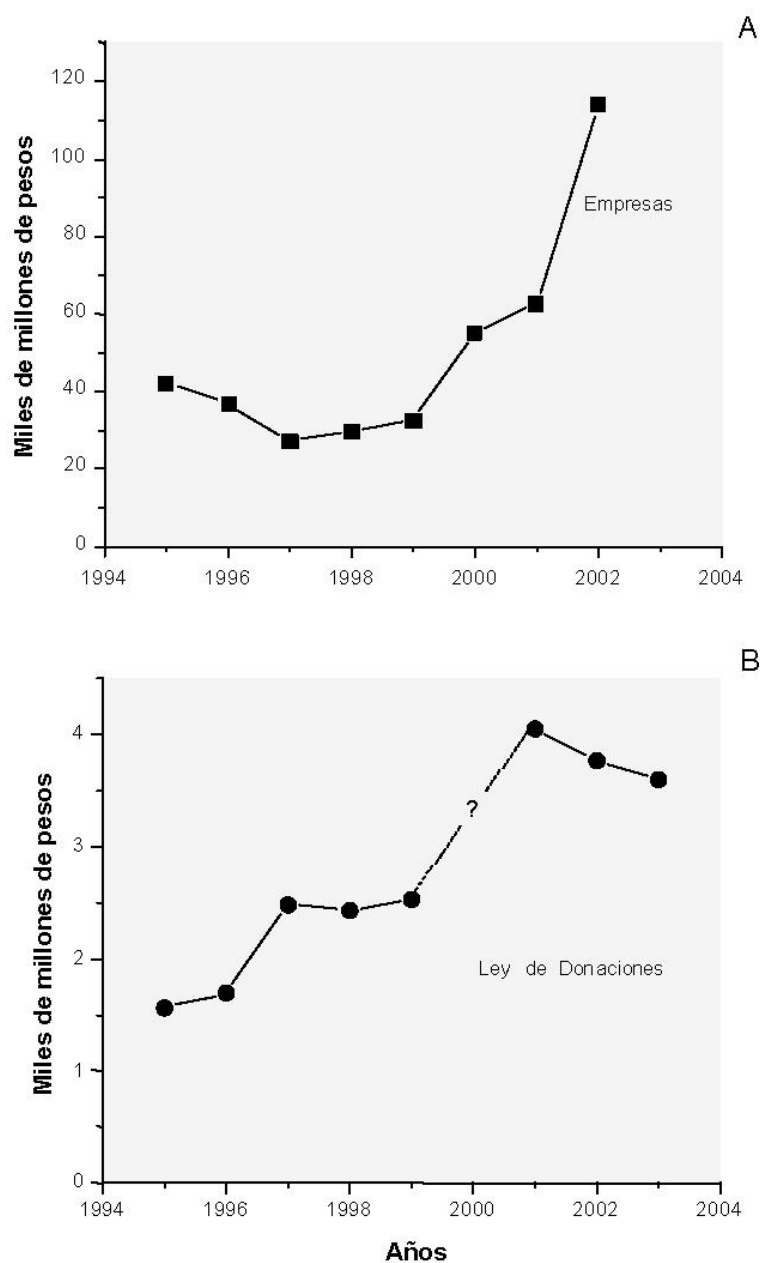


Fig. 5.4. Evolución durante la década (1995-2004) de los aportes de empresas (públicas y privadas) para I+D (A) y de las donaciones realizadas por privados a las universidades (B).

Aceptando la nueva metodología de análisis y reconociendo que posiblemente los valores actuales no son comparables con aquellos existentes en 1994, se puede concluir que el aporte de las empresas a I+D en 2002 fue de \$ 114.000 millones, un incremento del orden de 170% con respecto a los valores de 1995. Aunque las estadísticas no están completas, se espera que esos valores sigan incrementando en 2003 y 2004. Los \$ 114.000 millones equivalen a US\$ 163,4 millones, calculados al valor promedio del dólar para 2002 (1 US\$ = \$ 701,95; Banco Central). Contreras y Verdugo (2005) estimaron que 27% de estos recursos se usan en investigación aplicada y el 72% restante en desarrollo experimental.

Instituciones privadas también aportan a I+D a través de la Ley de Donaciones. La Tabla 5.13 incorpora también esta cifra e indica que los montos correspondientes han incrementado anualmente, desde \$ 1.500 millones a principios de la década, a valores cercanos a \$ 4 mil millones en 2001-2002.

2.4. Cooperación Internacional

Los autores no tuvieron acceso a los datos sobre los recursos que llegan al país para I+D a través de la Cooperación Internacional. El tema es complejo porque esta categoría incluye una diversidad de ONGs con una variedad de funciones, entre las que pudiese haber algunas relacionadas con I+D. A lo anterior se deben agregar los retornos del proyecto Géminis, los que suman del orden de \$ 4.800 millones al año.

2.5. Programas Recientes

En 2004 se inició un nuevo programa en CONICYT denominado Programa de Ciencias para la Economía del Conocimiento. El programa contempló, para 2004, un aporte de M\$ 5.129,7 para varios subprogramas que se empezaban a concretar en 2005. Este es un aporte estatal de significación para I+D, pero aún no se pueden definir con precisión los montos orientados a creación de conocimiento, recursos humanos, infraestructura o innovación y desarrollo.

Tabla 5.13. Composición de la inversión nacional en I+D en millones de pesos y su equivalente en millones de dólares. Con la excepción del aporte privado, todos los valores corresponden a pesos o dólares del año 2004. Aquellos del aporte privado corresponden a 2003.			
1	APORTES DEL ESTADO	Millones de \$	Millones de US\$
	- <i>Aportes directos</i>		
	- A las Universidades	62.889	103.0
	- A los Institutos	24.527	40.8
	- <i>Fondos concursables</i>		
	- Investigación básica	24.874	42.0
	- Inv. Aplicada y desarrollo	37.640	61.8
	- Formación de investigadores	9.364	15.0
	- Refuerzos Programa Doctorado	320	0.5
	- Otros Programas	5.130	8.4
	TOTAL ESTADO	164.879	271.5
2	APORTES PRIVADOS	Millones de \$	Millones de US\$
	- Empresas (2003)	104.971	151
	- Donaciones (2003)	1.756	2.5
	TOTAL APOORTE PRIVADO	106.727	153.5
	TOTAL GENERAL	271.606	425.0

Relación Estado / Aporte Privado = 60.7 / 39.3

3. Composición de la Inversión

3.1 Aporte Total

La Tabla 5.13 suma los recursos analizados en las páginas precedentes. El valor total de la inversión del país en I+D en 2004 fue de \$ 271.606 millones, valor equivalente (al cambio de 2004) a US\$ 425 millones. Un 32,18% de estos recursos son aportes directos, ya sea a universidades o a institutos estatales, mientras que el otro 28,5% son fondos concursables orientados a distintos objetivos. La inversión restante (39,3%) son aportes de la empresa privada. Los datos usados para calcular el aporte privado han sido extraídos de Contreras y Verdugo (2005), quienes estimaron las cifras correspondientes para 2003 y son más recientes que aquellos incluidos en la Tabla 5.12.

Debe considerarse que la Tabla 5.13 no incluye algunos ítemes tales como la contribución de Chile a los programas astronómicos y la cooperación internacional. A lo anterior se debe sumar que varios programas sufrieron reducciones en 2004, incluyendo el Programa MECESUP que en los 5 años anteriores contribuyó anualmente con \$ 6.500 a 7.000 millones al trabajo universitario. Así, la inversión anual en I+D parece superior a los \$ 271.606 millones resultantes de la Tabla 5.13. De hecho, los valores equivalentes para 2002 suman alrededor de \$ 281.500 millones. La equivalencia en dólares también debe ser manejada con cautela debido a los continuos cambios de la relación peso/dólar en los últimos años. Así, se puede concluir que los aportes nacionales para I+D son cercanos a \$300.000 millones anuales y equivalentes en forma aproximada a US\$ 450 millones.

3.2 La inversión en términos del PIB

En términos del porcentaje del PIB (Fig. 5.5), la inversión total en I+D osciló durante la última década desde 0,62% en 1995 a 0,70% en 2002. Durante la mayor parte de la década, sin embargo, los valores se mantuvieron por debajo de 0,60%. Los valores menores ocurrieron en 1997, cuando el gasto alcanzó el 0,47% del PIB y en 1998, cuando llegó a 0,50%. La recuperación fue relativamente menor en los tres años siguientes, alcanzando 0,54% en 2001. En 2002 el gasto alcanzó 0,70% y se esperan valores similares para los años 2003 y 2004.

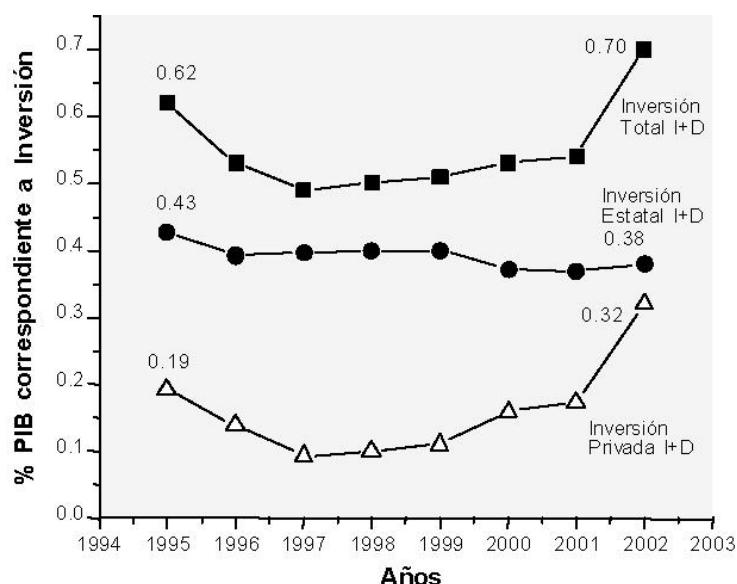


Fig. 5.5. Inversión nacional en I+D en Chile, en términos de % del PIB, en el período 1995-2002.

El aporte total en términos de PIB es el resultado de los aportes estatales y privados, factores que han mostrado tendencias distintas durante la década (Fig. 5.5). El aporte estatal, que alcanzaba 0,43% del PIB en 1995, mostró una reducción gradual pero continua, alcanzando niveles de 0,38% en 2002. Por su parte, el aporte privado también disminuyó durante la década desde 0,19% en 1995 hasta niveles de 0,10-0,12% en 1997-1998. Sin embargo, a partir de 1999 la participación del sector privado ha aumentado, alcanzando en 2001 niveles cercanos a aquellos de principios de la década y sobrepasándolos en 2002. De hecho, la recuperación del gasto total en I+D en términos de porcentaje del PIB, se explica por el incremento en gasto por la empresa privada en 2002. Como se explicó antes, es posible que, en términos comparativos con el resto de la década, parte del incremento en ese año sea un efecto de diferencias en los métodos de medición. Sin embargo, el aporte privado venía recuperándose desde 1999 y cursando un patrón de cambio distinto al del aporte estatal.

Tabla 5.14. Porcentajes y cantidades de recursos de la inversión nacional en I+D orientados a investigación básica (i.b.), investigación aplicada (i.a.) y desarrollo experimental (d.e.). Todos los valores en millones de pesos de 2004. Se ha excluido el ítem Otros Programas por desconocerse la orientación de los recursos.

		i.b.	i.a.	d.e.
1	APORTES DEL ESTADO	Millones de \$	Millones de \$	Millones de \$
	<i>Aportes directos</i>			
	- A las Universidades	25.470	29.740	7.679
	- A los Institutos	1.471	20.774	2.282
	<i>Fondos concursables</i>			
	- Investigación básica	20.397	4.477	0.0
	- Inv. Aplicada y desarrollo	2.634	22.961	12.045
	- Formación de investigadores	6.602	2.762	0.0
	- Refuerzos Programa Doctorado	129	152	39
	- Otros Programas	No incluidos	No incluidos	No incluidos
	TOTAL ESTADO	56.703	80.866	22.045
2	APORTES PRIVADOS	Millones de \$	Millones de \$	Millones de \$
	- Empresas (2003)	0	17.845	87.125
	- Donaciones (2003)	712	832	212
	TOTAL APORTE PRIVADO	712	18.677	87.337
	TOTAL GENERAL	57.415	99.543	109.382
	PORCENTAJE	21,6%	37,4%	41,0%

3.3 Distribución relativa del gasto en términos de investigación básica y aplicada.

Al aplicar su metodología de análisis a los distintos tipos de aportes para I+D gastados en 2003, Contreras y Verdugo (2005) llegaron a una participación porcentual de 31% para investigación básica y de 69% para investigación aplicada y desarrollo. Al comparar las cifras

entregadas en el presente trabajo (Tabla 5.14) se llega a una relación de 21,6% para investigación básica y de 78,4% para investigación aplicada y desarrollo. Las diferencias entre los dos valores estimados se originan en que las cifras aquí consideradas corresponden a recursos presupuestados mientras que los de Contreras y Verdugo (2005) se basan en recursos gastados (ejecución presupuestaria). Además, los aportes a los observatorios astronómicos considerados por Contreras y Verdugo (cerca de \$ 40.000 millones) no han sido incorporados en el presente cálculo. Dichos valores son adjudicados enteramente a ciencia básica (Contreras y Verdugo, 2005).

4. Discusión y Conclusiones

Los antecedentes analizados en las páginas precedentes permiten caracterizar la década 1995-2004, con respecto a la inversión nacional en I+D y precisar diferencias con patrones descritos para períodos anteriores. Una primera característica que emerge es el aumento del aporte privado para estas actividades, el que casi se triplicó en la década. Incluso si se considera hasta 2001, el último año en que se usó una metodología de cálculo similar a la de 1995, se concluye que a esa fecha el aporte privado era 1,5 veces aquel calculado en 1995.

La década se caracteriza también por una reducción sostenida de aportes estatales, de 0,43% de PIB en 1995 a 0,38% en 2002 (unos US\$ 35 millones de diferencia). Esta reducción, acompañada de los incrementos en aportes privados, han llevado la relación aporte privado:aporte público a la proporción 40:60, cambio que es significativo con respecto a la caracterización de épocas previas, en que se describía que el Estado aportaba 4 veces lo que aportaba la empresa privada (Benavente, 2004a, b).

Un tercer cambio de importancia que emana de este estudio es la orientación relativa de los aportes a investigación básica o aplicada. En la actualidad, 21-22% del total de recursos se orienta a la investigación básica. En trabajos anteriores, Contreras y Verdugo (2005) ya habían hecho notar esta característica indicando que cercano al 30% de los aportes totales para I+D se orientaban hacia investigación básica, monto que hoy aparece aún más disminuido. Los valores de Contreras y Verdugo (2005) y los nuestros aclaran algunas confusiones incorporadas en trabajos anteriores y que incluyeron la totalidad del aporte estatal a las universidades y el valor total de FONDECYT como orientado sólo a ciencia básica. A esas correcciones se deben agregar los incrementos de los aportes estatales, comparativamente mayores, a los institutos y a los fondos concursables orientados a investigación aplicada y desarrollo que han ocurrido durante la década y el incremento muy significativo de los aportes del sector privado.

Esta década también se ha caracterizado por un crecimiento significativo en los recursos para entrenamiento de posgrado (112,6%), alcanzando a montos anuales que oscilan entre US\$ 15 y 18 millones. Sin embargo, si se considera que la formación de un estudiante de doctorado tiene un costo internacional de US\$ 20-25 mil anuales, se puede concluir que los recursos actuales podrían apoyar a 800-1000 estudiantes/año. Suponiendo un entrenamiento doctoral de $4 \pm 0,5$ años por estudiante, se concluye que con esta dimensión de recursos, el país no puede aspirar a más que 250-300 doctores graduados por año.

Durante esta década, y muy especialmente durante su segunda mitad, los aportes directos a las universidades han permanecido sin mayores variaciones. Se ha señalado que tal estancamiento sería compensado por la contribución que para investigación y posgrado realiza el programa MECESUP. Esos aportes, sin embargo, son pequeños y sólo compensarían por actividades de investigación a la formación de doctores. El Programa, sin embargo, no financia otros desarrollos de investigación, como trabajo de investigación de profesores no asociados a programas de doctorado, desarrollo de programas de investigación de interés institucional, formación de nuevos grupos de investigadores y

otros. Si a futuro no se intenta seguir incrementando el Aporte Fiscal Directo a las universidades, sería conveniente considerar incrementar el porcentaje de AFD que se entrega en forma competitiva y que en la actualidad contempla sólo 5% de dichos recursos.

Esta situación en las universidades contrasta fuertemente con los incrementos de Aporte Fiscal Directo a los institutos del Estado, fondos que en la década acumularon un crecimiento del orden de 38,99%. De hecho, algunos de esos institutos (por ej. Fundación Chile) empezaron a recibir subsidios por primera vez en esta década y otros tres institutos (ver Tabla 5.5) duplicaron dicho subsidio en el período. Dado que la función principal de esos institutos es la investigación aplicada y el desarrollo experimental, sería esperable que partes complementarias de su financiamiento pudiesen lograrse a través de patentes y servicios derivados de su trabajo de investigación. Los datos disponibles no permiten obtener conclusiones sobre los márgenes de autofinanciamiento de esas instituciones ni sobre los efectos multiplicativos derivados de los aumentos del aporte estatal directo.

Los programas orientados preferentemente a ciencias básicas experimentaron incrementos importantes hasta 2001, luego de lo cual no sólo no han aumentado, sino que han disminuido sus recursos. Dada la importancia que tienen estos programas para el trabajo científico nacional, especialmente FONDECYT, y debido a que este es el único instrumento que permite investigación individual en ciencias básicas en el país, este estancamiento constituye un ejemplo de subutilización de capacidad científica y del potencial del personal con entrenamiento avanzado y de alto costo. Dicho estancamiento no se compadece con los esfuerzos puestos en formación de recursos humanos, toda vez que luego de su entrenamiento, una mayoría de los nuevos científicos postula a nuevos proyectos básicos o aplicados en FONDECYT. En el caso específico de FONDECYT, la conjunción de bajo o cero crecimiento junto al alargamiento de los proyectos regulares a 4 años ha determinado que la casi totalidad de los recursos del programa deban ser usados en el financiamiento de los Proyectos Regulares. Así, FONDECYT ha perdido la capacidad para impulsar otros programas tales como los concursos de posdoctorado, los de Líneas Complementarias o aquellos de Cooperación Internacional. Más aún, los datos disponibles de los Proyectos Regulares indican que tanto su número como su monto promedio han sufrido escaso crecimiento durante la segunda parte de la década. Dada la importancia que este programa tiene para el desarrollo científico-tecnológico del país existe una urgente necesidad de revertir esta situación.

Por contraste, los fondos concursables orientados a investigación aplicada y desarrollo han tenido un aumento de 68,53% durante la década. Algunos de ellos (por ej. FONDEF) parecieran estar cumpliendo funciones importantes en el desarrollo tecnológico nacional mientras que otros parecieran realizar actividades distintas a I+D. En general es difícil conocer, y más aún evaluar, las contribuciones que esos instrumentos realizan al desarrollo científico-tecnológico nacional, especialmente ahora que el aporte empresarial alcanza a 3-4 veces el volumen total de esos instrumentos, los que además tienen gran diversidad de propósitos y orientaciones y pertenecen a muy distintos Servicios Estatales.

En términos de recursos totales, los aportes actuales equivalen a valores cercanos a US\$ 425 millones, un presupuesto similar al de una universidad de tamaño medio que realiza I+D en un país desarrollado. Este nivel de recursos guarda poca relación con el PIB del país, con la cantidad de requerimientos de C y T en un país emergente y con la diversidad de necesidades de investigación en un país tan diverso como Chile.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. R. Reich, Director del Programa MECESUP, a la Sra. María Elena Boisier y a la Sra. Beatriz Fonseca, Iniciativa Científica Milenio, MIDEPLAN, y a la Srta. Macarena Verdugo por el aporte de datos para este trabajo. Nuestros agradecimientos, además, al Dr. Jorge Alvarado por el procesamiento de los datos.

Literatura citada

- Álvarez R. y Crespi G. (1999) Evolución del financiamiento público del gasto en investigación, desarrollo y transferencia tecnológica 1990-1998. Mimeo.
- Benavente J.M. (2004a) Innovación tecnológica en Chile: Dónde estamos y qué se puede hacer. Documento de Trabajo 295, Banco Central de Chile.
- Benavente J.M. (2004b) Antecedentes para el diseño de una Política Tecnológica Nacional. Informe Técnico preparado para la Comisión de Hacienda del Senado de la República, Chile.
- CONICYT (1995) Propositiones para el desarrollo científico tecnológico de Chile. Documento de Trabajo Consejo Asesor CONICYT (Reproducido por CPU, Documento de Trabajo N° 23/98, Diciembre 1998).
- Contreras C. y Verdugo M. (2005) Clasificación del gasto en investigación y desarrollo (I+D) según tipo de investigación. Mimeo.
- Eyzaguirre N., Marcel M., Rodríguez J. y Tokman M. (2005) Hacia la economía del conocimiento: El camino para crecer en equidad en el largo plazo. Revista de Estudios Públicos. Verano 2005.
- Manual de Frascati (2002) Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE)
- Ministerio de Economía (2004) Gastos en investigación y desarrollo privado en Chile. Programa Chile-Innova. Mimeo.
- OECD (2004) Main science and technology indicators. Mimeo de Noviembre de 2004.
- Rodríguez, J. y Tokman M. (2005) Economía del conocimiento para un crecimiento sostenido. Serie En Foco N° 46, Corporación Expansiva.
- Santelices, B. 1996. FONDECYT: Un análisis de su evolución (1982-1995). En: P. Persico (Ed.) *Instrumentos gubernamentales para el desarrollo científico nacional*. CPU.
- Santelices, B. (2000) Elementos permanentes en la planificación y gestión científico-tecnológica en Chile en los años 1980-1999. En: A. Fernández-Cirelli (Ed.) *Universidad, Ciencia y Tecnología en el MERCOSUR*. Secretaría de Ciencia y Técnica, Universidad de Buenos Aires, pp. 24-32.
- Ureta, T. (ed.) (2003) *Chile-Ciencia 2000, un encuentro histórico*. Academia Chilena de Ciencias, 259 pp.

Relaciones Internacionales de la Ciencia Chilena

6

Juan A. Asenjo y Rafael Correa

Resumen- Chile posee una cantidad importante de convenios de Cooperación bilateral que CONICYT ha suscrito con distintos países, incluyendo Alemania, Argentina, Brasil, Colombia, Corea, Cuba, USA, España, Francia, Gran Bretaña, Italia, Japón, México, Portugal, Perú, Sudáfrica y Venezuela. Sin embargo, Chile no ha colocado los recursos como para ser una contraparte “real” en la mayoría de los casos. Claramente CONICYT no ha destinado recursos suficientes para mantener activos los numerosos convenios con países de la región y europeos, lo que constituye un error dado el fuerte impacto, por lo general indirecto, que se logra con una cooperación internacional bien dirigida y de calidad, en el marco de los acuerdos bilaterales. Por el bajo costo que tiene este tipo de cooperación, su beneficio es muy alto. Otra debilidad es que CONICYT no disponga de un fondo importante para realización de congresos internacionales y así subrayar los beneficios que estos tienen. Chile es un país que por muchos aspectos, en particular por su ciencia, impacta muy favorablemente a sus visitantes.

Dada la cantidad y el aumento de la investigación de calidad en el país, un presupuesto varias veces mayor al actual de aproximadamente 7.000.000 de dólares pareciera corresponder más a las necesidades actuales en este rubro. Chile, como país, debería asumir estas responsabilidades que le caen tanto como país emergente como por los convenios internacionales en Ciencia y Tecnología que ha adquirido.

“La ciencia chilena debe gran parte de su desarrollo a la cooperación internacional. Sin remontarnos a las misiones extranjeras que realizaron los primeros trabajos científicos en nuestro país en áreas como la geografía y la historia natural, podemos decir que la ciencia organizada que surgió en Chile inmediatamente posterior a la Segunda Guerra Mundial debe gran parte de su impulso al apoyo extranjero. En esta etapa inicial los principales actores fueron varias fundaciones privadas con sede en Estados Unidos, Fundaciones Kellogg, Rockefeller, Guggenheim, Ford.”

(Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena, 1993)

En el libro *Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena (1993)* se hace un excelente análisis de las cooperaciones de fuentes gubernamentales como la Unión Europea, el Gobierno de Suecia (SAREC, IFS), de Italia, de Canadá (CIIC), del PNUD, de Japón (JICA) de Alemania, de Inglaterra (British Council) y de otros. A partir de 1995, sin embargo, este cuadro comienza a cambiar puesto que Chile comienza a dejar de ser un país del “tercer mundo” o en la clasificación de diferentes países comienza a dejar de ser un país “en vías de desarrollo” sino comienza a aparecer en una categoría intermedia como “país emergente”. Por esta razón, deja de ser “elegible” en muchos de los programas en que podía participar anteriormente.

En las tablas obtenidas de CONICYT se muestra que existe un alto número de publicaciones de investigadores chilenos con co-investigadores de otros países y que estas publicaciones tienen un alto número de citas. En el período 1981 – 2001 las publicaciones con co-investigadores de otros países corresponde nada menos que a 47% del total publicado por investigadores chilenos (15.975 vs 34.009). Los principales países son Estados Unidos, Alemania, España, Francia, Gran Bretaña, Brasil

y Argentina. Estos datos existen por país y por disciplina. (Figs. 6.1 – 6.11 y Tablas 6.1 – 6.11). Esas cifras pueden parecer un poco altas y se deben en parte a la alta participación del área de Astronomía (pareciera que la mayoría de las 2.500 publicaciones son con co-investigadores extranjeros). Respecto al número de citas, durante 1992-1996 las citaciones, donde investigadores de otros países son coautores con investigadores chilenos, son 2-3 veces mayor que cuando no los hay, por ejemplo con Estados Unidos (17,4 citas), con Inglaterra (16,3 citas) mientras que publicaciones de sólo chilenos tienen 7,0 citas. América Latina es responsable de poco más de 3% de la ciencia mundial y sin embargo aporta 14% de las colaboraciones que tenemos. También vale notar que los trabajos en colaboración con grupos latinoamericanos tienen un impacto muy superior al promedio de las publicaciones chilenas.

Figura 6.1. Publicaciones de investigadores chilenos con co-investigadores de otros países. (1981-2001). Todas las disciplinas (incluye Ciencias Sociales, Arte y Humanidades).

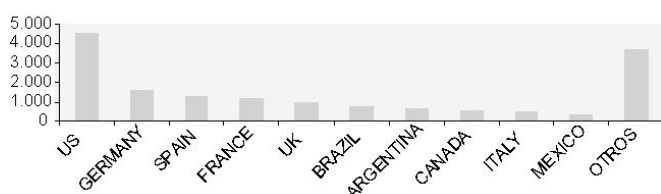


Figura 6.2. Publicaciones de investigadores chilenos con co-investigadores de otros países. (1981-2001). Disciplina Ciencias Médicas.

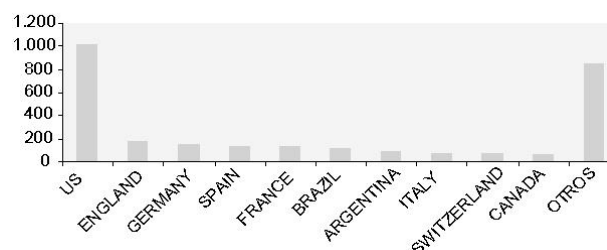


Figura 6.3. Publicaciones de investigadores chilenos con co-autores de otros países. (1981-2001). Disciplina Astronomía.

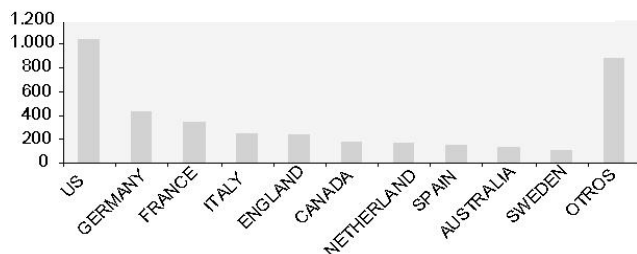


Figura 6.4. Publicaciones de investigadores chilenos con co-autores de otros países. (1981-2001). Disciplina Biología.

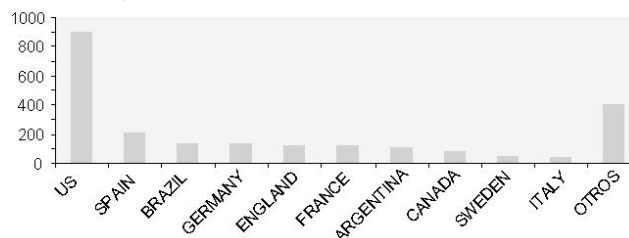


Figura 6.5. Publicaciones de investigadores chilenos con co-autores de otros países. (1981-2001). Disciplina Química.

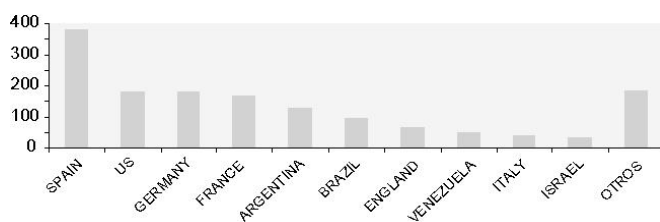


Figura 6.6. Publicaciones de investigadores chilenos con co-autores de otros países. (1981-2001). Disciplina Física.

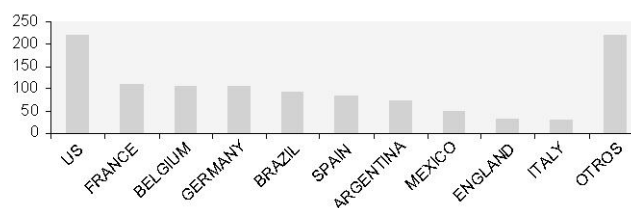


Figura 6.7. Publicaciones de investigadores chilenos con co-autores de otros países. (1981-2001).
Disciplina Ciencias Silvoagropecuarias.

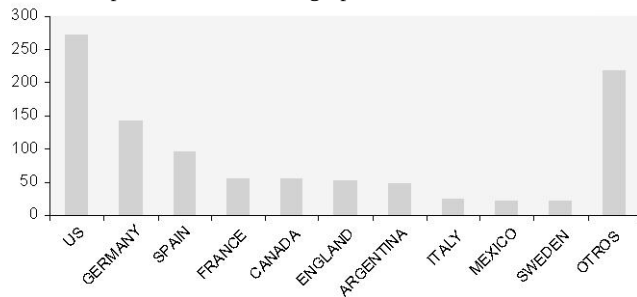


Figura 6.8. Publicaciones de investigadores chilenos con co-investigadores de otros países. (1981-2001).
Disciplina Ingeniería.

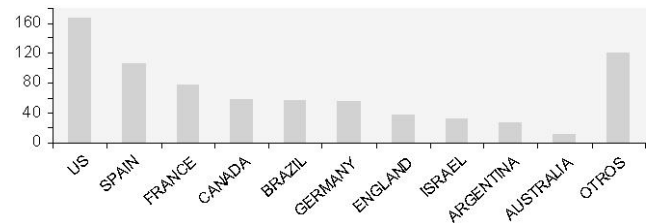


Figura 6.9. Publicaciones de investigadores chilenos con co-autores de otros países. (1981-2001).
Disciplina Ciencias de la Tierra.

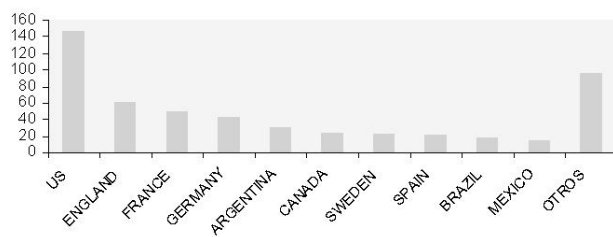


Figura 6.10. Publicaciones de investigadores chilenos con co-autores de otros países. (1981-2001).
Disciplina Matemática.

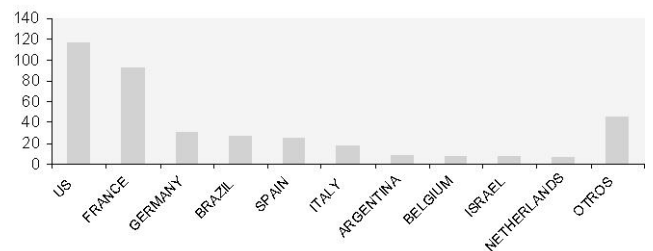


Figura 6.11. Publicaciones de investigadores chilenos con co-autores de otros países. (1981-2001).
Disciplina Multidisciplinas.

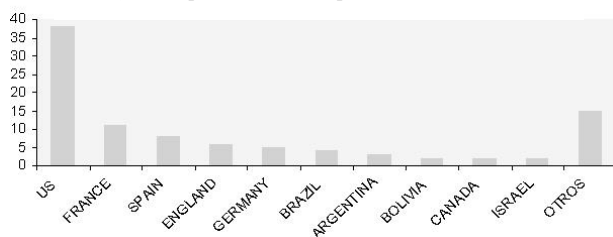


Figura 6.12. País de obtención de Doctorado, Investigadores FONDECYT. (1990-2004).

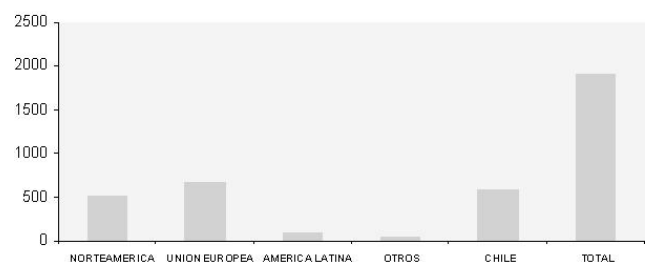


Tabla 6.1. Publicaciones chilenas en conjunto con investigadores extranjeros (1981-2001). Todos los países, todas las disciplinas. Incluye Cs Sociales, Arte y Humanidades. Fuente CONICYT.			
Norteamérica		5.078	
Unión Europea		6.510	
América Latina		2.248	
Otros		2.139	
TOTAL		15.975	
N°	Artículos	País	País
1	4.494	Chile	USA
2	1.604	Chile	Germany
3	1.237	Chile	Spain
4	1.215	Chile	France
5	957	Chile	U.K.
6	754	Chile	Brazil
7	608	Chile	Argentina
8	584	Chile	Canadá
9	495	Chile	Italy
10	324	Chile	Mexico
11	3.703	Chile	Otros
TOTAL	15.975		
Nota: Total de artículos en todas las disciplinas es: 34.009			
Nota: en un artículo puede haber colaboración con autores de uno o más países			

Tabla 6.2. Publicaciones realizadas en conjunto con investigadores extranjeros en ciencias médicas (1981– 2001). Incluye todas las especialidades médicas. Fuente: CONICYT.			
Norteamérica		1.082	
Unión Europea		881	
América Latina		439	
Otros		462	
TOTAL		2.864	
N°	Artículos	País	País
1	1.013	Chile	USA
2	170	Chile	England
3	149	Chile	Germany
4	131	Chile	Spain
5	129	Chile	France
6	122	Chile	Brazil
7	87	Chile	Argentina
8	74	Chile	Italy
9	72	Chile	Switzerland
10	69	Chile	Canada
11	848	Chile	Otros
TOTAL	2.864		
Total artículos en Ciencias Médicas: 11.721			

Tabla 6.3. Publicaciones de chilenos en conjunto con investigadores extranjeros en Ciencias Espaciales (1981 – 2001). Fuente: CONICYT			
Norteamérica		1.210	
Union Europea		1.973	
América Latina		203	
Otros		488	
TOTAL		3.874 **	
N°	Artículos	País	País
1	1.033	Chile	US
2	431	Chile	Germany
3	340	Chile	France
4	238	Chile	Italy
5	226	Chile	England
6	177	Chile	Canada
7	166	Chile	Netherlands
8	148	Chile	Spain
9	136	Chile	Australia
10	103	Chile	Sweden
11	876	Chile	Otros
TOTAL	3.874		
Total Artículos en Astronomía: 2.520			
**Cabe destacar que en un artículo puede haber colaboración con autores de uno o más países.			

Tabla 6.4. Publicaciones chilenas con investigadores extranjeros en Biología (1981–2001). Incluye: Biology; Biochem & Biophys; Biotechnol & Applied Microbiol; Cell & Develop Biol; Entomol/ Pest Control; Environment/ Ecol; Exper Biology; Microbiol; Mol Biology & Genetics; Physiol. Fuente: CONICYT			
Norteamérica		985	
Unión Europea		774	
América Latina		389	
Otros		148	
TOTAL		2.296	
N°	Artículos	País	País
1	903	Chile	US
2	204	Chile	Spain
3	137	Chile	Brazil
4	136	Chile	Germany
5	120	Chile	England
6	114	Chile	France
7	110	Chile	Argentina
8	82	Chile	Canada
9	49	Chile	Sweden
10	39	Chile	Italy
11	402	Chile	Otros
TOTAL	2.296		
Total de artículos en Biología : 8.192			

Tabla 6.5. Publicaciones chilenas realizadas en conjunto con investigadores extranjeros en química (1981–2001). Incluye: Agricultural Chemistry; Chemistry; Chemistry & Analysis; Organic Chemistry / Polymer Science; Physical Chemistry / Chemical; Chemical Inorganic & Nuclear Chemistry. Fuente: CONICYT			
Norteamérica			210
Union Europea			874
América Latina			315
Otros			95
TOTAL			1.494
Nº	Artículos	País	País
1	380	Chile	Spain
2	180	Chile	USA
3	180	Chile	Germany
4	169	Chile	France
5	125	Chile	Argentina
6	93	Chile	Brazil
7	64	Chile	England
8	48	Chile	Venezuela
9	40	Chile	Italy
10	33	Chile	Israel
11	182	Chile	Otros
TOTAL	1.494		
Total de Artículos en Química: 3.618			

Tabla 6.6. Publicaciones chilenas realizadas en conjunto con investigadores extranjeros en física (1981–2001). Incluye: Applied Physics / Condensed Mater; Optics & Acoustics; Physics. Fuente: CONICYT			
Norteamérica			230
Unión Europea			496
América Latina			239
Otros			153
TOTAL			1.118
Nº	Artículos	País	País
1	220	Chile	USA
2	110	Chile	France
3	107	Chile	Belgium
4	105	Chile	Germany
5	93	Chile	Brazil
6	82	Chile	Spain
7	71	Chile	Argentina
8	50	Chile	Mexico
9	31	Chile	England
10	29	Chile	Italy
11	220	Chile	Otros
TOTAL	1.118		
Total de artículos en Física 1.633			

Tabla 6.7. Publicaciones chilenas en conjunto con investigadores extranjeros en ciencias silvoagropecuarias (1981–2001). Incluye las disciplinas: Agricultura/ Agronomy; Animal & Plant Science; Aquatic Sciences; Plant Sciences; Veterinary Medicine / Animal Health; Food Science / Nutrition. Fuente : CONICYT			
Norteamérica			327
Union Europea			450
América Latina			130
Otros			100
TOTAL			1.007
Nº	Artículos	País	País
1	272	Chile	USA
2	142	Chile	Germany
3	97	Chile	Spain
4	56	Chile	France
5	55	Chile	Canada
6	52	Chile	England
7	49	Chile	Argentina
8	25	Chile	Italy
9	21	Chile	Mexico
10	21	Chile	Sweden
11	217	Chile	Otros
TOTAL	1.007		
Total artículos Cs. Agropecuarias: 3.618			

Tabla 6.8. Publicaciones chilenas realizadas en conjunto con investigadores extranjeros en Ingeniería (1981–2001). Incluye todas las especialidades de la Ingeniería. Fuente: CONICYT			
Norteamérica			226
Unión Europea			320
América Latina			105
Otros			100
TOTAL			751
Nº	Artículos	País	País
1	167	Chile	USA
2	107	Chile	Spain
3	77	Chile	France
4	59	Chile	Canada
5	56	Chile	Brazil
6	55	Chile	Germany
7	38	Chile	England
8	33	Chile	Israel
9	27	Chile	Argentina
10	12	Chile	Australia
11	120	Chile	Otros
TOTAL	751		
Total artículos Ingeniería: 1.462			

Tabla 6.9. Publicaciones chilenas realizadas en conjunto con investigadores extranjeros en Ciencias de la Tierra (1981 – 2001). Fuente : CONICYT			
Norteamérica			170
Union Europea			234
América Latina			78
Otros			46
TOTAL			528
N°	Artículos	País	País
1	146	Chile	Estados Unidos
2	62	Chile	England
3	50	Chile	France
4	44	Chile	Germany
5	30	Chile	Argentina
6	24	Chile	Canada
7	23	Chile	Sweden
8	21	Chile	Spain
9	18	Chile	Brazil
10	15	Chile	Mexico
11	95	Chile	Otros
TOTAL	528		
Total de Artículos en Ciencias de la Tierra: 709			

Tabla 6.10. Publicaciones chilenas realizadas en conjunto con investigadores extranjeros en Matemáticas (1981 – 2001). Fuente: CONICYT			
Norteamérica			118
Unión Europea			185
América Latina			45
Otros			35
TOTAL			383
Nº	Artículos	País	País
1	117	Chile	Estados Unidos
2	92	Chile	France
3	31	Chile	Germany
4	27	Chile	Brazil
5	25	Chile	Spain
6	17	Chile	Italy
7	8	Chile	Argentina
8	7	Chile	Belgium
9	7	Chile	Israel
10	6	Chile	Netherlands
11	46	Chile	Otros
TOTAL	383		
Total de Artículos en Matemática: 601			

Tabla 6.11. Publicaciones chilenas realizadas en conjunto con investigadores extranjeros en multidisciplinas (1981–2001). Incluye publicaciones en <i>Nature</i> y <i>Science</i> . Fuente: CONICYT			
Norteamérica		40	
Union Europea		33	
América Latina		14	
Otros		9	
TOTAL		96	
Nº	Artículos	País	País
1	38	Chile	US
2	11	Chile	France
3	8	Chile	Spain
4	6	Chile	England
5	5	Chile	Germany
6	4	Chile	Brazil
7	3	Chile	Argentina
8	2	Chile	Bolivia
9	2	Chile	Canada
10	2	Chile	Israel
11	15	Chile	Otros
TOTAL	96		

Existen datos detallados de una gran cantidad de convenios de cooperación bilateral que CONICYT ha suscrito con un número importante de países, incluyendo Alemania, Argentina, Brasil, Colombia, Corea, Cuba, Estados Unidos, España, Francia, Gran Bretaña, Italia, Japón, México, Portugal, Perú, Sudáfrica y Venezuela. Sin embargo, Chile no ha colocado los recursos como para ser una contraparte “real” en la mayoría de los casos. Claramente CONICYT no ha destinado recursos suficientes para mantener activos los numerosos convenios con países de la región y europeos, lo que constituye un error dado el fuerte impacto, por lo general indirecto, que se logra con una cooperación

internacional bien dirigida en el marco de acuerdos bilaterales. Por el bajo costo que tiene este tipo de cooperación, su beneficio es muy alto. Otra debilidad es que CONICYT no disponga de un fondo importante para realización de congresos internacionales para subrayar los beneficios que estos tienen. Chile es un país que por muchos aspectos, en particular por su ciencia, impacta muy favorablemente a sus visitantes.

También existen datos de proyectos más recientes como de CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología), del ICGEB, del MERCOSUR, La UE y el APEC entre otros y, también, datos de estudiantes becados que realizan sus estudios de posgrado (doctorado y magíster, no sólo en Ciencias) en distintos países. Además existen algunos programas binacionales con algunos países que se centran en algunas áreas de las ciencias que han sido muy exitosos. Tal es el caso del programa con Francia en el área de Matemáticas y también con España en el área de la Química.

En la actualidad existe una cantidad importante de estudiantes de doctorado que participan en programas de doctorado en Ciencias e Ingeniería en Chile que realizan parte importante de su trabajo en laboratorios de Estados Unidos, Europa y otros países, lo que en muchos casos les permite acceso a equipamiento sofisticado. Esas estadías varían de *ca.* 6 a 18 meses y son financiadas por fuentes existentes (Fulbright, DAAD, Gobierno de Francia, Baden-Württemberg, Institutos Milenio y otros). A futuro CONICYT debería mantener una estadística de esa información. Es importante multiplicar las estadías por períodos de alrededor de un año de los becarios CONICYT en centros de excelencia de Europa y Estados Unidos. Por otra parte, en el programa de posdoctorado de CONICYT se debe promover la participación de jóvenes extranjeros y también que los chilenos realicen uno de los tres años de su posdoctorado en un centro de excelencia extranjero. Los proyectos MECESUP constituyen un importante aporte para los programas de doctorado. Permiten en ciertos casos contratar profesores extranjeros y becar estudiantes extranjeros así como financiar viajes de estudiantes al extranjero.

Los Institutos Milenio y Centros FONDAP tienen programas de cooperación importantes. Estos incluyen la participación en Chile de posdoctorandos extranjeros, la participación de científicos chilenos residentes en el extranjero en eventos científicos en Chile, la participación de estudiantes chilenos en eventos internacionales y la estadía de ellos en laboratorios extranjeros de primer nivel para realizar parte de su tesis y la organización de simposios y talleres internacionales en Chile.

Existen fuentes externas que apoyan algunas investigaciones chilenas (p.ej. NIH, NSF, H. Hughes) y proyectos de colaboración con otros países, tales como proyectos Alfa (UE) o Fundación Andes (Argentina y Brasil). Lamentablemente no hay un registro detallado de esos proyectos. Finalmente existen datos de los países en los cuales obtuvieron sus doctorados los investigadores de FONDECYT en el período 1990-2004 (Tabla 6.12). El 70% de los doctores se formaron fuera de Chile. Más de 65% de los doctores formados en Chile participan en FONDECYT. Eso es un rendimiento muy alto de los doctorados chilenos en quedarse en el país y hacer buena ciencia. En los últimos años existen casos de científicos extranjeros que han sido contratados por universidades chilenas en distintas áreas ya sea producto de sus posdoctorados u otras razones. Sin embargo, no existe un registro detallado de esos científicos que hasta el presente son aún muy pocos.

Tal como se ha indicado, Chile ha suscrito convenios importantes de colaboración en investigación con muchos países, pero que, para que funcionen realmente se basan en una colaboración real (usualmente 50/50). Chile casi no aprovecha esos convenios por el mínimo y exiguo financiamiento que posee CONICYT para la colaboración internacional que para un año completo sólo es de *ca.* 1.300.000 dólares. Muchos de esos convenios son totalmente inoperantes por la falta de recursos (p. ej. con la Royal Society, que a un país como Cuba le produce grandes beneficios, está inoperante con Chile durante varios años, exclusivamente por falta de recursos). Por otra parte, Chile ha firmado y se encuentra firmando en los últimos años numerosos tratados comerciales bilaterales,

algunos de los cuales poseen capítulos sobre Cooperación en Ciencia y Tecnología que sería muy importante poder aprovechar.

Tabla 6.12. País de obtención de Doctorado, Investigadores FONDECYT, 1990 – 2004.	
Norteamérica	507
Unión Europea	669
América Latina	92
Otros	52
CHILE	585
TOTAL	1.905
Chile	585
Estados Unidos	455
España	178
Reino Unido	146
Francia	136
Alemania	132
Brasil	61
Canada	51
Bélgica	36
Argentina	19
Italia	16
Japón	11
Suecia	11
Suiza	10
Mexico	9
Rusia	8
Australia	7
Holanda	4
Israel	4
Nueva Zelandia	4
Bulgaria	3
Dinamarca	2
Rep. Checa.	2
Ucrania	2
Venezuela	2
Austria	1
China	1
Cuba	1
Eslovaquia	1
Finlandia	1
Grecia	1
Hungría	1
India	1
Irlanda	1
Puerto Rico	1
Sud Africa	1
TOTAL	1.905

Dada la cantidad y el aumento de la investigación de calidad en el país un presupuesto varias veces mayor al actual de aproximadamente 7.000. 000 de dólares pareciera corresponder más a las necesidades actuales en este rubro. Chile, como país, debería asumir estas responsabilidades que le caen tanto como país emergente como por los convenios internacionales en Ciencia y Tecnología que ha adquirido.

Cecilia Hidalgo (*Coordinadora*), Nibaldo Inestrosa (*Co-coordinador*),
Luz María Pérez, Lucía Cifuentes, Juan Larraín,
Martín Montecino, Juan Carlos Aguillón, David Holmes,
Juan Pablo Huidobro y Guido Mora

Resumen- Se inicia el capítulo con una introducción que analiza el desarrollo actual de la Biología en el mundo y se lo compara con la situación chilena. De ese análisis se concluye que Chile está atrasado en el desarrollo de las nuevas áreas de la Biología y que por lo tanto es indispensable y urgente avanzar en ellas. De no ocurrir eso, se corre el riesgo de perder el paso con el desarrollo mundial de las áreas emergentes de esta disciplina, perdiendo así el avance logrado en el país en los últimos quince años. Este capítulo contiene a continuación un análisis de la disciplina realizado sobre la base de las encuestas respondidas por los investigadores. Cuando no se logró obtener esa información, se completó parcialmente la encuesta utilizando bases de datos existentes. Se presentan los datos obtenidos en 30 figuras y 5 tablas, que arrojan un panorama del perfil de los investigadores en Biología por edad, sexo, afiliación, disciplina de la Biología y número e impacto de sus publicaciones, entre otras variables. Un análisis de los datos permite concluir que ha habido un importante avance de la Biología en Chile desde el último estudio realizado por la Academia Chilena de Ciencias hace más de una década. Sin embargo, es urgente asegurar el desarrollo de nuevas áreas de la disciplina en el país.

1. Introducción

Un cambio de paradigma en la era posgenómica de la Biología en el mundo

Durante la última década, la biología en el ámbito mundial ha avanzado a una velocidad vertiginosa. En este período se ha logrado uno de los grandes hitos de la historia de la ciencia al completarse en 2001 la secuenciación del genoma humano. Ese logro, con todas las implicancias que tiene para la biología y la medicina, ha simbolizado un fundamental cambio de paradigma. La biología de la era posgenómica es diferente de la biología que se desarrolló y creció durante el siglo 20. Esa biología, que rindió tantos conocimientos, se caracterizó por un enfoque reduccionista en que cada tipo de molécula era aislada, purificada y estudiada en sistemas simplificados en el tubo de ensayo. La disponibilidad del genoma completo y en consecuencia el acceso al conjunto total de proteínas codificadas por el material genético, implica que este paradigma es insuficiente y que ahora debemos enfrentar nuestras investigaciones con un enfoque más holístico. Las preguntas con el paradigma de la era posgenómica deben perseguir lo que ocurre en todos los circuitos de genes y proteínas que responden a los diferentes estímulos o agentes que pretendemos estudiar.

Además de la genómica como nueva ciencia, ha aparecido una serie de especialidades relacionadas. La genómica estructural se dedica a deducir la función de los genes y de sus productos basándose en el análisis de las secuencias de las bases nucleotídicas de los genes. Este tipo de estudio genómico ha permitido categorizar los genes en grandes familias que se relacionan entre sí por estructura y función. Otra rama de la genómica se dedica al estudio de la evolución tanto a nivel micro como a nivel macro. A nivel micro se puede estudiar la estructura de un gen en un gran número de especies y construir árboles filogenéticos que ayudan a deducir la evolución del gen durante la aparición de las especies. A nivel macro, el estudio que contrasta genomas completos de diferentes especies, también llamado genómica comparativa, nos permite contrastar la estructura

general de la información genética de las especies, lo que constituye toda una nueva taxonomía. La genómica funcional es la disciplina que busca identificar la función de genes y la relación funcional entre los genes.

La proteómica, por otro lado, busca conocer e identificar el conjunto de proteínas que se sintetizan en un tipo de célula y de relacionar los cambios que ocurren en los patrones de proteínas con diversos cambios en el ambiente de dichas células.

Todas estas ramas de la genómica, requieren del desarrollo de nuevas técnicas que permitan o faciliten su estudio. No es casualidad que la genómica haya surgido paralelamente con el avance notable de la informática ya que el desciframiento de los genomas hubiera sido imposible sin la capacidad de almacenar y analizar datos y la facilidad de transmitirlos por Internet. La bioinformática ha aparecido como una técnica ineludible para todas las ramas de la biología. Debemos también mencionar los esfuerzos públicos que han permitido a la comunidad mundial el acceso gratis a los enormes bancos de datos. La genómica funcional ha desarrollado la técnica de microconjuntos (*microarrays*) que permiten estudiar la expresión de miles de genes en un tejido y comparar los cambios de expresión cuando el tejido pasa a otra condición. Otra valiosa herramienta para esos estudios ha surgido con el descubrimiento, en 1998, de la posibilidad de bloquear la expresión de un gen mediante RNAs de interferencia con secuencias complementarias a los mensajeros de esos genes. La separación bidimensional de proteínas mediante electroforesis, junto con el perfeccionamiento de la espectrometría de masas para identificar y secuenciar proteínas con cantidades mínimas de material están permitiendo el estudio de los proteomas y sus alteraciones.

En esta última década, han surgido otros avances espectaculares como el clonamiento de la oveja Dolly y posteriormente de un gran número de mamíferos. En 1998 se descubrieron las células troncales (células madres) en embriones humanos. Ese descubrimiento podría tener enorme importancia para el tratamiento de enfermedades degenerativas mediante implantes celulares. Esos dos avances, sin embargo, han causado un profundo debate por el cuestionamiento ético sobre su posible uso en los seres humanos.

En general, se puede asegurar que la biología de la era posgenómica que ha surgido en el siglo 21 se ha hecho más compleja, costosa y competitiva. Para investigar en este tipo de biología se requieren grandes grupos interdisciplinarios. También es necesario contar con cuantiosos fondos y con los sofisticados equipos que han surgido con las nuevas técnicas. Para lograr ser competitivos, los grupos hacen alianzas multi-institucionales y multinacionales.

Estas son áreas en las que Chile está atrasado y en las que es indispensable avanzar. El proyecto Genoma Chile iniciado en 2002 fue una iniciativa importante en esa dirección que es necesario continuar e incrementar.

2. Metodología

Criterios de incorporación

El grupo definió los criterios de incorporación de investigadores a la lista y puso como condición al menos 5 publicaciones en revistas ISI en el período 2000-2004, o un impacto acumulado de publicaciones ISI igual o mayor a 3,5. Para el análisis, el grupo de Biología diseñó una ficha en conjunto con el grupo de Biomedicina. La ficha se envió a 1.600 personas, seleccionadas en virtud de su pertenencia a la Sociedad de Biología o sus sociedades afiliadas, o por figurar como investigador en las bases de datos de FONDECYT. Adicionalmente, el grupo de Biología contactó a aproximadamente otras 500 personas, integrantes de la Asociación de Microbiología, de la Sociedad de Bioquímica y Biología Molecular, y de la Sociedad de Biología Celular.

Incorporación de personas que enviaron su ficha

Se analizaron todas las fichas recibidas y se descartaron todas aquellas que correspondían a quienes indicaron hacer investigación sólo en Biomedicina u otras disciplinas, y a quienes no calificaron para ser incorporados en el directorio. Se recibieron en total 369 fichas que calificaban para Biología, muchas de las cuales sólo se consiguieron tras un exhaustivo seguimiento por correo electrónico, por teléfono o en conversaciones personales.

Incorporación de personas que no enviaron su ficha:

Para aquellas personas que fueron contactadas pero que no enviaron su ficha, se buscó en PubMed si cumplían los requisitos para su incorporación a la lista de Biología, investigando caso por caso el número e impacto de publicaciones ISI (utilizando la lista de impacto de 2003). El proceso requirió de mucho tiempo y esfuerzo pues fue necesario conseguir la información de más de 700 personas. Una vez determinado si una persona que no había respondido la ficha calificaba, se trató de conseguir que enviara la ficha, lo que ocurrió sólo en algunas ocasiones. Para 55 personas, que nunca enviaron la ficha pero que sin embargo calificaban, se completó la información en forma parcial con la obtenida de las bases de datos de CONICYT y PubMed, cotejando con la lista de revistas indexadas en ISI.

Tabla 7.1. Dedicación de los investigadores a Biología		
% Dedicación	Número	Porcentaje
Menos de 50%	107	25,2
50%	55 ¹	13,0
Más del 50%	59	13,9
Más del 75%	125	29,5
Sin información	78	18,4
Total	424	100,0

¹ De las 55 personas que indican 50% de dedicación a Biología, 43 dedican el otro 50% a Biomedicina.

Tamaño del Universo

La lista final del grupo incluye a todos aquellos investigadores que, cumpliendo con los requisitos de incorporación, realizan un porcentaje de su investigación en el área biológica (Tabla 7.1). La lista suma un total de 424 personas, incluyendo a todas las personas que, calificando para ser incluidas en el mismo, enviaron apelaciones hasta el viernes 2 de septiembre.

La información contenida en cada gráfico está asociada a un universo variable, por cuanto no siempre fue posible obtener los datos para la totalidad de los investigadores. Se indica, en cada caso, el N correspondiente.

3. Resultados

3.1. Caracterización de los investigadores

La labor de los investigadores fue clasificada en distintas disciplinas, según su propia calificación o, en ausencia de este dato, su pertenencia a sociedades o tipo de publicaciones o ambas.

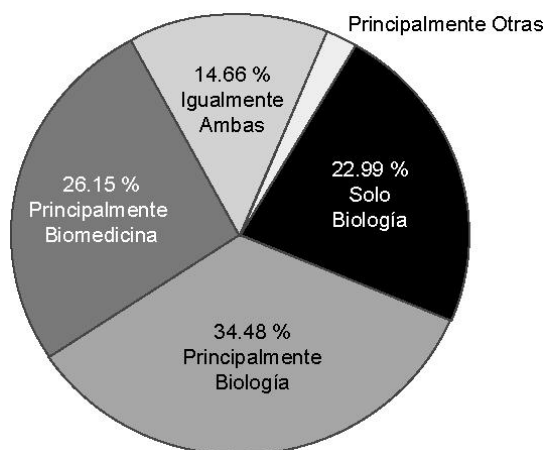


Figura 7.1. Dedicación por Áreas. N = 348.

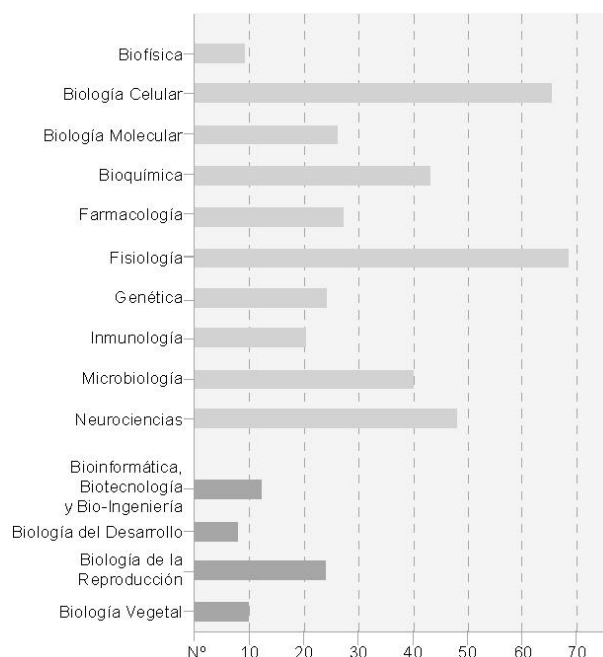


Figura 7.2. Investigadores por disciplina. N = 424.

El análisis de la disciplina el año 1993 contemplaba las siguientes áreas:

- Biofísica
- Bioquímica
- Genética
- Neurociencias
- Biología Celular
- Farmacología
- Inmunología
- Biología Molecular
- Fisiología
- Microbiología

En este estudio se incorporaron 4 nuevas áreas, que son:

- Bioinformática, Biotecnología y Bio-Ingeniería
- Biología de la Reproducción
- Biología del Desarrollo
- Biología Vegetal

La Figura 7.2 presenta esta clasificación, identificándose en gris claro las disciplinas preexistentes, ya catastradas en el documento de 1993, y en gris oscuro las disciplinas emergentes, surgidas con posterioridad a dicho período. Es posible observar que las nuevas áreas poseen un número significativo de investigadores.

La distribución por edad de los investigadores se presenta en la Figura 7.3. Las edades de estos fluctúan entre 30 y 91 años, con un promedio de 51,2 años. Destaca la escasa presencia de jóvenes bajo los 35 años. No se observan diferencias significativas entre los segmentos de 35-44, 45-54 y 55-64 años.

La Figura 7.4 muestra la distribución por edad y por disciplinas, en tanto que la Tabla 7.2 presenta los promedios e intervalos de edades para esas especialidades.

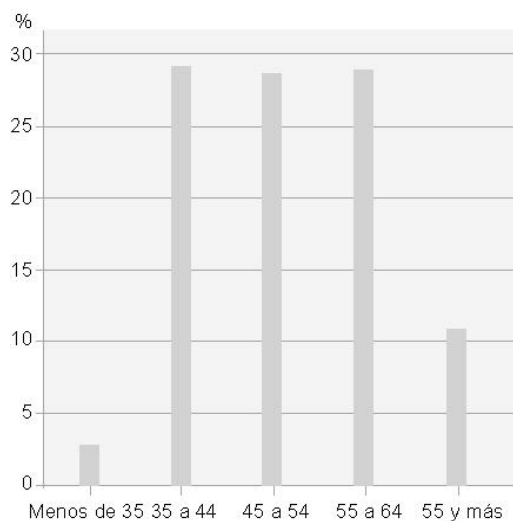


Figura 7.3. Distribución por grupos de edad de los investigadores. N = 414.

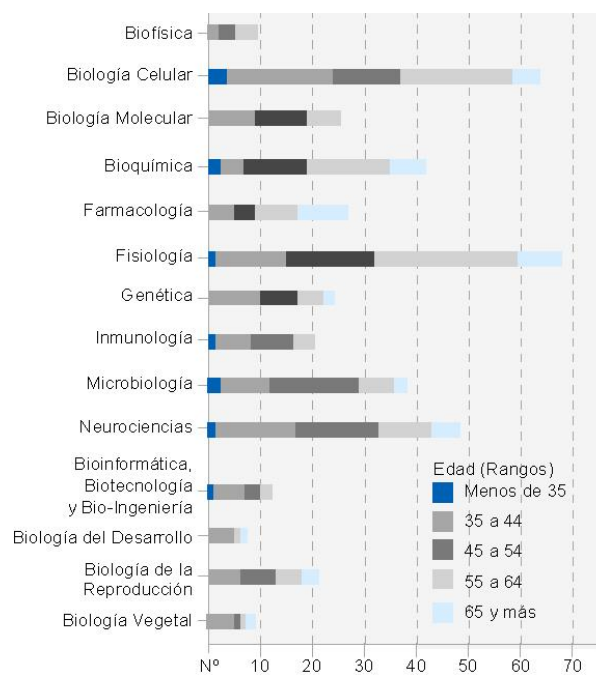


Fig. 7.4. Distribución de los investigadores por rangos de edad según disciplina. N = 414

Tabla 7.2. Rangos y Promedio de Edad según disciplina			
Disciplina	N	Rango Edad	Promedio Edad
Biofísica	9	38 - 64	52,33
Biología Celular	63	30 - 74	50,33
Biología Molecular	26	36 - 64	48,52
Bioquímica	42	30 - 73	54,76
Farmacología	25	39 - 76	57,30
Fisiología	67	33 - 91	54,10
Genética	24	36 - 68	48,67
Inmunología	20	31 - 64	46,25
Microbiología	40	33 - 66	49,08
Neurociencias	48	34 - 91	50,27
Bioinformática, Biotecnología y Bio-Ingeniería	12	34 - 64	45,08
Biología del Desarrollo	8	35 - 68	45,57
Biología de la Reproducción	24	36 - 70	51,57
Biología Vegetal	10	36 - 67	49,67
Total	418	30 - 91	51,19

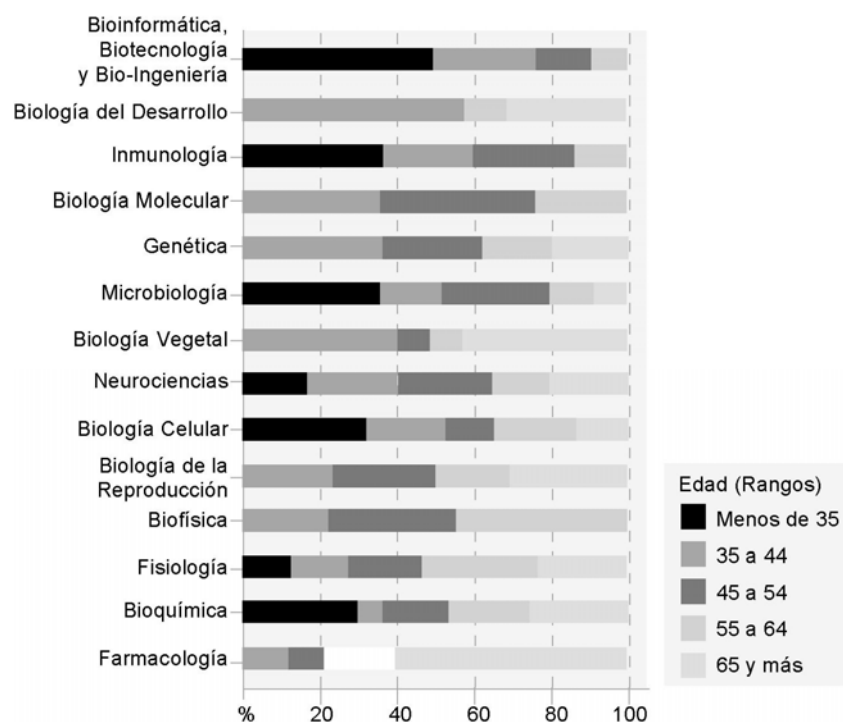


Figura 7.5. Distribución porcentual de los investigadores en rangos de edad, según disciplina (Escala 100%). N = 414.

La Figura 7.5, por su parte, permite un análisis más claro de esta situación, al presentar de manera ordenada de menor a mayor la distribución por intervalos de edades en cada disciplina, como proporción de cada sub-total. Se desprende de los resultados presentados en la Figura 7.5 que en el área de Bioinformática, Bio-Ingeniería y Biotecnología están los investigadores más jóvenes.

En lo que respecta a la distribución por sexo (Figura 7.6), los investigadores en Biología de sexo masculino representan 2/3 del total, aproximadamente. Cabe destacar el hecho de que esta variable no fue considerada en el estudio anterior de 1993.

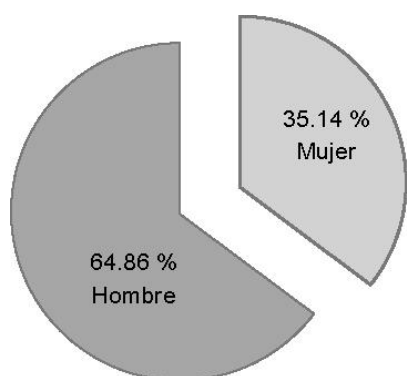


Figura 7.6. Distribución por sexo. N = 424.

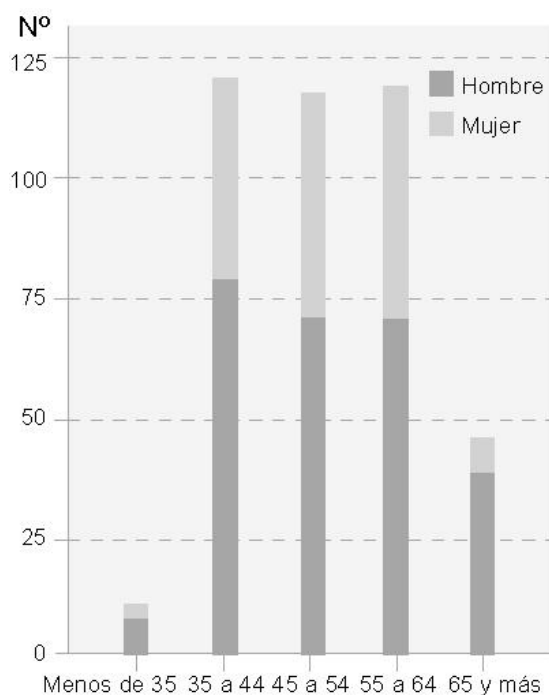


Figura 7.7. Distribución por sexo y edad. N = 414.

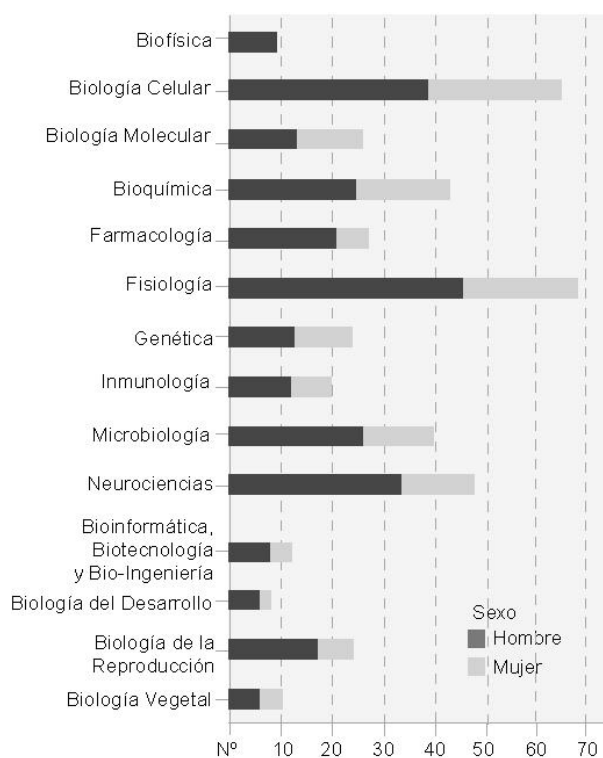


Fig. 7.8. Distribución de los investigadores por sexo, según disciplina. N = 424.

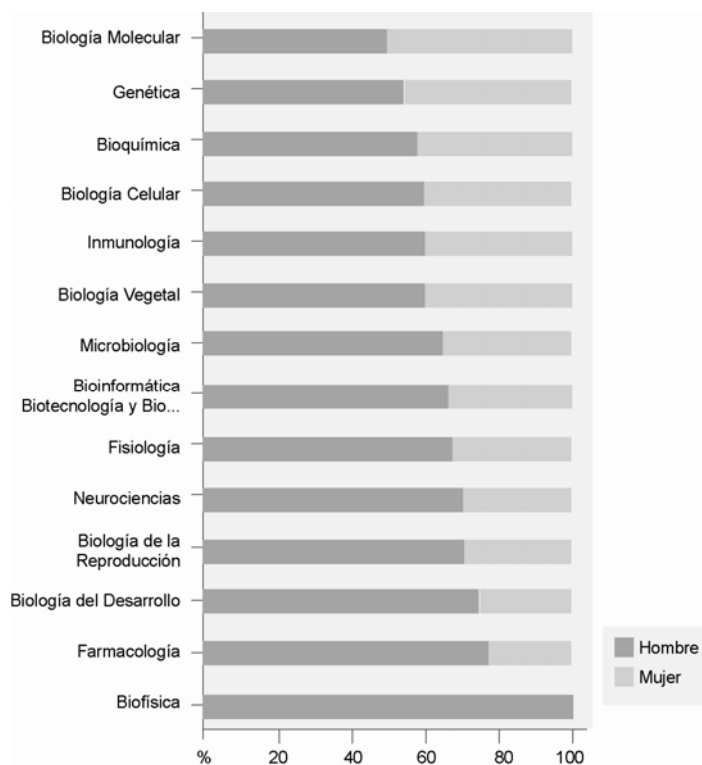


Figura 7.9. Distribución de los investigadores por sexo, según disciplina (Escala 100%). N = 424.

Esta proporción es relativamente estable en los distintos segmentos de edad, según se muestra en la Figura 7.7, no existiendo una correlación significativa, más allá de que se consigna una distribución mucho más desigual en el grupo de edad más alto. Esto podría indicar que, una vez que comenzó la incorporación regular de mujeres al quehacer investigativo en el ámbito de la Biología, la participación de investigadoras de sexo femenino se ha mantenido en torno a un porcentaje estable.

Entre las distintas disciplinas, esta proporción también es relativamente estable, aunque se observan algunas diferencias sin mayor significación estadística salvo en el caso de Biofísica. Esta distribución se presenta en la Figura 7.8. La Figura 7.9, en tanto, reitera esa información, pero de manera escalada a cada sub-total, y ordenada según grados decrecientes de participación femenina.

La gran mayoría (94,34%) de los investigadores que se desempeñan en el país son chilenos pero un porcentaje no despreciable (5,7%) son de otras nacionalidades.

3.2. Situación profesional, formación académica y programas de doctorado

Al igual como ocurría en el año 1993, la mayoría de los investigadores se concentra en unas pocas universidades, manteniéndose un fuerte predominio de la Universidad de Chile, seguida a cierta distancia por la Universidad Católica. Más atrás aparece la Universidad de Concepción, marcando un ascenso respecto de la medición anterior, al igual que la Universidad de Santiago. Se mantienen la Universidad Austral, y otras universidades regionales, y surge la Universidad Andrés Bello como nueva instancia que aglutina investigadores (Figura 7.10).

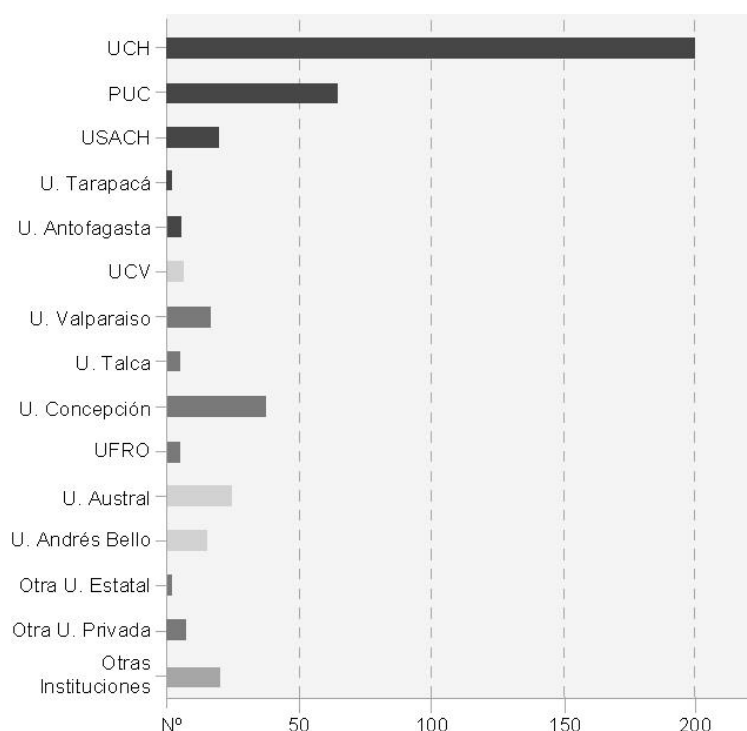


Figura 7.10. Investigadores según la institución a la que pertenecen. N = 424

Se constató que 23,6% de los investigadores perteneció durante los últimos 5 años a algún centro de excelencia (Instituto Milenio, Núcleo Milenio, Centro FONDAP, otros). De ellos, 47% pertenece a la Universidad de Chile, 22% a la Universidad Católica, y el resto (31%) a otras instituciones.

El nivel académico de los investigadores representa la variable más contrastante con la realidad del año 1993. De 33% que poseía el grado de doctor en esa fecha, se ha evolucionado hasta más de 71% al día de hoy (Fig. 7.11). Del resto, casi la mitad ha alcanzado el grado de magíster. Cabe precisar que, para este catastro, la categoría “graduado” corresponde a 5 años de estudios más tesis.

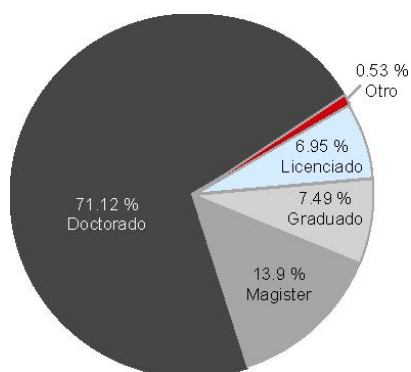


Figura 7.11. Grado académico de los investigadores. N = 374.

Este avance en el nivel académico general se correlaciona directamente con el mayor perfeccionamiento que presentan los investigadores más jóvenes.

Según es posible apreciar en la Figura 7.12, existe una proporción creciente de doctores entre los grupos de menor edad, concentrándose en los segmentos de más edad el mayor número de casos sin doctorado o magíster.

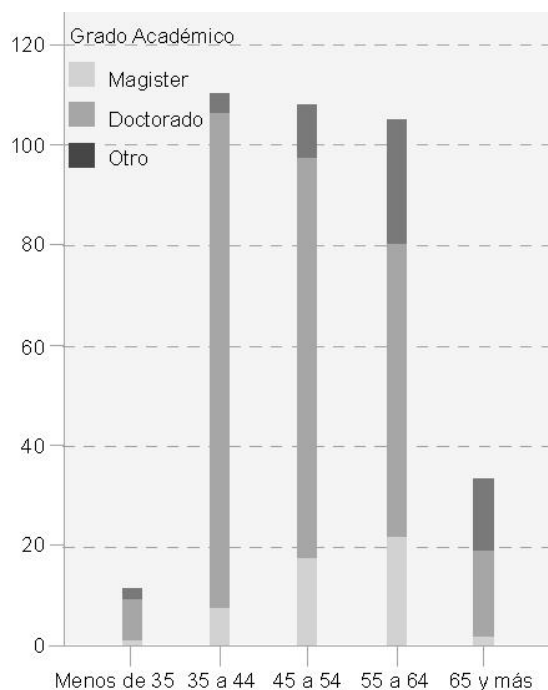


Figura 7.12. Distribución por grupos de edad de los investigadores según grado académico. N = 367

El análisis de los programas de doctorado que ofrecen las diversas instituciones de educación superior es clave para comprender este proceso. Desagregados por universidad, la Figura 7.13 presenta los totales para el período en estudio. La Figura 7.14, en tanto, da cuenta del apoyo estatal

para el ingreso a esos programas de doctorado, mediante las becas de CONICYT y MECESUP. Cabe consignar que, por vacíos en la información disponible, los gráficos no incluyen datos respecto a las Universidades de Santiago y Católica de Valparaíso.

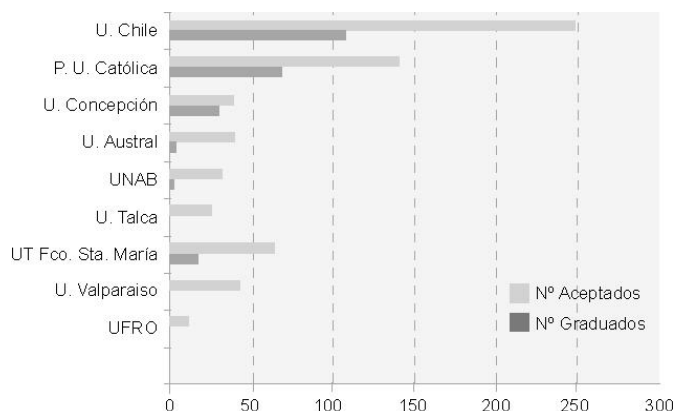


Figura 7.13. Estudiantes aceptados y graduados (2000-2005) por institución. Programas de doctorado en Biología.

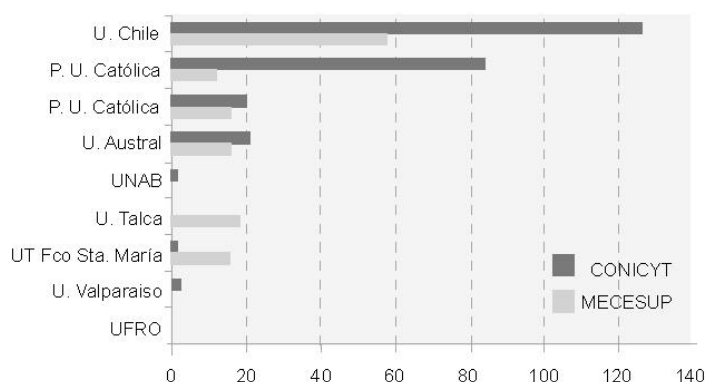


Figura 7.14. Becas CONICYT y MECESUP para estudiantes de programas de doctorado (2000-2005) por institución.

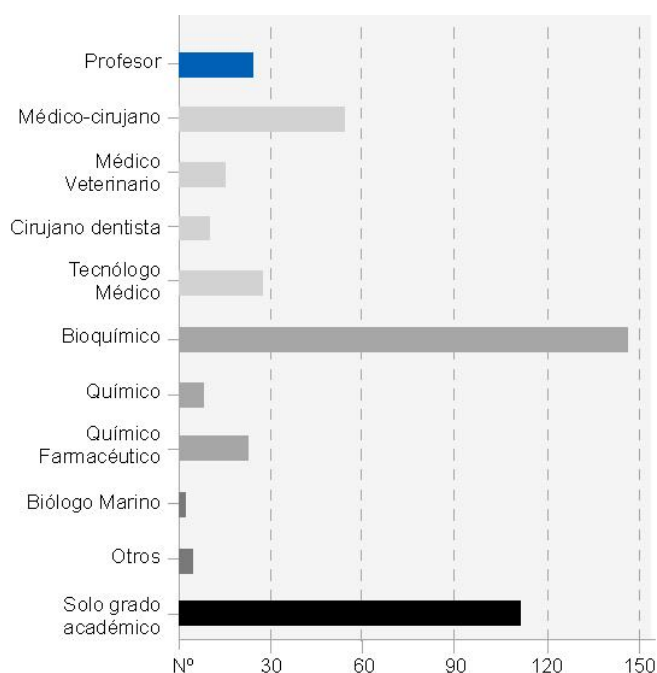


Figura 7.15. Títulos profesionales adicionales al grado académico de los investigadores en Biología.

Además del grado académico, un porcentaje importante (73,8%) posee un título profesional (Figura 7.15). De las personas que tienen una profesión, y no solamente un grado académico, la gran mayoría son bioquímicos (46,6% de los profesionales). Más atrás destacan otros profesionales vinculados al área de la Salud (33,9% en total), Química y Farmacia, y profesores de Estado. Al año 1993, esta situación era similar, aunque con predominio de los médicos por sobre los bioquímicos.

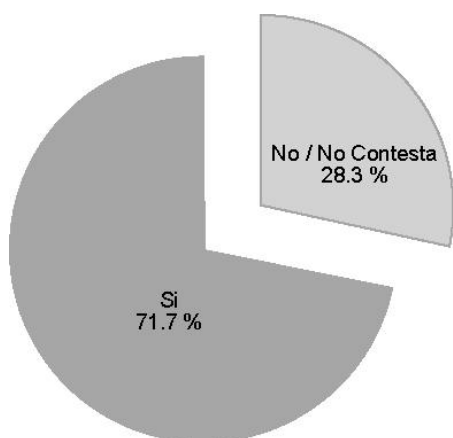


Figura 7.16. Participación de investigadores en la formación de estudiantes. N = 424.

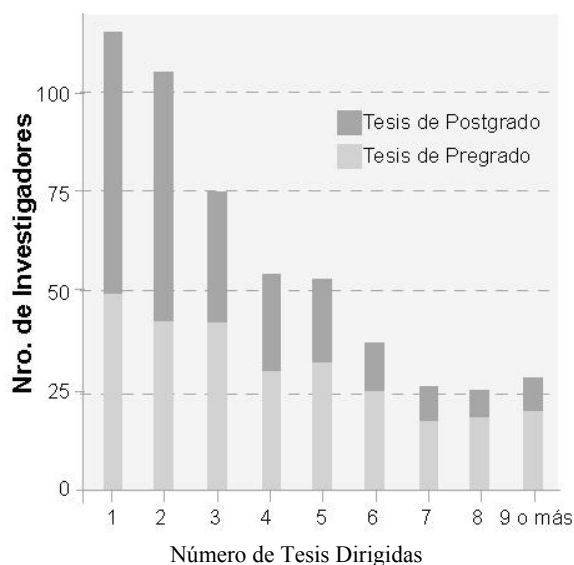


Figura 7.17. Número de tesis de pre- o posgrado dirigidas (2000-2004). N = 304.

La Figura 7.16 da cuenta de la participación de los investigadores en la formación de estudiantes. La gran mayoría de ellos (sobre 70%) toma parte en el proceso formativo, ya sea en pregrado o posgrado, o ambos. Como parte de esa tarea, un número importante de ellos dirige un número variable de tesis en alguno (o ambos) de estos niveles (Figura 7.17).

El 65% de los investigadores dirige o ha dirigido alguna tesis en pregrado durante el período 2000-2004. El número de tesis por investigador oscila, en este nivel, entre 1 y 41, con un promedio de 4,5. En la dirección de tesis de posgrado, en tanto, ha tomado parte el 56,4% de los encuestados, con un intervalo entre 1 y 14 tesis por investigador y un promedio de 3,1.

3.3. Redes y financiamiento

De los 424 investigadores catastrados, 167 (39,4%) declaran ser miembros activos de la Sociedad de Biología de Chile. En la Figura 7.18 se detalla la pertenencia a las sociedades afiliadas a esa sociedad. Además, un número importante de investigadores pertenece a diversas sociedades internacionales, principalmente de Estados Unidos y Canadá y, en menor medida, de América Latina (Figura 7.19).

Gran parte de los investigadores de la lista (cerca de 84%) tiene participación en proyectos financiados por FONDECYT, ya sea como investigador responsable o como co-investigador (Figura 7.20). Ello representa un fuerte incremento respecto del año 1993, en que un 58% figura con financiamiento de FONDECYT. Un número significativo, posee otros tipos de financiamiento, incluidos proyectos internacionales (Figura 7.22). Al menos 32,8% tiene acceso a fondos internacionales, cifra similar a la realidad de 1993 (31%).

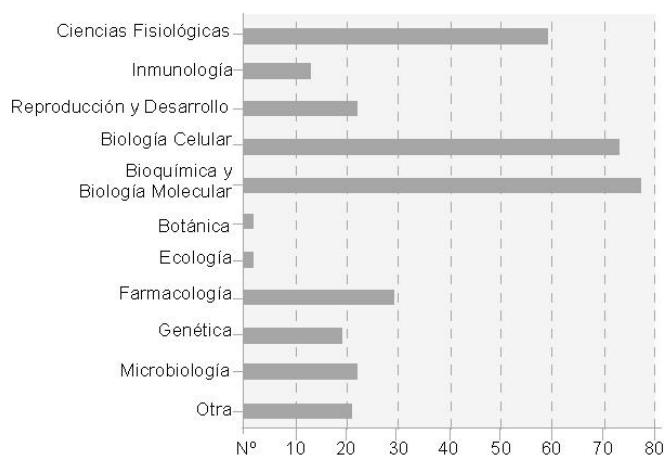


Figura 7.18. Pertenencia a sociedades científicas nacionales. N = 424.

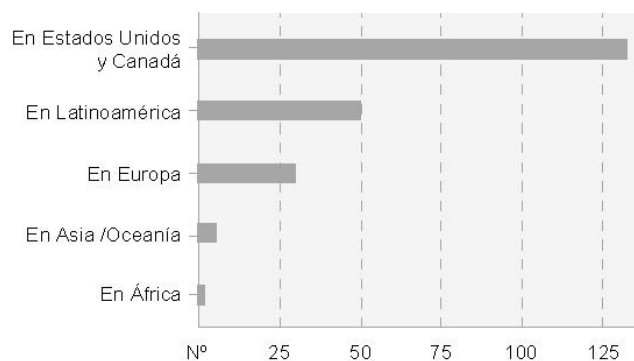


Fig. 7.19. Pertenencia a sociedades científicas internacionales (según región). N = 424.

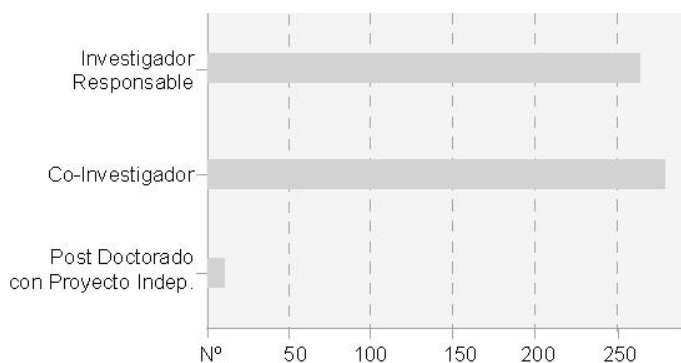


Figura 7.20. Participación en Concursos FONDECYT ganados (2000-2005). N = 424.

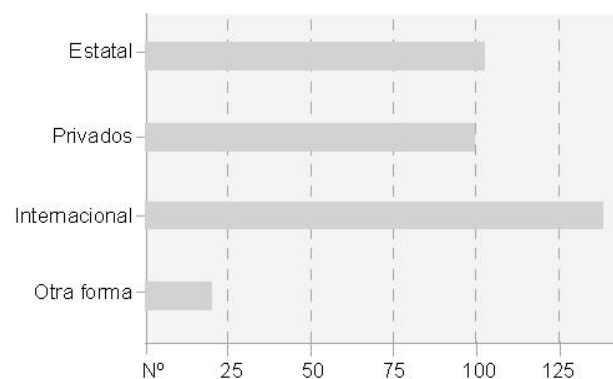


Figura 7.21. Otros financiamientos obtenidos (2000-2005). N = 424.

Sin embargo, muy pocos investigadores han generado patentes en el período estudiado (Figura 7.22). Sólo un décimo de los investigadores encuestados cuenta con alguna patente (aprobada o en trámite), en su gran mayoría con una sola. Además, la mayoría de ellas se encuentran pendientes.

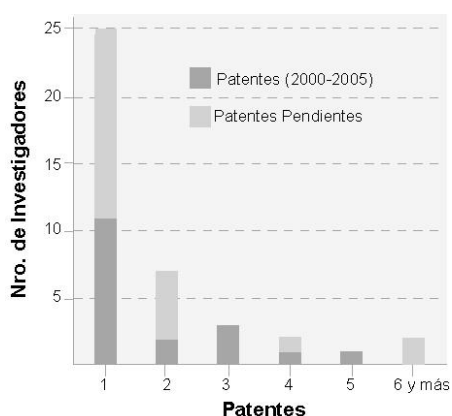


Figura 7.22. Patentes aprobadas o en trámite (2000-2005). N = 33.

La evaluación de infraestructura indica un nivel adecuado de satisfacción con el espacio y el equipo mayor disponible (Figura 7.23). Las expectativas a futuro, si bien son positivas, no son, sin

embargo, tan buenas como la evaluación de la infraestructura actual (Figura 7.24). El 23,6% de los investigadores detalló cuáles eran sus necesidades específicas de mejoramiento de equipo mayor. En términos de dineros involucrados, las necesidades van desde los US\$ 200 hasta los US\$ 2 millones, con un promedio de US\$ 174.866.

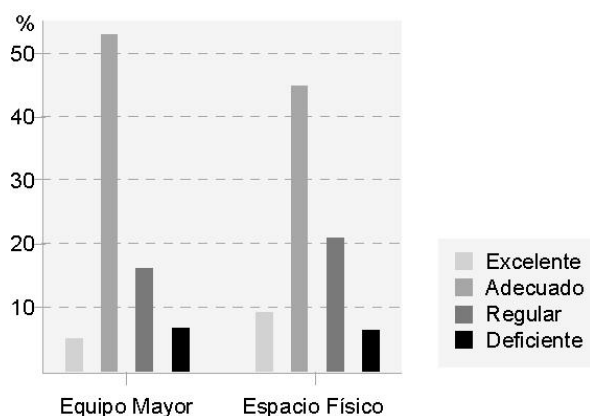


Figura 7.24. Evaluación de la infraestructura (necesidades actuales). N = 343 para equipo mayor; N = 344 para espacio físico.

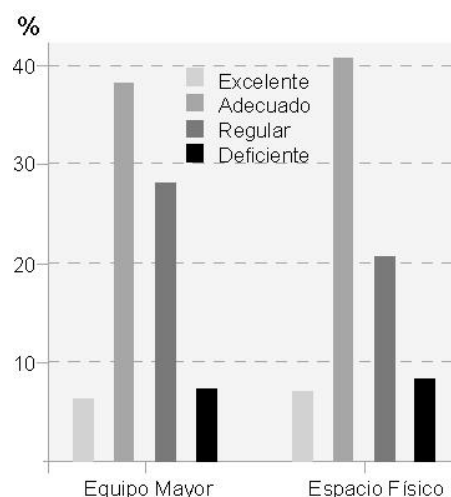


Figura 7.25. Evaluación de la infraestructura (expectativas futuras). N = 329 para equipo mayor; N = 326 para espacio físico.

3.4. Publicaciones e impacto

Utilizando como referencia las publicaciones y puntaje ISI asociados a cada investigador, se ha construido una sistematización y análisis detallado de la realidad global y desagregada por grupos, de los índices de impacto de las publicaciones científicas en Chile en el ámbito de la investigación en Biología.¹

El primer elemento a considerar es el número de publicaciones que va entre 1 y 46 publicaciones por investigador, y un promedio de 8,14 (Tabla 7.3). La distribución de frecuencias (Figura 7.25) muestra que el grueso de los investigadores tiene menos de 10 publicaciones, y un grupo muy reducido supera las 20 en el período 2000-2004.

Tabla 7.3. Descriptores estadísticos: Número de Publicaciones					
	N	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Std.
Nº de publicaciones	418	1	46	8,14	6,147

El número de publicaciones por investigador es relativamente estable entre las distintas disciplinas biológicas, aunque con algunas leves diferencias (Figura 7.26). Entre las menos productivas figuran las disciplinas emergentes, con excepción de la Biología de la Reproducción.

¹ Se parte de la base que el impacto constituye, como se indica en el documento de 1993, citando a A. Welljams-Dorof (ISI), un “*término neutro y objetivo, y no necesariamente significa ‘calidad’, ‘importancia’ o ‘significación’*”. (...) *Debe considerarse como un indicador útil de la frecuencia con que un trabajo ha sido tomado como referencia por otros investigadores.*”

El puntaje ISI asociado a estas publicaciones se utiliza como índice de impacto. En este sentido, la Figura 7.27 presenta una clasificación de los investigadores en 5 niveles de impacto, de acuerdo a procedimientos de agrupamiento estadístico.

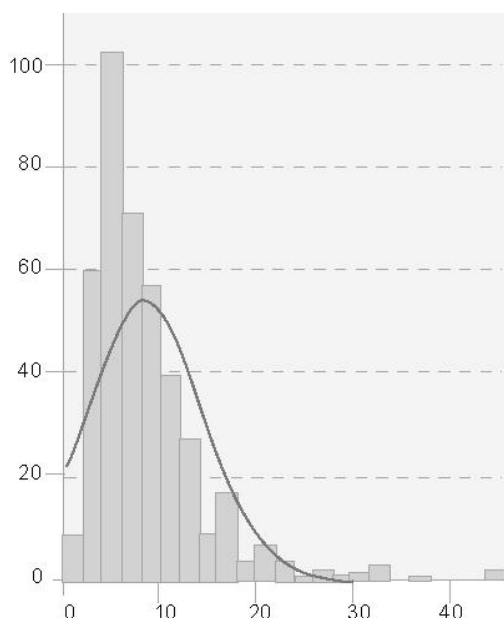


Figura 7.25. Número de publicaciones (2000-2004). Histograma de frecuencias. N = 418.

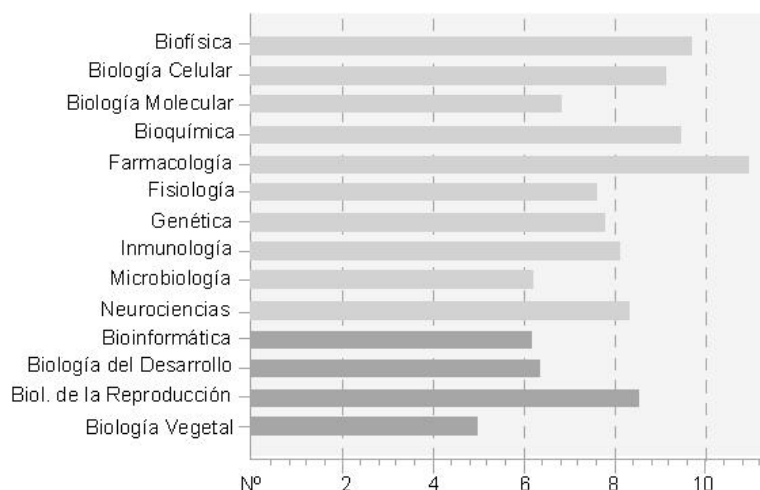


Figura 7.26. Número de publicaciones Promedio por investigador según disciplina. N = 418.

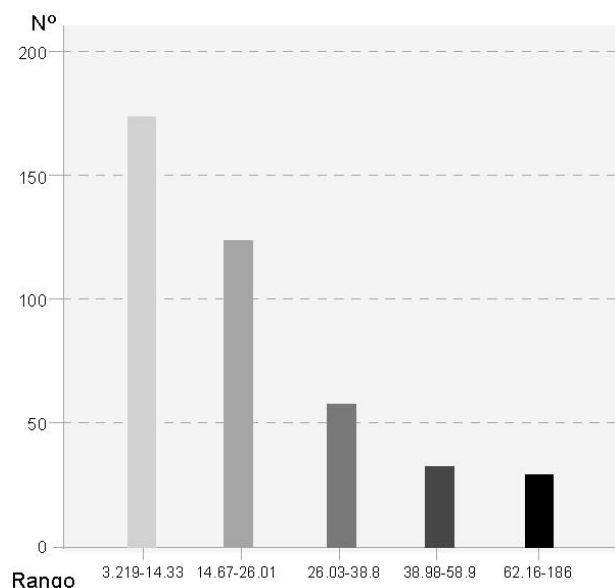


Figura 7.27. Impacto de las publicaciones del área de la Biología. Total publicaciones (2000-2004). N = 417.

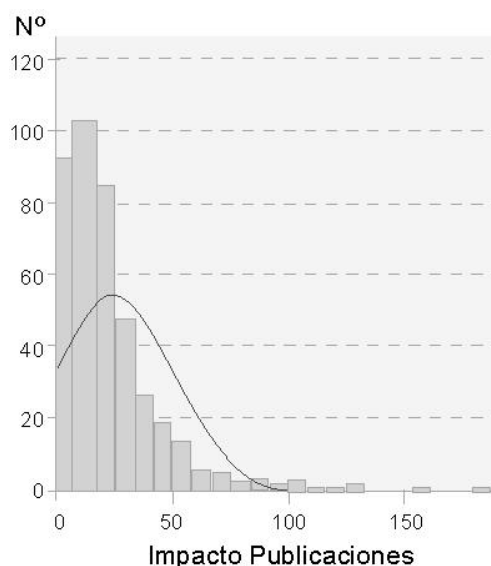


Figura 7.28. Impacto total de las publicaciones (2000-2004). Histograma. N = 417.

La conclusión es que más de 70% de los investigadores tiene un impacto acumulado en 5 años que es inferior a 26,01 puntos, lo que los ubica en los dos segmentos de más bajo impacto, con cerca de un 41% en el segmento inferior. Sin embargo, existe un grupo de elite, inferior a 7% de los encuestados, que posee un alto impacto acumulado en el período, por encima de los 62,16 puntos.

La distribución detallada de este impacto acumulado puede apreciarse en el histograma de frecuencias (Figura 7.28), que da cuenta claramente de una muy fuerte concentración en los impactos más bajos. Por otra parte, ratifica la existencia de un reducido grupo con altos impactos, que distorsiona positivamente los promedios globales.

La comparación de los impactos entre las distintas disciplinas da cuenta de importantes diferencias entre ellas (Figura 7.29). En él se presenta la distribución de rangos de impacto para cada disciplina, ordenadas de mayor a menor impacto total por investigador, dejando en el lugar más destacado la Biología del Desarrollo, una de las disciplinas emergentes.

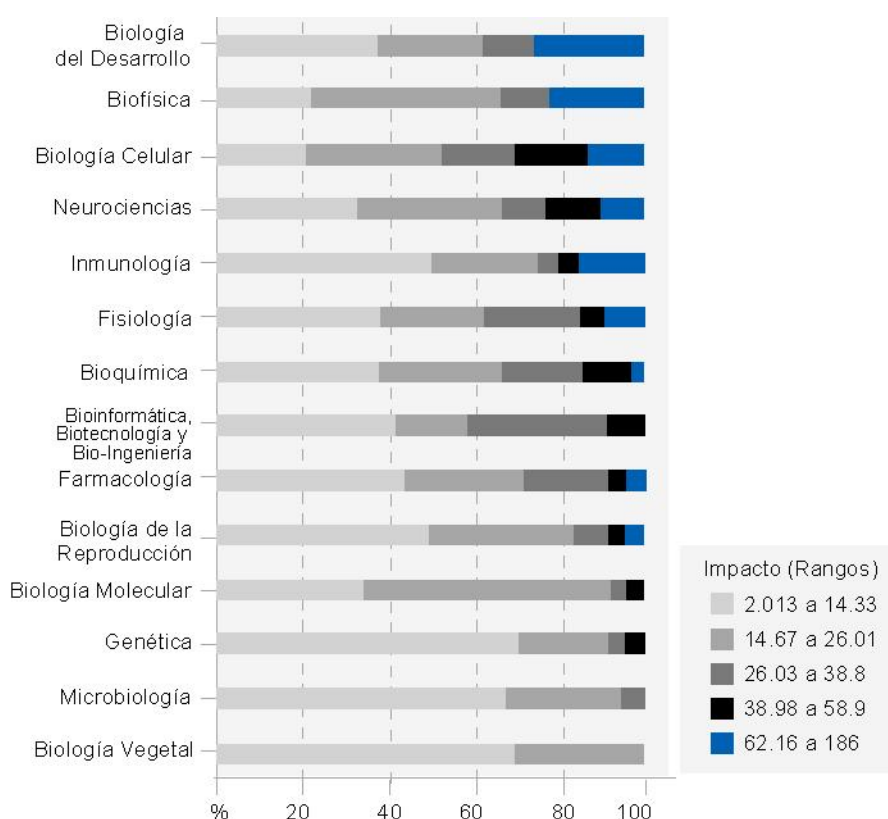


Figura 7.29. Impacto total (rangos) de las publicaciones 2000-2004 según disciplina. N = 418.

Al dividir el impacto total de cada investigador por el número de sus publicaciones, se obtiene una cifra que da cuenta del impacto promedio de cada una de sus publicaciones, despejando de este modo la incidencia del volumen de producción sobre el impacto total. Al agrupar estadísticamente este impacto promedio por publicación en un número similar de categorías, la situación global no cambia demasiado. Persiste una fuerte concentración de investigadores, cercana a 70%, en los dos segmentos de más bajo impacto, al tiempo que un grupo aún más reducido (apenas sobre 2%) se ubica en el segmento superior sobre 7% si consideramos impactos promedio sobre el 5,613 por publicación (Figura 7.30).

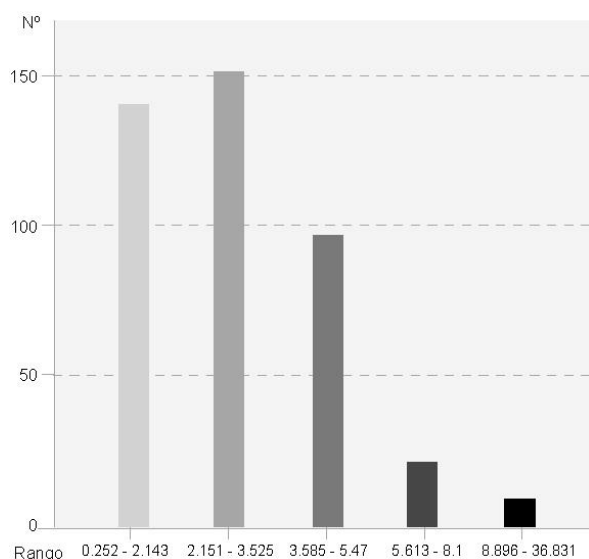


Figura 7.30. Impacto de las publicaciones (2000-2004). Promedio por publicación. N = 417.

La Tabla 7.4 da cuenta de los indicadores principales de número de publicaciones e impactos presentados hasta el momento.

Tabla 7.4. Promedio y desviación asociados al puntaje ISI.			
	N	Promedio	Desviación Std.
Nº de publicaciones (2000-2004)	418	8,1	6,1
Impacto Publicaciones	418	24,8	25,4
Impacto Promedio Publicaciones	418	3,2	2,7

Finalmente, la Tabla 7.5 presenta un resumen de algunos indicadores importantes en torno a las variables de impacto presentadas hasta el momento, desagregadas por disciplina, dando cuenta de rangos y promedios para el número de publicaciones ISI, impacto total para el período (puntaje ISI) e impacto promedio por publicación de cada investigador incluido en este catastro.

4. Conclusiones

De los resultados presentados, se puede concluir que desde el estudio anterior la Biología en Chile ha tenido un desarrollo importante. Han surgido de hecho nuevas disciplinas que nos permitirán avanzar en la biología de la era posgenómica siempre que se aseguren las condiciones para ello. Esto implica mejorar en forma significativa los recursos para hacer investigación en la biología actual, que es cada vez más compleja, competitiva y costosa pues requiere adquirir los sofisticados equipos que han surgido con las nuevas técnicas de genómica, proteómica y bioinformática. Se requiere, además, con urgencia, formar nuevos investigadores en el área junto con crear las condiciones para la formación de grandes equipos competitivos de investigadores. Como se dijo en la Introducción, Chile está atrasado y es indispensable avanzar ahora, pues de lo contrario se corre el riesgo cierto de perder gran parte de lo logrado en el país en estos últimos quince años.

Tabla 7.5. Número de publicaciones (2000-2004) e impactos por investigador, según disciplina.							
Disciplina	Nº	Rango Nº Publicaciones	Nº Promedio Publicaciones	Rango Impacto Total	Promedio Impacto Total	Rango Impacto por publicación	Promedio Impacto por publicación
Biofísica	9	1-32	9,8	3,8 – 182,2	41,9	1,7 – 6,4	4,2
Biología Celular	63	2-33	9,2	3,6 – 160,1	34,1	1,1 – 12,0	3,7
Biología Molecular	26	2-13	6,8	5,7 – 48,8	18,5	1,4 – 5,1	2,9
Bioquímica	42	1-46	9,5	3,9 – 123,7	24,7	0,9 – 6,3	2,7
Farmacología	25	3-46	11,0	3,3 – 68,6	19,8	0,5 – 3,4	1,8
Fisiología	67	1-25	7,6	3,2 – 130,3	28,0	0,5 – 36,8	4,2
Genética	24	2-27	7,8	3,5 – 43,2	12,9	0,5 – 4,7	1,9
Inmunología	20	2-19	8,1	6,1 – 113,7	28,2	0,3 – 10,3	3,5
Microbiología	40	1-27	6,2	3,8 – 39,0	11,9	0,6 – 5,8	2,3
Neurociencias	48	1-36	8,3	3,7 – 186,0	29,2	1,1 – 7,1	3,4
Bioinformática, Biotecnología y Bio-Ingeniería	12	2-12	6,2	4,9 – 50,9	22,0	0,9 – 7,8	3,7
Biología del Desarrollo	8	2-16	6,4	3,7 – 153,0	47,4	1,1 – 13,1	6,3
Biología de la Reproducción	24	3-31	8,5	2,0 – 77,2	18,9	0,3 – 4,2	2,2
Biología Vegetal	10	2-9	5,0	4,4 – 25,8	10,8	0,6 – 4,3	2,3
Total	418	1-46	8,1	2,0 – 186,0	24,8	0,3 – 36,8	3,2

Finalmente quisiéramos dedicar unas breves palabras a grandes personajes que fundaron áreas enteras de la biología o que tuvieron un papel destacado en el desarrollo de ellas y que ya no están con nosotros. Nos referimos a los Drs. Hermann Niemeyer, Luis Izquierdo, Mitzy Canessa, Jorge Mardones, Joaquín Luco, Teresa Pinto y Danko Brncić. Hay investigadores del área biológica que ya no figuran en el Directorio pero que es necesario recordar, pues por sus contribuciones desempeñaron un papel notable en el desarrollo de la biología en Chile. Entre otros, a los Drs. Héctor Croxatto, Mario Luxoro, Luis Vargas, Gustavo Hoecker, Jaime Alvarez y Renato Albertini.

Yedy Israel (*Coordinador*), Pilar Carvallo, Fernando Cassorla,
Catterina Ferreccio, María Paz Marzolo, Francisco Mardones,
Isolde Rudolph, Patricia Sanz y Rodolfo Armas Merino

Resumen- Investigación Biomédica en Chile.

1. Según criterios de selección establecidos (5 publicaciones en PubMed o 3,5 puntos de impacto ISI en 2000-2004) hemos determinado que el país cuenta con 504 investigadores activos en el área de la Biomedicina.
2. Tres cuartos de esos investigadores comunica una dedicación a la investigación en Biomedicina que excede el 50%.
3. El promedio acumulativo ponderado de puntos ISI en 5 años de esta muestra seleccionada es de 28 puntos ISI; equivalente a 10 trabajos de calidad internacional en los 5 años de la encuesta (un puntaje ISI del nivel de 10 trabajos en Biomedicina en los EE.UU y Canadá).
4. La edad de los investigadores en la muestra no afecta la productividad ni la dedicación promedio a la Biomedicina.
5. La Universidad de Chile (47%) y la Universidad Católica (22%) concentran el mayor número de investigadores en Biomedicina del país, seguidos por la Universidad de Concepción (8%) y la Universidad Austral (4%) y la Universidad de Valparaíso, Universidad de Santiago y Universidad de la Frontera con 3% cada una. Es decir, el 90% de los científicos en Biomedicina en el país se encuentran en 7 Universidades.
6. El puntaje ISI promedio por investigador es 30 a 40% más alto en la Universidad Católica que en otras universidades en el país.
7. El 70% de los investigadores en Biomedicina dirige estudiantes de pre- o posgrado, o ambos.
8. El 60-70% de la investigación biomédica nacional de mayor impacto es aplicada en beneficio de la salud de población.

1. Definición de Biomedicina

No es trivial diferenciar el tipo de investigaciones que constituyen Ciencias Biomédicas y aquellas que deben ser clasificadas como otras Ciencias Biológicas. Por consiguiente los respondientes de los cuestionarios fueron guiados por definiciones para determinar si sus investigaciones estaban el campo de las Ciencias Biomédicas o de otras ramas de la Biología.

El Comité acordó que el propósito *final* de las investigaciones era importante. Por ejemplo estudios sobre la patofisiología o farmacoterapia en un modelo animal de una enfermedad específica (*e.g.* enfermedad de Parkinson, alcoholismo, cardiomiopatía, etc.) tienen como *finalidad* el comprender para modificar tal enfermedad en seres humanos. Ello se aplica igualmente a modelos celulares de una enfermedad.

Una opinión en el Comité, que deseamos dejar estampada, consideró que sólo las investigaciones en seres o materiales humanos constituyen Ciencias Biomédicas. Más complejo fue definir si estudios en fracciones celulares de animales normales podrían constituir estudios en Biomedicina o si éstos se ubican en el campo de la Biología propiamente tal. Se ayudó a los investigadores a definir si algunos de tales estudios se enfocaban en la Biomedicina por la *intencionalidad expresada* en sus trabajos publicados, específicamente relacionando los estudios con una enfermedad.

Con las siguientes tres definiciones se solicitó a los respondientes indicar el porcentaje relativo de sus investigaciones que correspondían a Biomedicina (versus aquel en otras ramas de la Biología).

Definiciones

Ciencias Biomédicas: “Campo de investigación científica en el área de la Biología o la Medicina en su más amplio espectro (incluyendo Biofísica, Bioquímica, Fisiología, Fisiopatología, Farmacología, Genética, Inmunología, Biología Celular o las diversas Especialidades Médicas, etc.) tendientes, por el estudio de factores biológicos, a finalmente prevenir, diagnosticar, tratar, reducir o determinar la severidad o prevalencia de una enfermedad específica. Propósito: Cambiar”.

Biología: “En su más amplio espectro (incluyendo Biofísica, Bioquímica, Fisiología, Fisiopatología, Genética, Inmunología, Biología Celular, etc.) es el campo que conduce investigaciones principalmente con el propósito de entender el funcionamiento de los seres vivos y sus reacciones al medio externo. Propósito: Comprender”

Mensaje Comunicado. “Si Ud. aún tiene dudas, examine si en sus proyectos que solicitan financiamiento o en los trabajos publicados por Ud., la introducción comienza refiriéndose a una enfermedad específica. En tal caso sus estudios con alta probabilidad tienen un componente Biomédico. Propósito: Comprender para Cambiar”

2. Población encuestada

El cuestionario fue diseñado de modo que pudiese ser usado conjuntamente por el Comité de Biología. Los datos obtenidos por el Comité de Biomedicina fueron además entregados digitalizados al Comité de Biología. La carta explicativa y el cuestionario fueron enviados por correo electrónico a más de 1.600 científicos y a los presidentes de 30 capítulos de la Asociación de Sociedades Científicas-Médicas de Chile (seguimiento triple).

Los 1.600 nombres fueron seleccionados de *a)* las Sociedades Científicas que se detallan en el Anexo 2, *b)* todos los Investigadores Responsables o Co-Investigadores de Proyectos FONDECYT y FONDEF en las áreas de Biología y Medicina y FONIS entre los años 2000 y 2005 (aunque el estudio cubrió actividades en los cinco años entre 2000 y 2004 inclusive) y *c)* los presidentes de 30 Sociedades de Medicina, miembros de la Asociación de Sociedades Científicas-Médicas de Chile, para su distribución a sus miembros (Anexo 2). En casos de duplicación de nombres en diversas listas, sólo se envió una carta y ficha a tal investigador. Luego de cuatro recordatorios se recibió un total de 371 fichas completadas. Luego, por un examen exhaustivo de la literatura y una publicación en la prensa nacional en que se dio la lista parcial se llegó a completar una lista de 503 investigadores biomédicos. Se confeccionaron estadísticas con una muestra de los primeros 253 respondientes que ingresaron al Directorio según los criterios indicados más abajo. Para determinar si tal muestra era representativa se estudiaron las publicaciones e impacto ISI de 253 investigadores que no respondieron al cuestionario después de tres comunicaciones.

3. Criterios de inclusión en el Directorio

El Comité, en base a varias consideraciones para este campo, determinó que la inclusión estaría basada en una productividad entre 2000 y 2004 (incluye publicaciones en prensa en 2004) de 5 o más publicaciones en la base de datos PubMed, independientemente del factor de impacto de la revista. Un segundo criterio, si no se cumpliera el anterior, fue un puntaje acumulativo igual o superior a 3,5 puntos de impacto ISI de la(s) revista(s) en esos 5 años. (Última base de datos ISI de 2003).

Un número importante de científicos del área Biomédica reparten su tiempo entre estudios en Biomedicina y Biología. En tal caso, por ejemplo, un científico con una dedicación de 50% en Biomedicina se incluyó en el Directorio si sus puntos ISI acumulativos eran iguales o mayores a $(3,5/0,5): 7,0$. Científicos con una dedicación de 25% en Biomedicina fueron incluidos si su puntaje ISI fue mayor que $(3,5/0,25):14$. Es decir, científicos biólogos de mérito pudiesen no haber sido incorporados a esta lista por un bajo porcentaje de dedicación a la Biomedicina propiamente tal.

4. Conclusiones

4.1. Capacidad de investigación en Biomedicina en Chile

Un total de 504 investigadores cumplían con los criterios de selección indicados. Se analizó en detalle la productividad de los 253 científicos inicialmente ingresados al directorio. Una indicación de la calidad de la investigación en Biomedicina en Chile es el factor de impacto ISI. El impacto ISI promedio acumulativo en 5 años de los 253 investigadores en Biomedicina es de 30,8 (Fig. 8.1) lo que indica que, después de sobrepasar un nivel umbral, la calidad de los investigadores dedicados a la Biomedicina es muy alta (*vide infra*; comparación con otros países). También es una mediana de 23,3 puntos de impacto ISI para esos investigadores (Fig. 8.2).

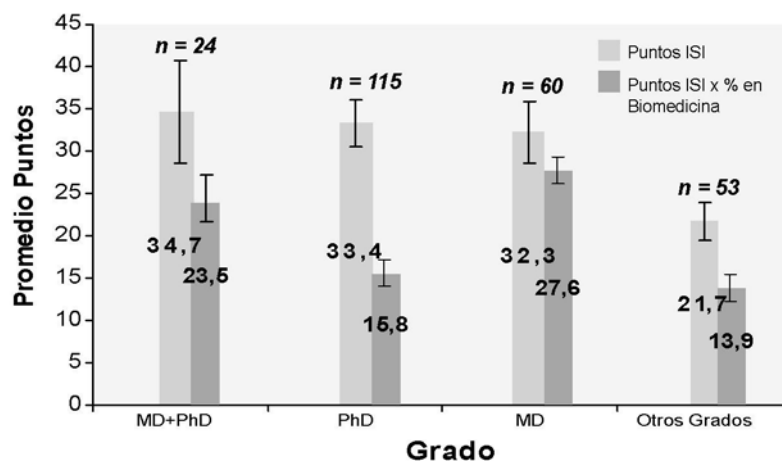


Fig. 8.1. Puntos ISI acumulativos (2000-2004) por grado académico

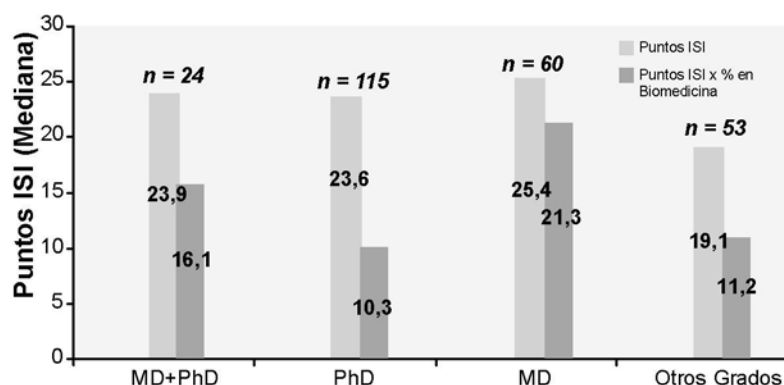


Fig. 8.2. Mediana de puntos ISI acumulativos (2000-2004) por grado académico

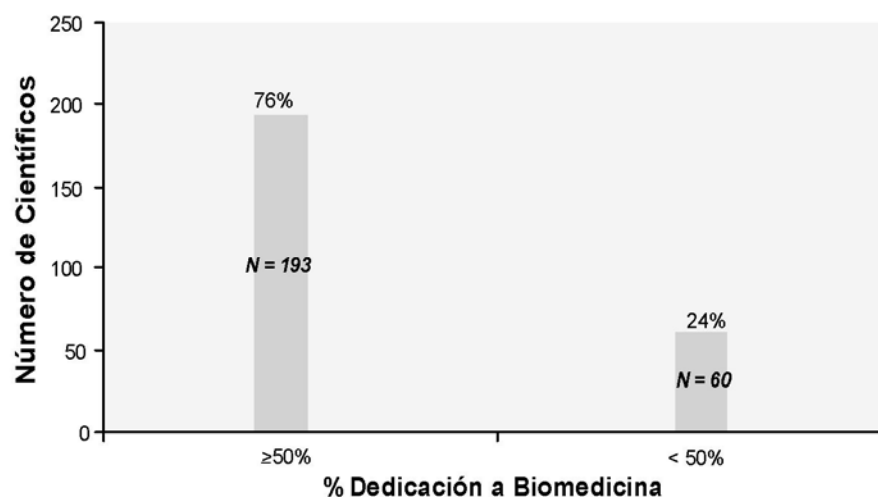


Fig. 8.3. Dedicación a la investigación en Biomedicina

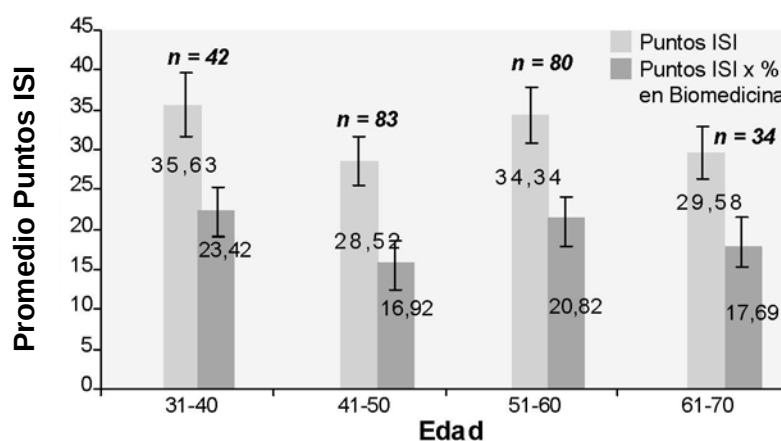


Fig 8.4. Puntos ISI acumulativos por edad del investigador

- Tres cuartos de esos investigadores reporta una dedicación a la investigación en Biomedicina que excede el 50% (Fig. 8.3)
- La edad de los investigadores en la muestra no afecta la productividad (Fig. 8.4).
- La Universidad de Chile (47%) y la Universidad Católica (22%) concentran el mayor número de científicos en investigación Biomédica del país (Fig. 8.5).
- El puntaje ISI promedio de cada investigador en la Universidad Católica es 30% más alto que en otras universidades en el país (Fig. 8.6).
- 40% de las investigaciones en Biomedicina es realizada por científicos con grado de Doctor en Ciencias (Ph.D, D.Sc.) (Fig. 8.7) similar al de investigadores con un grado en Medicina (sin doctorado en Ciencias).
- 70% de los investigadores dirige estudiantes de pre- y posgrado (Fig. 8.8).
- El puntaje ISI de la muestra que se analizó en detalle (n=253) es 19% mas alto que el de los 504 investigadores que ingresaron al Directorio (371 de ellos con un cuestionario completo). El puntaje ISI ponderado en las conclusiones de este estudio ha incorporado tal corrección.

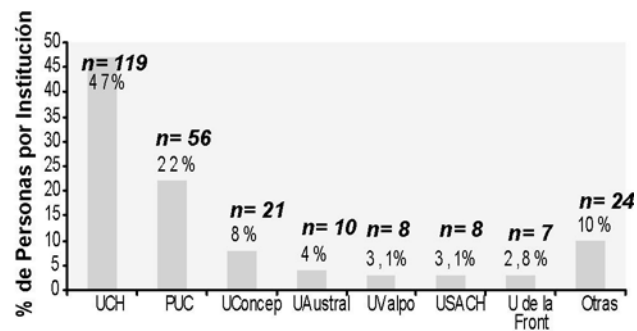


Fig. 8.5. Porcentaje de los científicos que contribuyen en Biomedicina en cada institución.

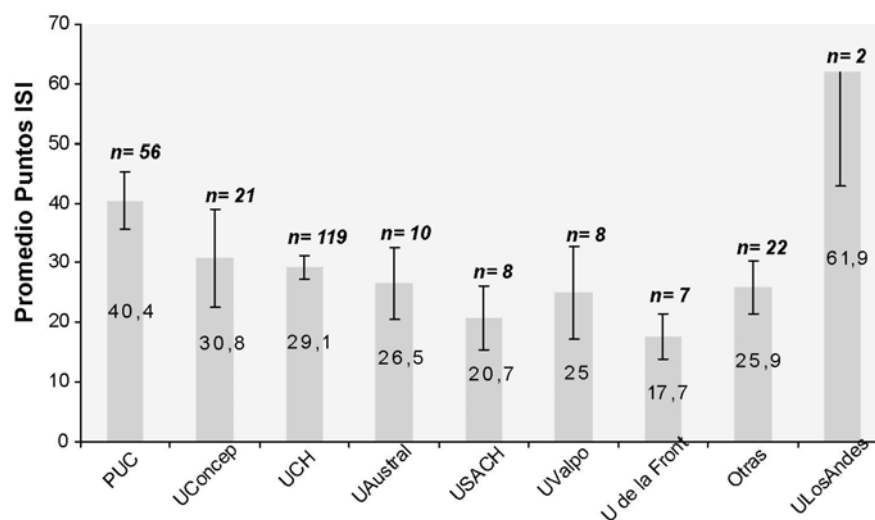


Fig. 8.6. Promedio acumulativo ISI de los científicos en diversas instituciones.

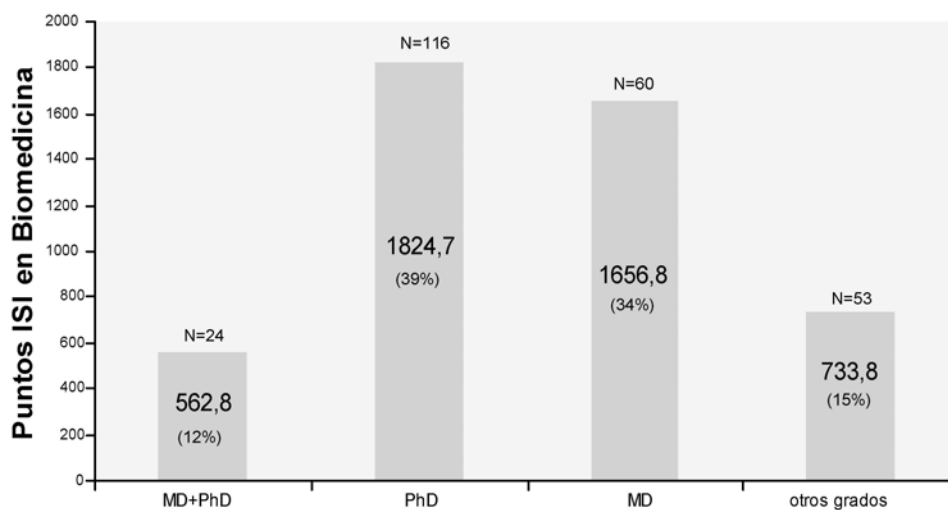


Fig. 8.7. Puntos totales ISI ponderados en Biomedicina por grado académico.

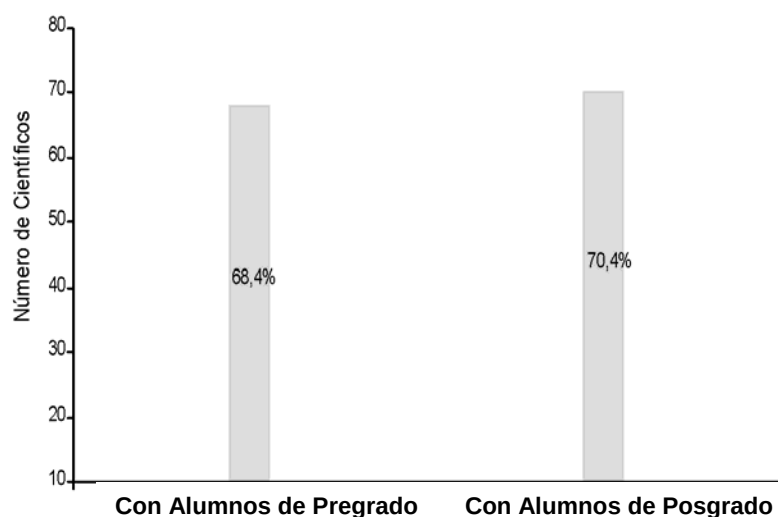


Fig. 8.8. Científicos en la muestra que supervisan memorias de pregrado y tesis de posgrado.

2. Comparación con otros países

El impacto acumulativo corregido (para los 504 científicos en esta área) de 28 puntos ISI en 5 años de investigación en Biomedicina en Chile indica la generación de 5 trabajos con impacto ISI igual a 5 o 10 publicaciones con un impacto 2,8 en los últimos 5 años. En países de alto desempeño en investigaciones en Biomedicina el impacto por trabajo publicado (ISI para enfermedades cardiovasculares y cáncer en los primeros 6 meses de 2005) es para Nueva Zelandia = 1,88; Canadá = 2,14; Finlandia = 2,78; EE.UU= 3,16 y para el Reino Unido = 3,43. Existe claramente un potencial intelectual real en Ciencias Biomédicas en Chile.

3. Aplicación en Chile de la investigación en Biomedicina

Entre los 373 investigadores en Biomedicina que contestaron la ficha completa enviada (del total de 504 investigadores ingresados) se identificó a los 37 investigadores (10%) con el mayor impacto ISI ponderado en sus publicaciones en el área de la Biomedicina.

Para determinar el grado de aplicación de la ciencia en Biomedicina, a estos 37 investigadores se les invitó a describir el impacto de sus estudios en la salud de la población (e.g., diagnóstico, prevención, tratamiento, sistemas de salud, etc.). Dado que, en general, las aplicaciones en una ciencia tardan más de 5 años, no se requirió que las aplicaciones descritas fueran sólo el producto de estudios recientes. Se obtuvieron 18 respuestas (49%): un número de éstas incorporan varios investigadores de la muestra encuestada lo que se considera como una clara indicación que la mejor ciencia nacional es aplicada a la salud de la población en Chile.

Sin embargo, estimando que la inversión total en investigación Biomédica en el país (ver otros capítulos sobre utilización de recursos) es aproximadamente equivalente a 10-15% de la inversión requerida para llevar tan solo un medicamento a mercados internacionales, es claro que la Biomedicina nacional no puede competir a tales niveles. La calidad, sin embargo, es claramente competitiva y en línea con los impactos en Biomedicina de investigadores en países industrializados.

Entre las 19 respuestas que indican la aplicación de sus investigaciones, se recibieron 6 de la Pontificia Universidad Católica (32%) y 12 de la Universidad de Chile (63%). No es posible determinar si existe un sesgo diferencial en diversas universidades en contestar encuestas abiertas que van más allá de completar un cuestionario estandarizado. Tampoco es posible determinar si la calidad, medida por el impacto ISI, es priorizada en algunas universidades sobre

la aplicación nacional de los hallazgos. La afiliación de los 37 investigadores encuestados es 46% en la Universidad Católica y 43% en la Universidad de Chile. Sin embargo, las respuestas de aplicación en la Universidad de Chile exceden a la de otras universidades: Universidad Católica, Universidad de los Andes, Universidad Austral de Chile y Universidad de Concepción.

Seguidamente se presentan los ejemplos de aplicaciones de los científicos encuestados. Esta lista es sólo un ejemplo de las aplicaciones descritas por los encuestados y NO debe ser tomada como un catálogo de todas las aplicaciones de la ciencia biomédica nacional. Más aún, 26% de los 503 investigadores no respondió el cuestionario. Además, existen claros casos de aplicaciones en Biomedicina que NO se reflejan en publicaciones con altos impactos ISI.

4. Ejemplos de utilización de la investigación en Biomedicina en la salud de la población por universidad (en orden aleatorio)

Pontificia Universidad Católica de Chile

1. *Cálculos biliares, Cáncer de la vesícula biliar y Hepatitis C.* Departamento de Gastroenterología, Drs. Marco Arrese, Juan Fco. Miquel, Flavio Nervi, Atilio Rigotti, Silvana Zanlungo y colaboradores.

Este grupo de investigación ha realizado estudios poblacionales sobre prevalencia, incidencia, factores de riesgo e historia natural de la colestiasis y el cáncer vesicular. Tales estudios han establecido que esas enfermedades afectan especialmente a poblaciones mapuches y poblaciones con dificultades de acceso al sistema nacional de salud. Los resultados indican que el cáncer vesicular es una patología prevenible mediante un tratamiento oportuno de la población litiasica sintomática. Demuestran también que el sistema nacional de salud alcanza sólo el 50% de las tasas deseables de cirugía (colecistectomía) que se recomiendan según estándares internacionales ajustados a la prevalencia chilena de la enfermedad.

2. *Hepatitis por virus C (HVC) e Hígado graso.* Los estudios de este grupo han contribuido a establecer la prevalencia y factores de riesgo de la HVC e hígado graso (precursor de la esteatohepatitis) en la población chilena. El grupo ha colaborado con el Ministerio de Salud en la implementación de tratamientos para pacientes con HVC en el sistema nacional de salud.

3. *Alzheimer.* Departamento Biología Celular y Molecular, Dr. Nibaldo Inestrosa y colaboradores. Han demostrado que la proteína acetilcolinesterasa es un importante acelerador en el proceso de agregación del péptido- β -amiloide. La parte de la molécula responsable de tal efecto es el área exterior de la acetilcolinesterasa. Ligandos de este sitio exterior reducen significativamente la agregación del amiloide. Basados en estos hallazgos, la síntesis de nuevos inhibidores duales de la acetilcolinesterasa (que bloquean tanto el sitio activo como el sitio exterior de la enzima) se inició hace algunos años, y su utilización ha comenzado recientemente. Se cree que esta estrategia para controlar la enfermedad de Alzheimer constituirá una terapia más efectiva que el uso de tan sólo inhibidores de la actividad enzimática de la acetilcolinesterasa.

4. *Arsénico como cancerígeno.* Departamento de Salud Pública, Catterina Ferreccio y cols. Una línea de investigación en exposición poblacional al arsénico en el norte de Chile permitió identificar que la contaminación natural con arsénico en el agua potable es la causa del exceso de cáncer de pulmón y vejiga en la II región de Chile. En tanto, la contaminación con arsénico del aire, producto de la fundición de cobre en Chuquibambilla, sólo explica el exceso de cáncer entre los trabajadores de la fundición no afectando a la población general. Esto ha tenido importantes implicancias en las normativas de calidad ambiental y en la descontaminación del arsénico en el agua potable de las zonas urbanas y rurales.

5. *Osteoporosis*. Departamento de Endocrinología, Dr. José A. Rodríguez. Investigadores nacionales, junto a investigadores en otras partes del mundo, condujeron estudios clínicos que generaron los antecedentes requeridos para la aprobación por la FDA (USA) de la droga alendronato sódico, comercializada por Merck, Sharp & Dohme bajo el nombre de Fosamax y que constituye hoy el más poderoso agente para el tratamiento de la osteoporosis y prevención de fracturas de cadera.

6. *Falla multiorgánica en shock y en condiciones de hipoxia seguida por reperusión*. Departamento de Ciencias Fisiológicas. Dr. Juan C. Saez. En la década de 1980, importantes estudios demostraron que los radicales libres actúan como mediadores de la respuesta inflamatoria sistémica que se establece durante una falla multiorgánica, incluyendo las que ocurren en el shock por quemadura y torniquete y shock hipovolémico y traumático. En tales estudios se demostró por primera vez que alopurinol, un bloqueador de la xantina oxidasa, y superóxido dismutasa, reducen el daño celular y aumentan las perspectivas de vida. Esos estudios, junto a otros acumulados a nivel mundial, motivaron a cirujanos a usar en forma preventiva el alopurinol y otros antioxidantes en cirugías con alto riesgo de hipovolemia como algunas cirugías cardíacas, para así reducir la necrosis por reperusión. También se utiliza alopurinol y otros antioxidantes en pacientes que se someten a re-implantación de extremidades luego de una amputación y trasplante.

Universidad de Chile

7. *Diabetes mellitus Tipo I*. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Dr. Francisco Pérez B. La diabetes mellitus tipo I, que afecta preferentemente a niños y adultos jóvenes, se asocia a una marcada reducción en calidad de vida y elevados costos. El aumento a nivel mundial de esta patología ha sido sostenido y progresivo, incluyendo a Chile. Estudios de este grupo de investigadores básico-clínicos han llevado al desarrollo de protocolos clínicos y educativos tendientes a mejorar las condiciones de vida del diabético ya diagnosticado. Las mayores cifras de incidencia y la observación de la evidente mejoría en la calidad de vida del paciente que recibe información atinente, han sido factores que han llevado a la inclusión de esta patología en el Plan Auge lo que ha significado la entrega de insumos e insulina gratuitos a los menores que se atienden por Fonasa. Es probable que este notable avance del sistema de salud, sumado a nuevas investigaciones básicas se vea reflejado en el mediano plazo, en una menor frecuencia de complicaciones crónicas que afectan a este grupo de pacientes.

8. *Vacuna antirotavirus*. Instituto de Ciencias Biomédicas, Dr. Miguel O’Ryan y cols. La investigación en virus entéricos de este grupo y el reconocimiento internacional de sus investigadores ha derivado en una colaboración con el Laboratorio GlaxoSmithKline Biologicals para el estudio de la efectividad de una vacuna humana atenuada contra la infección por rotavirus. Esta vacuna, en fase de aprobación en Latinoamérica (ya comercializada en México), Europa y África tendrá un significativo impacto en disminuir la morbimortalidad asociada a esa infección en todo el mundo, y principalmente en países en desarrollo en que tales infecciones son comunes. Un investigador biomédico chileno lideró el estudio de Fase III de seguridad y eficacia que incluyó a 63.000 niños en Latinoamérica y Finlandia, correspondiendo a uno de los estudios de campo de vacuna de mayor envergadura realizado a la fecha.

9. *Intervenciones en el tratamiento de la Depresión en Sistemas de Salud*. Clínica Psiquiátrica, Dra Graciela Rojas y colaboradores. Investigadores nacionales han analizado la salud mental de la población de Santiago y han desarrollado intervenciones para el tratamiento de la enfermedad depresiva. Los estudios son la culminación un ensayo clínico randomizado de tratamiento de la depresión en la atención primaria, único en América Latina. Esa investigación fue la base científica del actual Programa Nacional de Tratamiento Integral de la Depresión que lidera el Ministerio de Salud.

10. *Anormalidades en el crecimiento*. Instituto de Investigaciones Materno Infantil (IDIMI). Dr. Fernando Cassorla y colaboradores. Estudios de este grupo de investigación han llevado a desarrollar técnicas de diagnóstico y tratamiento de patologías endocrino pediátricas, el retraso del crecimiento y las alteraciones del desarrollo puberal. El grupo es un referente nacional para pacientes con esas patologías en Chile.

11. *Micronutrientes: requerimientos nacionales*. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Dr. Manuel Olivares y colaboradores. Los estudios del grupo demostraron que la anemia ferropriva en el primer año de vida deja un déficit no recuperable del coeficiente intelectual. Esos y otros estudios llevaron a fortificar la leche con hierro, zinc y cobre, y agregar hierro hemínico a algunos alimentos para la prevención de la deficiencia de hierro. Asimismo, la fluoración de la leche para la prevención de caries fue una estrategia demostrada. La fortificación de harina con folato contribuyó a reducir defectos del tubo neural. Por otra parte, estudios sobre los efectos agudos gastrointestinales causados por el exceso de cobre en el agua potable sirvieron como fundamento para la normativa de la Organización Mundial de la Salud respecto al límite máximo permisible de cobre en agua potable.

12. *Neuronas Inmortalizadas*. Instituto de Ciencias Biomédicas (ICBM). Dr. Pablo Caviedes y colaboradores. Estudios netamente básicos de este grupo llevaron a la producción de líneas celulares inmortalizadas a partir de tejido adulto, mediante un protocolo patentado. Las líneas conservan funciones diferenciadas en cultivo de forma estable. Muchas de esas líneas son modelos para estudios *in vitro* para la industria farmacéutica (ensayos biológicos de drogas nuevas), además de eventuales fuentes para terapia celular en varias enfermedades. Los investigadores han además generado una industria para producir sueros y suplementos para el cultivo de tejidos.

13. *Tono dopaminérgico en la enfermedad de Parkinson*. Instituto de Ciencias Biomédicas (ICBM), Dr. Mario Herrera-Marschitz y colaboradores. Los estudios demostraron que el tratamiento de la enfermedad de Parkinson con L-DOPA no requiere de terminales dopaminérgicas para su descarboxilación. Tales estudios definieron una estrategia de tratamiento de la enfermedad con agonistas dopaminérgicos, e inspiraron los primeros intentos de transplantes autólogos de células cromafínicas.

14. *Ovario poliquístico*. Departamento de Medicina Interna, Dra Teresa Sir-Peterman y colaboradores. Estos estudios han demostrado la relación entre la patología de ovario poliquístico, el hiperandrogenismo, la diabetes tipo 2 y factores genéticos que lo predisponen. Esos estudios han sido pioneros en Latinoamérica en el uso del hipoglicemiante metformina en el tratamiento del ovario poliquístico. Este Centro ha servido como referente nacional en esa patología. En la aplicación clínica de los estudios se observa una fuerte potenciación de varias unidades de la Universidad de Chile, la Universidad de Concepción, y hospitales del Servicio Nacional de Salud con experiencia en diversas áreas de esas patologías, el sistema neuroendocrino y la diabetes.

15. *Crecimiento en los primeros años de vida*. Instituto de Investigaciones Materno Infantil (IDIMI), Dr. Germán Iñiguez. El factor de crecimiento similar a insulina tipo 1 (IGF-I) es un péptido cuya producción es controlada principalmente por la hormona de crecimiento y participa directamente en el crecimiento longitudinal en humanos. Un déficit en la producción del factor lleva a una disminución en la talla de los niños. Durante los últimos años el grupo ha estudiado alteraciones en las concentraciones de IGF-I en niños pequeños para su edad gestacional (PEG) en los primeros años de vida y han demostrado que los niños que no presentan crecimiento compensador de talla (CCT) al año de vida presentan concentraciones menores de IGF-I que aquellos niños que sí realizaron CCT. Los nacidos con PEG que no presentan CCT al año de vida se consideran indicados para recibir terapia con hormona del crecimiento durante los primeros años de vida.

16. *Citometría de flujo como herramienta de diagnóstico*. Departamento de Biología. Dra. María Rosa Bono y colaboradores. En 1993 la Facultad de Ciencias ganó un proyecto FONDEF para equipamiento mayor que permitió adquirir un citómetro de flujo. Durante más de 5 años se dio servicio a varios laboratorios de clínicas privadas (Clínica Alemana, Clínica Las Condes, Clínica Sidesa de Temuco) y luego a hospitales públicos (Universidad de Chile, Salvador, Asociación Chilena de Seguridad de Concepción, van Buren de Valparaíso) además del Instituto de Salud Pública analizando a todos los pacientes SIDA. Además se ha aportado a la investigación para el desarrollo de la acuicultura.

17. *Identificación del bebedor problema e intervenciones breves*. Departamento Química Farmacológica y Toxicológica, Dr. Yedy Israel. Estudios de investigadores chilenos y canadienses demostraron que los médicos pueden comenzar la identificación de bebedores problema preguntando por episodios de traumatismos y luego utilizar cuestionarios sobre posibles problemas debidos al abuso de alcohol. Esos estudios determinaron que es posible reducir el consumo de alcohol a niveles seguros mediante una terapia cognitiva conductual sin un compromiso de abstinencia por el paciente. Una cinta reactiva (patentada) que determina alcohol en saliva, una enzima hepática en el suero y un manual para la intervención breve se usaron para el seguimiento de los pacientes por un año, los que demostraron marcadas disminuciones en el consumo de alcohol y visitas médicas. Una versión de este tipo de tratamiento fue adoptada en 2005 por el Sistema de Salud de Chile y el investigador nacional ha entrenado alrededor de 40 profesionales en su uso. Basado en ese y otros estudios que demuestran la efectividad de las intervenciones breves, el bebedor problema comenzó a ser tratado por el sistema AUGEN nacional.

18. *Hacia un diagnóstico genético*. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Drs. José Luis Santos y colaboradores. Modelos de estadística genética en los últimos años permitieron predecir con una alta probabilidad, la localización cromosómica del gen causante de la acromatopsia completa. Además, el análisis e interpretación de estudios epidemiológicos en enfermedades relacionadas con la obesidad y el síndrome plurimetabólico en diferentes tipos de poblaciones tales como las poblaciones aborígenes de Chile, y la epidemiología de la obesidad en adultos mayores. El conocimiento de la frecuencia y los determinantes poblacionales de estas patologías permitirán sentar las bases de estrategias preventivas de salud pública. Colaboradores: Cecilia Rojas, Elena Carrasco y Cecilia Albala.

Universidad de Los Andes

19. *Potencial cardioprotector de espironolactona, un antagonista de la aldosterona*. Dr. Luis Michea y cols. Estudios actuales en pacientes en hemodiálisis crónica en diversos centros de la Región Metropolitana evalúan el potencial efecto beneficioso del tratamiento con espironolactona, antagonista de aldosterona. Tales estudios se basan en investigaciones básico-clínicas de esos investigadores que sugirieron un rol cardioprotector de ese tratamiento en pacientes insuficientes renales crónicos en hemodiálisis. Los pacientes en hemodiálisis en Chile son aproximadamente 10.000, pronosticándose un aumento exponencial de esta población, con un fuerte impacto económico. Esos pacientes presentan un alto riesgo cardiovascular, 30 veces mayor al de la población normal, presentando insuficiencia cardíaca y una mortalidad anual cercana a 12%.

Ciencias Químicas

9

Ligia Gargallo (*Coordinadora*), Alejandro Toro, Eduardo Lissi, Ricardo Schrebler, Patricio Reyes, Carlos Díaz, Cecilia Rojas, Raúl Quijada, Pablo Richter, Angel Leiva, Fernando Mendizábal, Ricardo Tapia, Guillermo González y Juan Manuel Manríquez

Resumen- El Capítulo de Ciencias Químicas incluye un breve análisis de las subáreas de la Química más relevantes en el medio chileno. El análisis comprende en términos generales la evolución de cada subárea en la última década, las características de los investigadores y el estado actual de la subárea en relación al desarrollo de la misma en el mundo. Se indican los centros chilenos en que se realiza la investigación respectiva y las principales líneas de investigación de las subáreas.

Con la información obtenida se efectúa un análisis global de las Ciencias Químicas. El análisis describe las fortalezas, falencias y tendencias en la evolución de cada subárea.

El documento indica los temas que apuntan a elaborar una previsión de futuro de las Ciencias Químicas en Chile. Se enfatizan tres serios problemas relacionados entre sí y que se desprenden del análisis individual de cada subárea: 1) Tamaño de la comunidad científica de químicos; 2) Calidad de la enseñanza de las Ciencias Químicas en la educación escolar, básica, media y superior; 3) Interacción entre el Sector Industrial Químico y el Sector Académico.

1. Química Analítica y Ambiental

Después del II Encuentro Nacional de Química Analítica, realizado en Valparaíso en 1994, se propuso constituir un grupo de interés al interior de la Sociedad Chilena de Química a fin de procurar una organización permanente que permitiera una mejor comunicación y programación de actividades sobre química analítica a nivel nacional. En ese mismo sentido, y considerando que una gran parte de los químicos analíticos estaba dirigiendo sus investigaciones hacia problemáticas relacionadas con el área de la química ambiental, se creó en 1996 la División de Química Analítica y Ambiental en la Sociedad Chilena de Química.

La actividad central que une a los miembros de la División ha sido la realización de los Encuentros Científicos, que tuvieron su origen en el Primer Encuentro Nacional de 1987. Esos eventos han sido organizados cada dos años gracias al entusiasmo y esfuerzo de colegas de diferentes Universidades del país, y a ellos se han invitado destacados conferencistas tanto nacionales como internacionales. En los últimos Encuentros se ha contado con la asistencia de colegas de países iberoamericanos, se ha discutido sobre temáticas de interés para el país y se ha promovido en especial la participación de estudiantes tanto de pre como posgrado, otorgando para ello un creciente número de becas. Con este propósito se ha instituido además, el otorgamiento de premios a los mejores trabajos presentados por alumnos.

Características de los investigadores

La Química Analítica y Ambiental cuenta hoy con aproximadamente 50 investigadores de nivel internacional, lo cual indica que respecto a los directorios de la Academia Chilena de Ciencias de los años 1994 y 1997, este número se ha cuadruplicado y duplicado, respectivamente.

Los investigadores pertenecen a las siguientes instituciones:

41%	Universidad de Chile
21%	Universidad de Concepción
13%	Universidad de Santiago de Chile
4%	P. Universidad Católica de Chile
4%	P. Universidad Católica de Valparaíso
4%	Universidad Austral de Chile
4%	Universidad Católica del Norte
2%	Universidad de Antofagasta
2%	Universidad Federico Santa María
2%	Universidad de Talca
2%	CIMM

El número promedio de publicaciones por investigador es de 2,2 por año, que casi duplica al promedio alcanzado en el período anterior.

El promedio de edad de los investigadores de la sub-área es 52 años y el 16% corresponde a investigadores menores de 40 años. El 38% de los investigadores son mujeres y 62% hombres. El 70% de los investigadores tiene el grado de doctor.

Durante el período, la Química Analítica y Ambiental cuenta con 46 proyectos FONDECYT dónde un investigador aparece como responsable y 44 proyectos como co-investigador. En general, se puede apreciar que los investigadores que han obtenido un mayor número de proyectos, también presentan un mayor número de publicaciones.

Por otra parte, tanto en la Química Analítica como en la Ambiental, la calidad de la investigación ha mejorado sustancialmente con publicaciones en revistas de alto impacto para el área.

Química Analítica y Ambiental en el mundo y en Chile

Una comparación con países tales como Argentina, Brasil, España, Canadá y Estados Unidos, considerando las publicaciones ISI aparecidas en el período 2000-2005 en 12 revistas representativas de química analítica y 10 de química ambiental, y normalizando por el número de habitantes de cada país, indica que Chile presenta una productividad similar a Argentina, duplica a Brasil, es tres veces menor que Estados Unidos y 8 veces menor que España y Canadá. Sin embargo, si consideramos el período de 5 años inmediatamente anterior (1995-1999), se aprecia que el mayor incremento en productividad lo presenta Chile con 110%, seguido de Brasil, Argentina, España, Canadá y Estados Unidos que presentan incrementos de 85, 40, 24, 20 y 9%, respectivamente.

Centros chilenos donde se hace investigación

La investigación en esta sub-área se realiza principalmente en las universidades.

Principales líneas de investigación en las sub-áreas

La sub-área está dividida en aproximadamente 50% de químicos analíticos y 50% de químicos ambientales. El 30, 22 y 6% de los investigadores orienta su línea de investigación en temas relacionados con aguas, suelos y aire, respectivamente. Por su parte, los temas de alimentos y farmacéutico son cubiertos por 14% de los investigadores, en ambos casos. Además, el desarrollo de nuevas metodologías analíticas se constituye en una línea de investigación relevante en la sub-área, con alrededor de 20 investigadores que trabajan directa o indirectamente en este ámbito.

Respecto a las especies de interés, 42% de los investigadores trabaja en temáticas relacionadas con elementos traza, 16% en aniones inorgánicos, 25% en compuestos orgánicos de interés ambiental y 11% en compuestos de interés farmacológico.

Área instrumental

Las principales áreas instrumentales utilizadas por los investigadores de la sub-área para el desarrollo de su línea de investigación son: espectroscopia, cromatografía y electroquímica, con porcentajes del 48, 33 y 17% respectivamente.

2. Química Orgánica

La química orgánica ha experimentado un gran avance en nuestro país en la última década como consecuencia del alto desarrollo alcanzado por grupos de investigación de las universidades: Pontificia Universidad Católica de Chile, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad de Santiago de Chile.

El avance en esta área se puede atribuir a varios factores, entre otros:

- Adquisición de equipos científicos de alto costo de última generación: espectrómetro de RMN, espectrofotómetros IR, microanalizador. La llegada de equipos de RMN de alto campo ha sido muy importante en la generación de mejores resultados y por tanto para la publicación en revistas de mayor impacto.
- Participación más activa de los investigadores en concursos competitivos, tales como: FONDECYT y en Proyectos Internacionales.
- Desarrollo alcanzado por nuestros programas de posgrado y su internacionalización, estimulado por proyectos MECESUP, aumento de becas institucionales (universidades), becas CONICYT y Fundación Andes. También son importantes en este aspecto los convenios de CONICYT que han permitido que los estudiantes realicen estadías en el extranjero: Convenio DAAD/ CONICYT, FULBRIGHT/ CONICYT, ECOS/CONICYT y relaciones internacionales de los grupos de investigación.

Característica de los investigadores.

En esta sub-área el número de investigadores aumentó 46% en relación a los 5 años previos. La productividad promedio es de 2,4 publicaciones por investigador/año. La calidad de la investigación ha mejorado tomando en cuenta que se publica en las revistas de mayor impacto en la especialidad (índice de impacto promedio de 1,4). La mayoría de los grupos del área trabaja en síntesis orgánica, donde la determinación de la estructura de compuestos orgánicos juega un rol fundamental. También es importante mencionar la integración con disciplinas complementarias, como la Química Médica y la Química Ambiental Orgánica donde hay un número creciente de

investigadores que utilizan todas las técnicas orgánicas de separación e identificación de compuestos. No obstante el aumento del número de investigadores en el área de Química Orgánica, el futuro del área no se ve claro ya que 47% tiene una edad superior a 50 años y solo el 10% es menor de 40 años. Es crucial que un mayor número de investigadores jóvenes ingrese a esta sub-área de la Química.

Química Orgánica en el mundo y en Chile

En general, en el mundo, la Química Orgánica centra su interés en el descubrimiento de nuevos productos y su aplicación, nuevas reacciones, desarrollo de estrategias originales y eficientes y su aplicación en la obtención de productos naturales y compuestos relacionados de interés biológico, farmacéutico o agroquímico. Esto ha conducido al desarrollo de estrategias biomiméticas, reacciones en cascada, síntesis en fase sólida, química combinatorial, síntesis asimétrica, utilización de reactivos organometálicos, entre otros.

Se observa una tendencia de la investigación en Química Orgánica hacia la Química Médica. Esta situación, que sigue la tendencia universal, se hace presente también en el medio nacional.

Centros chilenos donde se hace investigación

Los centros chilenos donde se desarrolla principalmente esta investigación son la Pontificia Universidad Católica de Chile, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad de Santiago de Chile. Las principales líneas de investigación están relacionadas con a síntesis orgánica, química ambiental orgánica y química médica. Un aspecto que es preocupante es la falta de investigadores jóvenes. Con muy pocas excepciones la fortaleza de esta sub-área está respaldada por investigadores mayores de 50 años.

3. Química de Materiales

La química de materiales como quehacer es un tipo de conocimiento que se viene desarrollando en forma intuitiva desde los albores de la civilización. Junto con el uso de herramientas surge también la búsqueda de combinaciones de elementos disponibles en la naturaleza, con el fin de cambiar y mejorar sus propiedades intrínsecas para satisfacer necesidades predeterminadas. Como conocimiento sistematizado su desarrollo comienza a mediados del siglo pasado confundiendo con aspectos de la química de sólidos, química de polímeros, química de catalizadores, química de surfactantes, química de semiconductores, entre otras. Entre sus principales líneas de acción considera el diseño de nuevos materiales compuestos o “compósitos” con propiedades que, originándose en la cooperatividad de los componentes, satisfagan aplicaciones preestablecidas. Esas propiedades, que responden a interacciones interfaciales generalmente sutiles, dependen de la relación área superficial/volumen de los materiales. A esto se debe el creciente interés en la nanoquímica y la química supramolecular, que constituyen la frontera del conocimiento en química de materiales. La combinación y compatibilización a nivel molecular que caracteriza a los denominados “nanocompositos” corresponden a una interfase en que se funden la química convencional y la de materiales. Ese hecho ha permitido que gran número grupos de investigación tradicionales hayan derivado o extendido su quehacer a la química de nuevos materiales.

Tabla 9.1. Química de Materiales en Chile. Centros, líneas de investigación, investigadores		
Centros	Líneas de Investigación	Investigadores
Universidad Católica del Norte Facultad de Ciencias Departamento de Química	Química Estado Sólido	J. Llanos, C. Mujica, V. Sánchez.
Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ciencias Básicas y Matemática Instituto de Química	Química y electroquímica de semiconductores	H. Gómez, P. Cury
Universidad Andres Bello, Facultad de Ecología y Recursos Naturales, Departamento de Química	Estructura electrónica de Clusters	R. Arratia
Pontificia Universidad Católica Facultad de Química	Polímeros organometálicos Fisicoquímica de polímeros Polímeros conductores Química computacional Caracterización de nanoestructuras	J.M. Manríquez, I. Chávez L. Gargallo, D. Radic, F. Díaz, María Angélica del Valle, A. Toro
Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Física	Procesos Sol-Gel y materiales mesoestructurados Estructuración de polímeros por catálisis con Metalocenos Polímeros conductores Cristaloquímica, Estructura y propiedades magnéticas	J. Retuert R. Quijada F. Martínez M.T. Garland
Universidad de Chile Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas	Cristales líquidos Magnetoquímica Química macromolecular	E. Soto E. Spodine, A.M. Atria, V. Calvo. M Yazdani
Universidad de Chile Facultad de Ciencias	Química supramolecular Polímeros organometálicos Compuestos de intercalación y nanoestructuras Química teórica de polímeros y semiconductores inorgánicos Química teórica fases fuertemente condensadas Espectroscopia de Superficies	N. Yutronic, P. Jara C. Díaz G. González, G. Riveros F. Mendizábal R. Contreras, P. Fuentealba M. Campos
Universidad de Santiago Facultad de Química y Biología Departamento de Ciencias del Ambiente Departamento Química de los Materiales	Catálisis heterogénea Polímeros conductores Foto-Electrocatalisis Electroquímica. Materiales para baterías. Electroquímica. Electroodos modificados	F.J. Gil M.J. Aguirre, M. Isaac UJ.L. Gautier J. Zagal
Universidad de Concepción Facultad de Química Departamento Polímeros	Coloides y nanopartículas metálicas Polímeros quelantes y resinas	G. Cárdenas B. Rivas, A. Pooley

La química de materiales en su forma tradicional es un área de la química cuyo cultivo existe en el país desde hace tiempo. En el marco de institutos de ensayo de materiales o en laboratorios de analítica se desarrollan trabajos relacionados por ejemplo con química de cementos, estudios de aleaciones, desarrollo de materiales cerámicos entre otros. En la última década se ha observado, sin

embargo, un marcado interés de numerosos grupos de investigación activos en áreas tradicionales, como la fisicoquímica, la química orgánica y la química inorgánica, por investigaciones catalogables como química moderna de materiales. En la Tabla 9.1 se indican centros y grupos de investigación nacionales representativos del quehacer actual en química de materiales.

Como se puede apreciar en las publicaciones generales de los grupos de investigación señalados, existen interacciones sólidas con investigadores afines en países extranjeros de mayor desarrollo que el nuestro. Esa interacción ha sido útil e indispensable dado el vertiginoso avance del conocimiento en el área así como también la necesidad de tener acceso a equipos de última generación no existentes en el país.

El desarrollo logrado, aún cuando incipiente, muestra una tendencia interesante, lo que se debe no sólo al esfuerzo individual de los investigadores sino que también a valiosas contribuciones institucionales que han fomentado el desarrollo del área a través de numerosas iniciativas.

El desarrollo de la química de materiales es sólo reciente. La inquietud aparece a mediados de los 90 cuando algunos laboratorios de investigación dedicados a áreas tradicionales de la química comienzan a implementar acciones tendientes a sensibilizar el medio sobre la importancia de la química de materiales. Entre tales iniciativas se pueden mencionar, a manera de ejemplo, las siguientes:

- El Taller internacional “Chemistry of New Materials of Technological Interest” organizado en forma conjunta por la Comisión Nacional de Investigación y Tecnológica de Chile y la Comisión de las Comunidades Europeas, realizado en Pucón en marzo de 1992 y coordinado por el Prof. Enrique Román.
- La “Tercera Escuela Latinoamericana de Química Inorgánica. Química de Materiales” organizada por la Universidad de Chile y el Centro de Perfeccionamiento del Magisterio realizada en Lo Barnechea, Santiago en Octubre de 1993, coordinada por el Prof. Guillermo González.
- El “II Simposio Chileno de Litio” organizado por la Comisión Chilena de Energía Nuclear en Santiago en mayo de 1994.
- El “Grupo Nuevos Materiales” creado bajo el amparo del Departamento Técnico de investigación de la Universidad de Chile en 1995.
- El Taller Chileno-Europeo “Polymers for Information Technology” organizado por el Departamento de Química de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, el Grupo de Materiales de la Dirección Técnica de Investigación de la Universidad de Chile, y el Trinity College de Dublín y auspiciado por la Comunidad Económica Europea, la Fundación Andes y la Comisión Nacional Científica y Tecnológica de Chile, que se realizó en Punta de Tralca en marzo de 1996, coordinado por los Profs. Francisco Martínez y Werner Blau.
- El “Programa de Desarrollo Nuevos Materiales” creado por el Departamento Técnico de Investigación de la Universidad de Chile en 1996.
- El Taller para una Colaboración Pan-Americana Avanzada “Frontier in Materials Research, Technology and Education” organizado por la National Science Foundation de los Estados Unidos, el Consejo Nacional de Desenvolvimiento Científico y Tecnológico y la Financiadora de Estudios y Proyectos, ambas de Brasil, la Comisión Nacional Científica y Tecnológica de Argentina y CONICYT Chile, realizado en Río de Janeiro en junio de 1998 donde 5 químicos formaron parte importante de la delegación chilena.

- La creación del “Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencias de Materiales” proyecto del FONDAP de CONICYT en el año 2000.

El creciente interés de la comunidad en el área de Materiales se ha manifestado, entre otros, en la existencia de una sección especial para Materiales en eventos organizados por la Sociedad Chilena de Química: XX Jornadas, Punta de Tralca 1993; XXV Jornadas Valdivia 2004; VII Encuentro de Química Inorgánica Punta de Tralca 1999, y el Simposio de Materiales programado para las XXVII Jornadas a realizarse en Concepción en enero de 2006.

Durante el tiempo señalado ha crecido el número de proyectos financiados por FONDECYT, los que han permitido solventar las líneas de investigación señaladas en la Tabla 9.1.

En las investigaciones realizadas en esta área ha sido fundamental el equipamiento existente en el país. Entre los aportes importantes se mencionan, además de los que han ido adquiriendo algunas universidades, las implementaciones realizadas con fondos de Naciones Unidas, PNUD, Fundación Andes, CONICYT y, más recientemente, el Ministerio de Educación MECESUP. El equipamiento es sin embargo demasiado antiguo para los requerimientos del área en cuanto a mantener su competitividad internacional. Para un buen desarrollo es indispensable la adquisición de nuevos equipos, además de un mejoramiento y puesta al día de muchos de los ya existentes.

4. Química de Productos Naturales

Un pionero en la Química de Productos Naturales en Chile fue el Dr. Herbert Appel, formado en la escuela inglesa de Robinson y Haworth, quien llegó a la Universidad Técnica Federico Santa María en la década de 1930 y orientó sus investigaciones al estudio químico de la flora de Chile. Aisló una serie de sesquiterpenos de *Drimys winterii* (canelo) y estudió la biosíntesis y caracterización química de alcaloides monoterpénicos de *Skytanthus acutus* Meyen (cuerno de cabra). Las contribuciones del Dr. Appel lo llevaron a recibir el Premio Nacional de Ciencias en 1970. En 1948 la Pontificia Universidad Católica de Chile contrató al Dr. Ennio Bianchi, científico italiano que cimentó las bases de la Química Orgánica moderna en nuestro país. Su grupo de investigación inició estudios en la familia Solanacea desarrollando trabajos pioneros en la elucidación espectroscópica de la estructura de glicoalcaloides. El Dr. Juan Garbarino, colaborador del Prof. Bianchi desde 1958, desarrolló una dilatada carrera académica en el extranjero y asumió el cargo dejado por el Dr. Appel en Valparaíso en 1981. Orientó sus trabajos hacia la determinación de estructuras de líquenes, con la Profesora W. Quilhot de la Universidad de Valparaíso, y obtuvo el segundo Premio Nacional de Ciencias otorgado a un químico en Productos Naturales.

Por otra parte, el Prof. Mario Silva de la Universidad de Concepción inició en 1958 el estudio químico de saponinas de angiospermas chilenas. Su grupo ha realizado una extensa labor en el estudio químico y biológico de taxas endémicos de Chile continental e insular destacando sus investigaciones en diterpenos aislados de Podocarpaceas. En esa misma época el Prof. Osvaldo Cori en la Universidad de Chile desarrollaba estudios sobre la biosíntesis de monoterpenos en plantas demostrando la existencia de varios intermediarios claves.

La situación política argentina a fines de 1967 provocó la emigración de científicos a nuestro país. Entre ellos el Dr. Bruce Cassels, quien se incorporó a la Universidad Técnica del Estado e inició sus investigaciones en alcaloides de *Sophora tetraptera* con uno de sus primeros colaboradores, el Dr. Alejandro Urzúa. Este último, es hoy activo investigador en Química Ecológica. Asimismo, en la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Chile, el Dr. Eduardo Sánchez iniciaba su línea de investigación en Química de alcaloides bencilisoquinolínicos, junto al Prof. René Torres, uno de los primeros becarios de CONICYT, quien continuó dicha línea

de investigación en la actual Universidad de Santiago de Chile, orientada hoy al estudio de la capacidad antioxidante de exudados resinosos y los diversos modelos de protección que ellos pueden ofrecer. En esa misma época y en la misma Facultad, la Prof. Rosita Negrete, incursionaba en estudios de Farmacognosia, que hoy se han transformado en una sólida línea de aplicaciones farmacológicas de extractos y productos puros de plantas, con énfasis en los procesos asociados a la inflamación, con los aportes de las Dras. Nadine Backhouse y Carla Delporte.

En 1970 se incorpora a la Universidad de Chile el Dr. Mariano Castillo quien se había graduado en Canadá y especializado en la biosíntesis y química de alcaloides. Desarrolló en la Facultad de Ciencias una activa línea de investigación en Lycopodiaceas, Compuestas y Solanáceas. Formó un número importante de investigadores que han continuado su escuela en la Universidad de Chile entre los que se cuentan los Profesores F. Faini, C. Labbé, P. Rivera, O. Muñoz, J. Roviroso y A. San Martín, estos últimos, investigadores en el campo de Productos Naturales marinos.

En el año 1972 llega a la actual USACH el Dr. Alberto Zanlungo, quien inició la línea de Química de Hidratos de Carbonos, junto a la Dra. Betty Matsuhira. La incorporación de otros científicos graduados en universidades extranjeras a la Pontificia Universidad Católica de Chile, como los Profs. Dr. Manuel Cortés y Jorge Naranjo y a la Universidad Austral como la Prof. Juana Núñez, contribuyeron al despegue definitivo de la investigación en Química de Productos Naturales, a mediados de la década de 1970.

Alcanzado ese asentamiento, se crearon grupos activos de investigación en regiones: El grupo de la Universidad de Antofagasta, con los Drs. Glauco Morales y Alberto Loyola, con contribuciones novedosas en Química Biología de terpenoides de Apiáceas. En la Universidad de Talca, los Drs. Guillermo Schmeda y Luis Astudillo han desarrollado líneas en domesticación y cultivo de tejidos de plantas de aplicación farmacológica, estudios de actividades farmacológicas y síntesis de productos naturales. La Universidad de Magallanes con los Drs. Víctor Fajardo y Pedro Cuadra, junto con el Prof. Luis Villarroel de la USACH, estudian propiedades insecticidas y alelopáticas de plantas de la XII Región, como también la protección frente a la luz UV por metabolitos secundarios.

Los grupos de investigación formados en el país desarrollaron, por décadas, investigaciones en la evaluación etnobotánica de taxas endémicos y en el aislamiento e identificación de los metabolitos secundarios asociados a ellos. Algunas de esas investigaciones se han orientado hacia nuevas áreas como los métodos biorracionales de control de plagas, nuevas metodologías de síntesis orgánica basadas en estructuras derivadas de plantas y la Química Farmacológica. En este último campo, el grupo del Dr. Bruce Cassels en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile ha hecho numerosas contribuciones en la síntesis de nuevos compuestos con actividad farmacológica así como en el modelamiento molecular de su interacción con receptores.

Características de los investigadores

La mayor parte de los químicos de productos naturales que desarrollan actualmente líneas de investigación en grupos tradicionalmente posicionados iniciaron su investigación hace 30-40 años. Preocupa la falta de recambio ya que no se vislumbra la irrupción de científicos jóvenes que continúen este trabajo con nuevas propuestas. Además se observa la lenta desaparición de equipos de trabajaban en esta área y que fueron fundamentales para el desarrollo de esta disciplina.

Productos Naturales en el mundo y en Chile

Dentro de la evolución natural que ha tenido la Química de Productos Naturales Orgánicos (PNO) se encuentra el acercamiento a la biotecnología y la incorporación de enfoques de genética molecular, además del enfoque clásico de separación e identificación de estructuras. Este es el objetivo actual fundamental de los laboratorios de PNO europeos. Por ejemplo el aislamiento de los genes que codifican para las enzimas y proteínas involucradas en la formación de alcaloides y poliquétidos, ha permitido aproximarse al potencial biotecnológico de estas estructuras. Muchos alcaloides, producidos por alrededor del 20% de las plantas fanerógamas, son farmacológicamente activos. Se acumulan bajo un modelo definido y casi exclusivo en las plantas y aunque el rol no es claro, se utilizan con fines farmacológicos. Por otra parte se ha encontrado que las sintasas de poliquétidos, son codificadas por una familia de multigenes que tienen como prototipo la chalcona sintasa. Los poliquétidos, presentes en plantas medicinales son de uso frecuente en la medicina tradicional tropical y también en el tratamiento de afecciones parasitarias.

Los metabolitos secundarios de plantas, microbiales y de hongos, forman un inmenso reservorio de amplia diversidad química. Un objetivo de los químicos de productos naturales ha sido el aislamiento, caracterización y la modificación de tales compuestos mas bien con fines académicos. Hoy día el interés de su estudio se relaciona con el esclarecimiento de su función para potenciales aplicaciones. Estas incluyen el uso de metabolitos como drogas, productos cosméticos y la biotransformación de sus estructuras.

En Chile los químicos de productos naturales se han mantenido básicamente apegados a la resolución de estructuras y la búsqueda de nuevas oportunidades ha sido sólo ocasional. La utilización de cultivos de tejidos como fuentes renovables de productos de especies poco abundantes o amenazadas, la síntesis de nuevos esqueletos naturales, la modificación hemisintética de productos naturales abundantes con pocas y muy notables excepciones, son escasas. Se hace urgente aumentar la interacción de la química de productos naturales con la biología. Si bien es cierto que ha existido un esfuerzo no despreciable dirigido hacia la validación de propiedades biológicas de metabolitos secundarios, tales estudios se han dirigido hacia la determinación de toxicidades inespecíficas y actividades antimicrobianas que no dan información de mucho interés. Investigaciones dirigidas a identificar actividades antioxidantes, antipiréticas o antiinflamatorias tampoco han ahondado en los mecanismos involucrados lo que resta atractivo a algunos intentos de validación de usos tradicionales de plantas medicinales. El estudio del rol ecológico de los metabolitos secundarios ha sido abordado sólo parcialmente y por pocos grupos de investigación. Se espera que una nueva generación de científicos incorpore nuevas ideas a la química de Productos Naturales en Chile para la recuperación de esta área de gran potencialidad debido al alto grado de endemismo que presenta la flora chilena.

Centros chilenos donde se hace investigación en Química de productos naturales

- Universidad de Chile, Facultad de Ciencias (7 investigadores) y Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas (3 investigadores)
- Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas (4 investigadores)
- PUC, Facultad de Química (1 investigador)
- Universidad Católica de Valparaíso, Instituto de Química (1 investigador)
- Universidad de la Frontera, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración (1 investigador)
- Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Química (6 investigadores)

- Universidad de Talca, Instituto de Química de Recursos Naturales (4 investigadores)
- Universidad de Valparaíso, Fac. de Ciencias, Fac. de Medicina (2 investigadores)
- Universidad Técnica Federico Santa María, Fac. de Química (3 investigadores)
- Universidad de Antofagasta, Fac. de Ciencias Básicas (3 investigadores)

Infraestructura

Se dispone de los siguientes equipos en infraestructura en la Universidad de Chile, USACH, Pontificia Universidad Católica, Universidad de Concepción, Universidad de Antofagasta, Universidad de la Frontera: HPLC, cromatógrafos de gases (GC), IR, FT-IR, espectrofómetros UV, GC-MS (espectrómetro de masas acoplado a cromatógrafo de gases), RMN, RMN alta resolución, equipos de cultivo de microorganismos, infraestructura para bioensayos.

Principales líneas de investigación.

Principales líneas de investigación por universidades:

Universidad de Chile

A. San Martín y J. Roviroso: Estudio químico de algas e invertebrados marinos chilenos en búsqueda de monoterpenos, sesquiterpenos, polipropionatos y esteroides. Estudio químico y biológico de metabolitos de bacterias y hongos marinos

B. Cassels: Síntesis y modificación química de alcaloides isoquinolínicos (en especial aporfinas) y quinolicidínicos para obtener productos con mayor potencia farmacológica y más selectivos. Ensayos de unión a receptores nicotínicos de acetilcolina neuronales. Propiedades antioxidantes, citoprotectoras de compuestos aporfinicos.

M. Cecilia Rojas Garrido: Bioquímica de reguladores del crecimiento vegetal. Metabolismo de fitohormonas diterpénicas en hongos. Mecanismos oxidativos en el metabolismo secundario.

C. Labbé: Búsqueda extractos de plantas nativas con actividad fungicida y antialimentaria susceptibles de ser utilizados como pesticidas en el control de plagas.

F. Faini: Estudio de la composición química y actividad biológica de especies de la familia Asterácea (compuestas) con énfasis en los géneros *Baccharis* y *Haplopappus*. Aislamiento e identificación de terpenos, flavonoides, cumarinas. Capacidad antioxidante y actividad hepatoprotectora.

O. Muñoz: Estructura y química de compuestos bioactivos de especies de plantas endémicas de Chile de los géneros *Schizanthus*, *Kagenekia*, *Maytenus* y *Convolvulus*.

C. Del Porte y N. Backhouse: Sustancias responsables de la acción farmacológica de especies vegetales autóctonas.

R. Negrete: Metabolitos secundarios de plantas autóctonas con actividad farmacológica, como *Ugni molinae* de la familia de las Mirtaceas. Bioensayos para investigar actividades antiinflamatoria, analgésica y antibacteriana.

Universidad de Santiago

Miguel René Torres Gaona, Brenda Modak: Determinación estructural y capacidad antioxidante de metabolitos secundarios como cumarinas, lignanos y flavonoides en especies de zonas áridas de los géneros *Heliotropium*, *Larrea* y *Haplopappus*, como modelos de protección de la

superficie foliar. Hemi-síntesis con los metabolitos principales de 1 género *Heliotropium* para el estudio de su capacidad antiviral. Capacidad antioxidante de alcaloides del género *Berberis*.

Alejandro Urzúa: Relaciones químicas entre organismos vivos. Productos naturales de plantas que participan en la interacción con insectos y microorganismos.

Betty Matsuhira: Aislamiento, caracterización y modificación química de polisacáridos de algas.

Luis Villarroel: Búsqueda de insecticidas o fungicidas de origen natural en plantas del género *Senecio* de la Patagonia (IX Región) y Región Metropolitana. Estudios *in vitro* de especies endémicas en vías de extinción.

Leonora Mendoza: Química de recursos naturales. Actividades y mecanismos antimicrobianos de productos naturales.

Pontificia Universidad Católica de Chile

Manuel Jesús Cortés Marescotti: Síntesis parcial de sesquiterpenos y de productos naturales

Universidad de Concepción

Mario Silva O, José Becerra, Maritza Honeisen Frost, Magalys Bittner Berner: Biotransformación de esteroides y hemisíntesis de compuestos bioactivos. Aplicación en la industria farmacéutica. Investigación de compuestos bioactivos de plantas chilenas de la familia Asteracea. Compuestos antiulcerosos de la vid.

Universidad de Talca

Guillermo Schmeda Hirschmann, Iván Razmilic, Jaime Rodríguez Carvajal: Química y actividad biológica de plantas medicinales y alimenticias. Aislamiento, determinación estructural, actividad biológica y mecanismo de acción de productos naturales y derivados de semisíntesis. Toxicidad *in vivo* e *in vitro*.

Luis Astudillo: Transformaciones sintéticas de diterpenos con el fin de potenciar sus actividades biológicas. Síntesis de compuestos heterocíclicos del tipo tatrahidro-quinilinas con el objeto de encontrar cabezas de series de compuestos con actividad antifúngica, antibacteriana, antiparasitaria, etc.

Universidad de Antofagasta

Glauco Morales: Medición de las actividades biológicas de los extractos y productos bioelaborados por plantas de reconocido prestigio medicinal de la zona norte de Chile, actividades antimicrobiales, antifúngicas, antioxidantes, hepatoprotectoras, anti-hipertensivas, antiinflamatorias, analgésicas, hipoglicemiantes, etc.

Jorge Bórquez Ramírez, Luis Alberto Loyola Morales: Química y actividad biológica de diterpenoides de Apiacea de la región altoandina de Chile.

Universidad de Valparaíso

Ernesto Bernardo Fernández: Fotoquímica de productos naturales

Wanda Quilhot: Metabolitos secundarios de líquenes. Química y ecofisiología.

Universidad Federico Santa María

Juan Garbarino, M. Cristina Chamy, Marisa Piovano: Aislamiento de terpenoides y derivados de la familia Scrophulariaceae y de Basidiomycos con fines químicos, taxonómicos y biológicos (fungicidas, insecticidas y fármacos). Química y biología de compuestos antitumorales de *Litsea caustica* y de *Psoralea glandulosa*.

Universidad Católica de Valparaíso

Aurora Molinari: Síntesis de compuestos heterocíclicos con propiedades quelantes.

Universidad de la Frontera, Temuco

Andrés Quiroz Cortez: Identificación de compuestos con potencial aplicación en el control de plagas (feromonas y alomonas). Interacción trébol rosado-barrenador de raíces, interacción especies de *Nothofagus*-Sanjuán Verde e interacción salmónidos-parásito Copépodo.

Universidad de Los Lagos

Emir Valencia Aguilar: Búsqueda de alcaloides, flavonoides, triterpenos y antraquinonas de las especies *Senna*, *Cassia*, *Stemmadenia*, *Rauwolfia* y *Desfontainia*. Transformaciones químicas y actividad antibacteriana, capacidad antioxidante.

5. Química Inorgánica

Los inicios de la actividad en esta área de la Química se remontan a los años 1963 con los profesores Walter Zamudio, Carlos Andrade y Guillermo Contreras, quienes luego de realizar estudios de postgrado en Universidad de Cambridge, Universidad de Chicago y Universidad de Windsor, respectivamente, regresan al país para iniciar sus actividades de investigación y docencia. Sin embargo, por esos años también ya realizaban docencia de cursos de Química Inorgánica el profesor Sergio Bunel y la profesora Carmen Ibarra. En los años siguientes ocurre una situación similar con el regreso de otros profesores de Química Inorgánica los cuales crean laboratorios en sus respectivas líneas de investigación y comienzan la docencia en otros centros del país. En el año 1986 se funda la División de Química Inorgánica quedando como presidente la Dra. Evgenia Spodine y secretario el Prof. Juan Costamagna. Entre las actividades principales de esta división, están los encuentros de Química Inorgánica los que se han venido desarrollando ininterrumpidamente durante 20 años.

Características de los Investigadores

Formación:

Posgrado (Doctorado) 95%; Pregrado: 5%

Sexo

Masculino: 63%; Femenino: 37%

Química Inorgánica en el mundo y en Chile

La División de Química Inorgánica ha organizado en forma ininterrumpida en los pasados 16 años una serie de eventos anexos a los encuentros bianuales. En esos eventos se han estrechado lazos y vínculos de cooperación entre diversos laboratorios nacionales e internacionales a través de los invitados extranjeros. Con ello se ha contribuido a mejorar e incentivar la investigación en este campo.

- I Encuentro de Química Inorgánica. Metales de Transición: Coordinación y Activación Molecular, 7-11 Enero 1985, Santiago (PUC-USACH). Organizadores: Enrique Román y Juan Costamagna.
- II Encuentro, 1-5 Dic. 1986, Santiago (UCH-USACH). Organizadores: Evgenia Spodine y Juan Costamagna.
- Curso Internacional de Molibdeno y elementos Representativos. Química y Aplicaciones, 8-12 Dic. 1986, Santiago (UCH-USACH). Organizadores: Guillermo González, Juan Costamagna y Evgenia Spodine.
- Workshop en Química Inorgánica, Enero 1988, La Serena (UCH). Organizadores: Evgenia Spodine y Guillermo González.
- III Encuentro, 3-6 Enero, 1989, Santiago (UCH-USACH). Organizadores: Evgenia Spodine y Juan Costamagna.
- IV Encuentro, 7-10 Enero 1991, Valparaíso (UCV). Organizadores: David Carrillo y Hugo Klahn.
- V Encuentro, 4-7 Enero 1993, Concepción (U. Concepción). Organizadores: Galo Cárdenas, Gloria Seguel y Hernán Carbacho.
- 3ra Escuela Latinoamericana de Qca. Inorgánica. Química de Materiales, 25-29 Octubre 1993, Santiago (UCH). Organizadores: Guillermo González y Nicolás Yutronic.
- VI Encuentro, 24-27 Octubre 1994, Antofagasta (U. Católica del Norte). Organizadores: Alejandro Llanos y Carlos Mujica.
- XXXII International Conference on Coordination Chemistry, 24-29 Agosto 1997, Santiago, Chile (USACH-UCH). Organizadores: Juan Costamagna y Evgenia Spodine.
- VII Encuentro, 7-9 Enero 1999, Punta de Tralca (UCH). Organizadores: Guillermo González y Nicolás Yutronic.
- VIII Encuentro, 10-12 Enero 2001, Valdivia (U. Austral) Organizadores: César López y Galo Cárdenas.
- IX Encuentro, 31 de julio-2 de agosto, 2002, Santiago (PUC) Organizadores: Bárbara Loeb.
- X Encuentro, 5-7 de Enero 2005, Santiago (UCH-USACH) Organizadores: Pedro Aguirre y Sergio Moya.

Por cierto, el mayor desafío de la División fue la organización de International Conference on Coordination Chemistry ICCC, al cual asistieron 500 investigadores con una participación de 30% de América del Norte, 30% de Europa, 25% de Chile y el resto de países asiáticos como Japón, China y Corea. Las conferencias de los 5 plenarios invitados fueron publicadas por la IUPAC. También hubo 43 conferencistas invitados y gran número de paneles. Tuvo el mérito de ser el primer congreso de la ICCC que apareció con página Web.

Esta División ha incorporado a estudiantes graduados con los mismos derechos de un socio activo, de manera de ir motivando a los futuros investigadores a mejorar cada vez más la calidad de estos eventos. Creemos que el futuro de la Química Inorgánica vinculará tanto los aspectos teóricos como las aplicaciones de nuevos materiales para el desarrollo de nuestro país. De todo éso se deduce:

1. Las áreas principales de investigación actual son la Química de Materiales y la Química Organometálica.

2. La línea de investigación clásica que existía hace 10 años atrás como línea importante, la química de coordinación casi desaparece como tal transformándose en un aumento significativo en el área de materiales y en el surgimiento de la electroquímica y catálisis.

6. Química Biológica

La química biológica como sub-área es muy difícil de definir ya que cubre una zona difusa que linda (o se confunde) con una serie de disciplinas, tales como farmacología, toxicología, fotobiología, química médica, biofísica, bioquímica, productos naturales y química ecológica.

En general la sub-área abarca a todos aquellos que, partiendo de una formación básica en química, han aplicado sus métodos experimentales y esquemas “mentales” a problemas asociados a la biología. En Chile, esta vertiente ha sido tradicionalmente fuerte. En un principio comenzó quizás desde el otro lado, con biólogos o bioquímicos que incorporaron a sus estudios métodos propios de los químicos (Osvaldo Cori, Tito Ureta, Mario Sapag, Jorge Babul, etc). En la actualidad, se encuentran también investigadores que, formados en química dura, están abocados a la solución de problemas conectados con la biología (B. Cassels, M. Suwalsky, P. Sotomayor, A. Urzúa)

Entre los investigadores que, al menos parcialmente, pueden ser asimilados a esta área se puede mencionar a:

- A. Urzúa (USACH)
- C. P. Sotomayor (UCV)
- M Suwalsky (UC)
- E. Silva (PUC)
- A.M.Edwards (PUC)
- E. Fernández (UV)
- J. Baeza (UC)
- S. Sepúlveda (USACH)
- B. Cassels (UCh)
- H. Niemeyer (UCh)
- E. Lissi (USACH)
- J. Rodríguez (UC)

Se deja en claro que los investigadores que se señalan están incorporados a otras sub-áreas de las Ciencias Químicas.

7. Química de Polímeros

En 1991, en Catillo, con motivo de las XIX Jornadas Chilenas de Química, se llevó a cabo la reunión de colegas del área de Macromoléculas y Polímeros donde se acordó organizar la División de Macromoléculas de la Sociedad Chilena de Química. En la ocasión se eligió a Galo Cárdenas Triviño (Universidad de Concepción) y Fernando R. Díaz Alzamora (Pontificia Universidad Católica de Chile) para organizar la División y generar su primera directiva. Gracias a las gestiones de los Drs. Mario Suwalsky y Deodato Radic, en sus respectivos períodos de presidencia de la División, se consiguió la incorporación de la División de Macromoléculas de la Sociedad Chilena de Química, como Miembro de la Pacific Polymer Federation, a partir de 1996.

En un primer análisis se observa un crecimiento del orden de 50% de esta sub-área. El número de publicaciones por año y por investigadores es aproximadamente de 2,3. Se observa la misma tendencia de Química Física en que los investigadores orientan sus estudios hacia Química

de Materiales. Es interesante destacar la incorporación de investigadores jóvenes. En esta sub-área hay 27% aproximadamente de investigadores menores de 40 años.

Características de los Investigadores

Los investigadores de la sub-área Química de Polímeros corresponden a aproximadamente 11% del total en Química. El promedio de edad bordea los 56 años. En cuanto al género se observa una minoría femenina (aproximadamente 31%). Se observa una importante incorporación de científicos jóvenes.

Química de Polímeros en el mundo y en Chile

La sub-área de polímeros, dentro de la actividad científica en el área Química, es muy importante, tanto por el número de investigadores como por la actividad y productividad (promedio de publicaciones por investigador en los últimos 5 años: 16,2). Destaca la participación en la Sociedad Chilena de Química, División de Macromoléculas y la realización periódica de congresos y simposios nacionales (Simposio Chileno de Química y Físico-Química de Polímeros CHIPOL, Coloquio de Macromoléculas). En el mundo, la actividad en la sub-área de polímeros es también considerable, aunque se observa una tendencia a enmarcarse en el área de Química de Materiales.

Centros donde se hace investigación

Según se desprende del directorio de investigadores en ciencia, los lugares donde se hace investigación en la sub-área de polímeros son las universidades tradicionales (incluidas en el Consejo de Rectores)

Infraestructura

Entre los laboratorios en los cuales se realiza investigación en el área de polímeros, existe gran diferencia respecto a infraestructura, principalmente en el ámbito de equipamiento; esto se puede atribuir a la diferencia en las temáticas de investigación. En áreas básicas como lo es la síntesis, el equipamiento no es considerable, mientras que en áreas como química-física y aplicaciones de polímeros, los laboratorios vinculados presentan instrumentación de punta.

Cooperación internacional

En el sub-área de polímeros la cooperación internacional de los investigadores es importante, tanto en cantidad como en calidad. La cooperación internacional principalmente se desarrolla con la comunidad europea.

Principales líneas de Investigación

Síntesis y caracterización.
Química-Física de Macromoléculas
Mezclas y modificaciones de polímeros
Procesos de polimerización
Aplicaciones de polímeros
Polímeros en el ámbito de los materiales

Áreas deficitarias

Debido al actual interés en el área de los materiales y la nanotecnología, se cree necesario un importante incremento en la investigación aplicada en el área de polímeros.

Núcleos de Excelencia

No existen núcleos formales en la sub-área de polímeros, pero existen grupos de investigación que destacan por su importante actividad y productividad científica.

8. Química Física

La historia del área de la Química denominada Química Física o Físico Química, se remonta a los inicios de la práctica independiente de esta ciencia en Chile. La mayor parte de los departamentos, escuelas o institutos surgen de las antiguas escuelas de ingeniería de las respectivas universidades. Así, parece natural que las primeras áreas de la Físico Química en desarrollarse fueran la Termodinámica y la Cinética. Posteriormente, con el desarrollo de la instrumentación, aparecen las áreas de espectroscopia y química cuántica. En fechas más recientes surge la electroquímica como un área independiente de la termodinámica, como también áreas fronteras como fotoquímica, físico-química de polímeros y de macromoléculas. En 1983, la Sociedad Chilena de Química edita un volumen “*Programas de postgrado en Química de las Universidades Chilenas*”.

Tabla 9.2. Cuadro de investigadores en universidades chilenas		
Universidad	Área de Físico Química	Investigadores
PUC	• Cinética y Mecanismos de Reacción.	3
	• Físico Química de Macromoléculas	2
	• Electroquímica	4
	• Estructura Electrónica y Molecular	1
PUCV	• Electroquímica	4
	• Fotofísica y Espectroscopia Molecular	2
UCO	• Catálisis Heterogénea	5
	• Termodinámica	2
	• Estructura de Macromoléculas biológicas	3
UCH FCB y FAR FCF y Mat	• Físico Química de Superficies	1
	• Espectroscopia Molecular	3
	• Termodinámica y Electroquímica, RMN	3
	• Química Cuántica	1
	• Cinética y Fotoquímica	2
	• Bioelectroquímica	4
	• Estructura Electrónica Molecular	2
	• Cinética Homogénea	1
	• Físico Química de Superficies	1
	• Termodinámica	1
USACH	• Cinética Homogénea y Heterogénea	7
	• Cinética y Fotoquímica	7
	• Electrocatalisis	2
	• Físico Química Orgánica	1
UTFSM	• Termodinámica	1

La Tabla 9.2 muestra los cuadros de académicos de universidades que cursaron un programa de posgrado. Algunos de esos grupos de investigación se han consolidado como veremos más adelante, otros se han potenciado realizando alianzas estratégicas con otros grupos de investigación de química.

La actividad central que une a los miembros del área de Físico Química, han sido las Jornadas de la Sociedad Chilenas de Química, que periódicamente se realizan cada dos años. Asimismo, los diferentes grupos de investigación asisten frecuentemente a congresos internacionales en sus respectivas especialidades.

Característica de los investigadores

Un aspecto que merece ser destacado, consiste en el hecho que muchos investigadores de todos los tópicos considerados en Química Física están orientando sus investigaciones hacia Química de Materiales. Esto se observa de la lectura de sus proyectos y de sus líneas de Investigación.

El área de físico química cuenta con cerca de 60 investigadores de nivel internacional. Esto indica que el número de investigadores activos es ligeramente menor que el observado (62) en el directorio de la Academia Chilena de Ciencias de 1997.

Los investigadores pertenecen a las siguientes instituciones

36,7%	Universidad de Chile (22 investigadores)
13,3%	Universidad de Concepción (8)
13,3%	Universidad de Santiago de Chile (8)
11,7%	P. Universidad Católica de Chile (7)
16,7%	P. Universidad Católica de Valparaíso (10)
1,7%	Universidad Católica del Norte (1)
1,7%	Universidad Federico Santa María (1)
5,0%	Universidad Andrés Bello (3)

En esta área, el promedio de publicaciones por investigador fue de 2,6 por año en el período 1995-1999 y este índice aumenta a 3,8 por año para el período 200-2005.

El promedio de edad de los investigadores de la sub-área es 52 años y 21% son investigadores menores de 40 años. El 24% de los investigadores corresponden a mujeres y 76% a hombres. Todos los investigadores tiene el grado de doctor.

Durante el período, el área de Físico Química obtuvo 65 proyectos FONDECYT donde un investigador aparece como responsable y 75 proyectos como co-investigador. Por otra parte la calidad de la investigación ha mejorado sustancialmente al aparecer, en el último período, publicaciones en revistas de alto impacto para el área. El índice de impacto promedio de la sub-área ha aumentado más de 3 veces en el período 2000-2005 respecto de 1995-1999.

Química Física en el mundo y en Chile

Una comparación con países como Argentina, Brasil, España, Canadá y Estados Unidos, que considera las publicaciones ISI aparecidas en el período 2000-2005 en revistas representativas de la sub-área de Físicoquímica, y normalizando por el número de habitantes, indica que Chile presenta una productividad similar a Argentina, duplica a Brasil, es tres veces menor que Estados Unidos y

seis veces menor que España y Canadá. Sin embargo, si consideramos el período de 5 años anterior (1995-1999), se aprecia que el mayor incremento en productividad lo presenta Chile con 110%, seguido de Brasil, Argentina, España, Canadá y Estados Unidos que presentan un aumento de 85, 40, 24, 20 y 9%, respectivamente. Un hecho importante es que la mayor parte de los grupos de investigación en esta sub-área, mantienen contacto permanente y fructífero con un gran número de centros de investigación en países como Estados Unidos, Francia, Alemania, Inglaterra, Japón, Italia y España. Con todos ellos hay intercambio de investigadores y de estudiantes de posgrado. Además existen colaboraciones con centros de investigación de Argentina, Brasil y Uruguay.

Centros donde se hace Investigación

La investigación en esta sub-área se realiza principalmente en las universidades, como indica la tabla de más arriba.

Infraestructura

El equipamiento en el sub-área de físico química es deficitaria y se ha logrado de preferencia a través de proyectos FONDECYT, MECESUP, FONDEF, entre otras fuentes. El mayor logro ha sido el adquirir un equipamiento básico que permite un desarrollo sostenido. Sin embargo, hay un déficit en equipamiento mayor, de manera de ser competitivo con los países de mayor desarrollo y de esta manera, alcanzar los índices de productividad académica, medido en término de Publicaciones/Investigador/año.

Principales líneas de Investigación

La apreciación que se tiene, analizada la información que se entregó, es que en la sub-área de Químico Física se presentan 4 tópicos principales:

* Cinética y Mecanismos de Reacción	11 investigadores
* Electroquímica	14 investigadores
* Polímeros y Macromoléculas	13 investigadores
* Química Teórica, Cuántica y Espectroscopia	17 investigadores
* Termodinámica	2 investigadores

Considerando solamente las publicaciones totales (ISI, Scielo) de los 10 años y los Proyectos FONDECYT, que se obtienen de las fichas mencionadas, y teniendo presente los criterios de 1,0 publicaciones año y Proyectos FONDECYT como investigador responsable o como co-investigador, son investigadores activos por grupo:

* Cinética y Mecanismos de Reacción	10 investigadores
* Electroquímica	12 investigadores
* Polímeros y Macromoléculas	9 investigadores
* Química Teórica, Cuántica y Espectroscopia	11 investigadores

9. Química Teórica y Computacional

La Química Teórica comienza a desarrollarse en Chile a principio de la década de 1970 básicamente como materia de estudio que se incluía en cursos de Físicoquímica en carreras de Licenciatura y Pedagogía en Química. Poco después comienza el interés por realizar los primeros estudios computacionales liderados por investigadores pioneros en el área: Sergio Bunel, Teodoro Meruane, Orlando Tapia, Milan Trsic y Fernando Zuloaga. En ese período los trabajos de investigación en química teórica computacional eran básicamente comunicados en congresos

nacionales y no tuvieron impacto internacional. Sin embargo fue un período intenso en cuanto a formación de recursos humanos, generándose en diferentes universidades pequeños grupos de investigación dedicados a estudios teóricos y computacionales de diversos sistemas químicos. Era la época en que los métodos de estructura electrónica debían limitarse a metodologías semiempíricas que básicamente consideraban electrones de valencia o hacían uso de la separación de los electrones σ y π en sistemas orgánicos conjugados. Debido al alto costo computacional y a la disponibilidad limitada de códigos computacionales adecuados, las metodologías basadas en primeros principios eran menos utilizadas. En ese contexto y con la limitación de la infraestructura computacional universitaria se comenzó a privilegiar la formación académica con una fuerte orientación conceptual y teórica por sobre el desarrollo de códigos computacionales. En esa orientación fue determinante la escuela francesa en la cual se habían formado varios de los investigadores antes mencionados.

En la década de 1980 un número importante de Químicos teóricos obtienen sus doctorados en Europa y Estados Unidos y muchos retornan al país e inician núcleos de actividad en investigación de alto nivel. Se destacan grupos en la Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad de Concepción. En base a esos investigadores se forma una nueva generación que obtiene sus grados académicos en Chile y se estructuran los grupos de Química Teórica Computacional que actualmente son parte de varias universidades. A pesar del déficit en infraestructura, esta área de la química adquiere un impulso considerable en la segunda mitad de los años 80 con una fuerte demanda de estudiantes interesados en realizar tesis de grado. Parte de ese desarrollo ocurre gracias al buen uso de convenios de colaboración e intercambio académico internacional, básicamente financiados por CONICYT, que permiten el acceso a infraestructura computacional en países desarrollados, lo que permite generar investigación de primer nivel.

Perfil del Investigador en Química Computacional

Actualmente se cuentan 20 investigadores en Química Teórica Computacional, cerca de 8% del total de investigadores en Química reportados en el presente estudio. La edad promedio es de 43 años y 78% son hombres.

El análisis de los datos permite distinguir muy claramente dos generaciones, una de investigadores mayores de 50 años (cerca de 50% del total) quienes obtuvieron el doctorado en Europa o Estados Unidos y que sentaron las bases, en la década de 1980, del desarrollo sostenido que ha tenido la disciplina en los últimos veinte años. Los menores de 50 años se doctoraron en Chile, lo que es consistente con la observación anterior acerca de la fortaleza de los programas de doctorado en esta área. La oferta de trabajos disponibles hace que la mayor parte de los investigadores jóvenes tengan poca oportunidad de realizar posdoctorados fuera del país y se sientan muy interesados en ingresar rápidamente a plantas académicas que les permitan asegurar un futuro académico.

Algunas recomendaciones para el futuro

En el estado actual de desarrollo de la disciplina y teniendo los recursos humanos necesarios, se hace necesaria la generación de nuevas líneas de investigación especialmente en materiales, en aplicaciones biológicas y en química atmosférica. Esto básicamente significa desplazar el equilibrio teoría-computación hacia aplicaciones de envergadura. Sin embargo para ello es necesario establecer Centros de Cómputo de primer nivel para lo cual se requieren inversiones importantes. A modo de ejemplo, los centros de cómputo de primer nivel están basados en máquinas que contienen los llamados *clusters* de unidades de procesamiento (CPU) que contienen un número cada vez mayor de CPU conectadas de manera de proveer de capacidad de cálculo en paralelo. El futuro de

la computación científica está muy ligado a la capacidad de procesamiento en paralelo y máquinas que permitan realizar cálculos en sistemas muy grandes y con muchos grados de libertad.

Centros de Excelencia

Actualmente los centros de mayor relevancia en productividad científica y formación de recursos humanos en la disciplina se encuentran en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Los centros de investigación que desarrollan diversas aplicaciones de la Química Computacional en la Universidad Andrés Bello y en la Universidad de Talca comienzan a perfilarse como centros importantes de la disciplina.

Infraestructura

La infraestructura que está disponible en la mayor parte de los laboratorios de Química Teórica y Computacional en Chile es muy limitada. Se cuenta con equipos que no permiten realizar cálculos sofisticados y competitivos, además no permiten estudiar sistemas y procesos de gran impacto científico o tecnológico.

Principales líneas de Investigación

Se desarrollan líneas de investigación en áreas tales como Modelos de Potenciales de Interacción para el Análisis de Reacciones Químicas, Modelos de Procesos Químicos en Fase Condensada, Farmacología Cuántica, Procesos de Transferencia Electrónica y Protónica, Química Cuántica Relativista, Teoría de Funcionales de la Densidad Electrónica, Dinámica Molecular de Fluidos, etc. Con los años algunas de estas líneas de trabajo se desarrollaron hasta alcanzar niveles de excelencia reconocidos internacionalmente; otras han sido menos exitosas y algunas han logrado un desarrollo menos que suficiente.

Durante la década de 1990 comenzaron a desarrollarse líneas de investigación fuertes en aplicaciones de la Teoría de Funcionales de la Densidad al estudio de reactividad química, especialmente en la Universidad de Chile y en la Pontificia Universidad Católica. Como resultado, el número de publicaciones en el área aumentó fuertemente, aunque concentrada en un grupo reducido de investigadores, también se generó un mayor interés de parte de estudiantes de posgrado para proseguir sus estudios en esta área de la química.

En los últimos cinco años se observa un crecimiento importante en el número de publicaciones en revistas ISI de alto impacto. Una gran parte de la producción científica chilena en el área se concentra en revistas tales como *Journal of Physical Chemistry A*, *Journal of Chemical Physics*, *Chemical Physics Letters*, todas con índice de impacto mayor que 2,5. Muchos de esos artículos son muy citados por la comunidad internacional. Se aprecia un desarrollo muy creciente en el estudio de diferentes aspectos de la reactividad química, desde la generación de instrumentos teóricos para la descripción de la reactividad de sistemas moleculares hasta la caracterización de la reactividad de sistemas específicos. Por otra parte hay un renovado interés en el uso de herramientas computacionales que combinan mecánica cuántica con mecánica clásica. Las técnicas de simulación computacional están siendo utilizadas para estudiar sistemas y procesos de creciente complejidad. Sin embargo, son pocos los centros nacionales con la infraestructura computacional necesaria para realizar investigación de mayor impacto en función de los sistemas que se puedan estudiar. Llama la atención que, luego de más de treinta años de crecimiento sostenido de esta disciplina, las instituciones aún no comprendan los requerimientos computacionales de un laboratorio de Química Computacional. Entonces, a falta de recursos que permitan competitividad

en el frente puramente computacional, se privilegia el desarrollo de líneas de investigación más bien conceptuales. El equilibrio teórico-computacional está aún muy desplazado hacia la teoría.

En la investigación en química teórica computacional que se ha venido realizando en los últimos cinco años, se observan desarrollos científicos muy promisorios en catálisis, materiales y nanotecnología. Hay que destacar un número importante de aplicaciones en las diferentes áreas de la química impulsadas por el creciente interés de la comunidad química en utilizar elementos de química computacional en sus propias investigaciones experimentales, ya es común encontrar cálculos computacionales en trabajos de cualquier área de la química.

Posgrado

En los últimos cinco años se han doctorado más de diez jóvenes investigadores que han desarrollado sus tesis de doctorado en esta área de la química. Todos estos investigadores jóvenes actualmente realizan investigación en diversas instituciones de educación superior en Santiago y en provincias. Se espera que el número de doctores formados en la disciplina vaya en aumento en la medida que estos nuevos investigadores establezcan grupos de trabajo de alto nivel en sus instituciones. Es importante señalar que en esta área no se observa cesantía y todos los doctores han encontrado un trabajo estable o un posdoctorado en menos de tres meses después de terminada su tesis de grado. Este fenómeno puede deberse al creciente interés por parte de la comunidad química en utilizar elementos de química computacional para confirmar y explicar sus observaciones experimentales.

10. Directorio de Investigadores

Para elaborar el Directorio de Investigadores, se procedió a llenar las Fichas de los Químicos que componen las diferentes sub-áreas de las Ciencias Químicas. Se utilizaron las Bases de Datos disponibles y toda la información recopilable desde diferentes instancias, lo que no significa que puedan existir omisiones involuntarias.

Como primera aproximación se tiene una comunidad de alrededor de 390 Químicos (390 Fichas) (sin corregir por repeticiones):

Sub-área	Totales Directorio
Química Física	60
Productos Naturales	54
Química de Materiales	49
Química Analítica y Ambiental	45
Química Orgánica	32
Química Teórica y Computacional	34
Química Polímeros	37
Química Inorgánica	57
Química Biológica	22

11. Análisis Global de las Ciencias Químicas

11.1. Fortalezas y falencias, tendencias, evaluación actual y previsión de futuro. Recomendaciones.

La Química en los últimos 20 años ha tenido un fuerte desarrollo. Esta disciplina ha duplicado el número de publicaciones. Lo que es más interesante de destacar es que las publicaciones de hace quince o veinte años no tenían mayor exigencia en relación a la calidad de la revista que se utilizaba como medio de información. Hoy el sistema es muy exigente y ya no basta publicar la investigación: es importante tener en cuenta la calidad de la revista donde se publica y el impacto que puede generar la investigación respectiva. Este avance es trascendental en el desarrollo de la Química en Chile. Otro aspecto es la acreditación de los posgrados, los que han generado una gran cantidad de investigadores jóvenes de muy buen nivel. Este hecho es una fortaleza que asegura el desarrollo de la disciplina en los próximos años.

Como hemos podido observar en base a los datos recopilados a la fecha, en la mayoría de las sub-áreas de las Ciencias Químicas se ha llegado a un nivel elevado de competitividad. Para mantener y acrecentar esta buena posición requerimos mucho talento, dedicación e instrumentación.

Si se consideran los dineros que CONICYT invierte en las Ciencias Químicas, y lo que los químicos producen con esa inversión se los debería catalogar de altamente eficiente en su quehacer. Hoy en nuestro país, en casi todas las sub-áreas de la Química, se ha llegado a un nivel elevado de competitividad según estándares internacionales. Se ha recorrido con acierto una parte del camino, que ha consistido en aprovechar ventajas comparativas naturales, racionalizando el uso de los recursos. Mantener esta posición y lograr asimilarlos al mundo desarrollado va a requerir de mucho talento, pues se debe crear ventajas comparativas. Para ello las actividades de investigación y desarrollo en Química serán esenciales para renovar y actualizar tecnologías. Se debe concebir nuevos productos y nuevas técnicas de fabricación. Estas actividades deberían tener prioridad.

La Química no ha recibido la debida atención de los planificadores de los Programas de Ayuda. En los países industrialmente desarrollados esas ayudas son proporcionales a la contribución de la disciplina al Producto Nacional Bruto (PNB). Si se toma en consideración el hecho que el número de embarques registrados de productos químicos y de industrias que son altamente dependientes de procesos químicos: pulpa, papel, petróleo, goma, piedra, vidrio, minerales, etc., y que contribuyen en un alto porcentaje al PNB, entonces, se puede concluir que un alto porcentaje de ayuda interna y externa destinadas a aumentar el bienestar económico de los países como el nuestro, podría y debería concentrarse en generar recursos humanos con especialización en Química, proporcionándoles el equipamiento adecuado. Obviamente, esto no sucede y lo que ocurre es que la Química compite en forma desfavorable con otras disciplinas que tienen menos impacto en la economía.

Otro aspecto en el que se debe trabajar arduamente es en cambiar la mala publicidad que se ha generado en torno a la Química. La disciplina ha tenido que llevar la carga, en absoluto agradable, de ser sinónimo de contaminación. Existe un problema de imagen que se debe revertir. Se deben buscar los elementos que identifiquen a esta disciplina con conceptos que sean percibidos positivamente por la sociedad.

La Química se está desarrollando a buen ritmo sobre todo en temas tales como catálisis, desarrollo de materiales, química computacional, síntesis y caracterización de polímeros, fotoquímica y electroquímica. Hace veinte años, se desarrolló fuertemente el área de productos naturales vegetales y minerales. Hoy se ha evolucionado y en los laboratorios se trabaja en

caracterizar sistemas nuevos, materiales naturales o sintéticos con valor agregado con alguna propiedad específica, sistemas poliméricos conductores, búsqueda de catalizadores más eficientes, desarrollos teóricos y modelos para entender aspectos específicos de las reacciones químicas.

Se recomienda y debe estimularse además la formación de equipos de investigación. Los objetivos y actividades de equipos de investigación deberían generar un significativo sinergismo surgido por la integración de científicos de diferentes sub-áreas incorporados a un proyecto. Al poner en marcha en forma conjunta los recursos de diferentes grupos para desarrollar trabajos en un área determinada se cumple con apostar a un trabajo interdisciplinario en investigación. Esta es la forma actual de crear conocimiento, junto a la racionalización propia de recursos humanos y materiales. La diversidad de materiales que se necesitan en las modernas tecnologías, requieren modificación, caracterización y estudios experimentales complementarios tanto en tres como en dos dimensiones.

La interpretación de cómo ocurren los procesos amerita un estudio paralelo de Simulación Molecular. Todo lo anterior requiere de equipos de investigadores creativos, con sólida formación y visiones múltiples e integrados. Esta modalidad, es lejos más efectiva que la correspondiente a proyectos de investigación llevados a cabo individualmente, los que no son excluyentes.

Un hecho que debe destacarse es que a nivel internacional existen diferentes proyectos y colaboraciones binacionales y multinacionales en la mayoría de las áreas, particularmente con la Unión Europea. Esto se puede apreciar en la Figura 9.4. En el primer caso proyectos como ECOS-Conicyt o, en el segundo Proyecto Alfa-ELAPNET de la Unión Europea, que involucra nueve laboratorios de siete países, tres de Sudamérica y cuatro de Europa. Estas colaboraciones han permitido estar trabajando como una red de laboratorios ofreciendo numerosas facilidades para los jóvenes científicos, con visitas y estancias en centros de alto nivel adquiriendo nuevas experiencias en su campo. Por otra parte esto permite la visita de profesores y doctorandos de los otros centros a nuestros laboratorios de Química. Hay laboratorios que cuentan con toda la tecnología de punta como para hacer eso bien.

En Química Computacional también ha habido un desarrollo muy importante en torno a las caracterización de estructuras moleculares de nuevos materiales y sus reacciones, desarrollo de fármacos, etc.

En resumen, hoy la Química muestra un buen nivel, hay áreas en expansión y nuevas áreas que se incorporan al desarrollo de la disciplina. Sin embargo, la Química requiere tener mayor visibilidad. Se requiere mostrar caminos, y se recomienda multiplicar iniciativas como seminarios, charlas, cursos; en definitiva, que exista más difusión. A nivel temprano de las carreras universitarias es muy importante esta información.

No obstante lo anterior, en este documento se indicarán temas que apuntan a elaborar una previsión de futuro de la situación de las Ciencias Químicas en Chile. Se pueden enfatizar tres serios problemas relacionados entre sí, que debieran ser analizados:

1. Tamaño de la Comunidad Científica de Químicos
2. Calidad de la enseñanza de Ciencias Químicas en la educación, escolar, básica, media y superior.
3. Interacción entre el Sector Industrial Químico y el Sector Académico.

La solución a estos tres problemas requiere el esfuerzo de los científicos, del Gobierno y de la industria.

En relación al punto 1. Este es un aspecto crítico. El número de Químicos en Chile para el tamaño del país y para los múltiples desafíos que se tiene en puerta, debería, multiplicarse por 4. Es una comunidad extremadamente pequeña. El tema de las futuras generaciones de Químicos está íntimamente relacionada con los estímulos que los jóvenes talentosos puedan tener para estudiar Química. Los estímulos deberían ser: un campo profesional auspicioso de una industria química floreciente que contribuya en forma importante a la economía nacional. Una buena formación en Química (punto 2), la cual debe ir respaldada con la investigación de nivel de los académicos en el área. No cabe duda que la Química se justifica plenamente por sí misma y como clave para entender los procesos y mecanismos que operan en otras disciplinas, léase biotecnología, bioquímica, biomedicina. La interacción Academia-Industria (punto 3) se debería retroalimentar. La investigación en las diferentes sub-áreas debiera conducir a productos nuevos, a nuevos procesos y nuevas aplicaciones, generando así nuevos empleos. Esto último redundaría en un estímulo para las generaciones venideras.

Se requiere enfatizar que no obstante el buen desempeño que ha tenido la Química durante las últimas décadas, logrando incorporar nuevas áreas que le permite tener presencia en el concierto internacional, la disminución en áreas clásicas de investigación como la Química de Coordinación, Química Orgánica y Productos Naturales es preocupante, si se considera el potencial aporte que podrían tener estas sub-áreas clásicas a la industria química de productos con mayor valor agregado. También llama la atención que, en contraste con los países desarrollados donde una parte significativa de las investigaciones académicas están orientadas a la industria nacional, en nuestro caso, con la excepción de pequeños grupos localizados fundamentalmente en los extremos norte y sur del país, la mayoría de las investigaciones están motivadas, más bien, por la curiosidad científica del investigador.

Esta disociación entre industria y academia, reflejada en un aporte pobre de la Química a la sociedad, no solo afecta la percepción negativa que tiene la Industria Química de la academia, sino también, las habilidades que tienen nuestros profesionales para su desempeño en la Industria.

En este sentido, sería recomendable delinear el camino con las áreas químicas de interés para el país, promover una colaboración efectiva entre academia e industria, por ejemplo, mediante la creación de centros de investigación en áreas prioritarias, con una masa crítica de investigadores adecuada.

11.2. Comentarios y conclusiones a partir del análisis de las sub-áreas.

Las sub-áreas de las Ciencias Químicas han tenido orígenes, comienzos, desarrollos e historias muy diferentes unas a otras. Las más antiguas son la de Química de Productos Naturales y Química Analítica. Los investigadores de Química Analítica han dirigido sus investigaciones hacia problemáticas relacionadas con la Química Ambiental, siendo actualmente 50% de Químicos Analíticos y 50% de Químicos Ambientales. La Química de Productos Naturales y la Química Orgánica, históricamente se desarrollaron muy unidas, con tendencias marcadas hacia la Química Biológica y la Química Médica y Química Ambiental Orgánica respectivamente.

En ambas sub-áreas, Química de Productos Naturales y Química Orgánica, los investigadores ven con preocupación el futuro de las sub-áreas. Es crucial que un mayor número de investigadores jóvenes ingrese al sistema. Se observa la lenta desaparición de equipos de trabajo que fueron fundamentales para la disciplina, pero falta el recambio que no se vislumbra.

En áreas relativamente emergentes, tales como Química de Materiales y Química Computacional, la situación es algo diferente.

El desarrollo de la Química de Materiales es solo reciente en nuestro medio (década de 1990) aunque es un tipo de conocimiento que se desarrolla en forma intuitiva desde siempre. La Química de Materiales ha ido creciendo junto a la inquietud de algunos laboratorios de Investigación dedicados a sub-áreas tradicionales de la Química en particular, Química Inorgánica, Química Física, Química de Polímeros tendiendo a la integración de ellas. Esto deja las fronteras o límites de las sub-áreas muy difusas o casi inexistentes. Para un buen desarrollo futuro requiere la adquisición de nuevos equipos y mejoramiento sustantivo de los ya existentes.

Los investigadores de la sub-área de Química Física con sus tópicos clásicos se han incorporado a otras sub-áreas tales como Química de Materiales, Química Teórica y Computacional. Ha sido históricamente una de las sub-áreas más productivas de las Ciencias Químicas, pero debido a las diferentes tendencias de sus investigadores ha sufrido un fuerte decrecimiento en su esencia clásica.

Su falencia es el equipamiento y el relevo de grupos de investigadores que han marcado décadas en investigación en Chile. Esta sub-área está en continua transformación y sus investigadores pueden ser incorporados a sub-áreas emergentes más propia de los tiempos actuales.

Las siguientes figuras muestran algunos datos de interés para la mejor comprensión de los temas tratados en este capítulo.

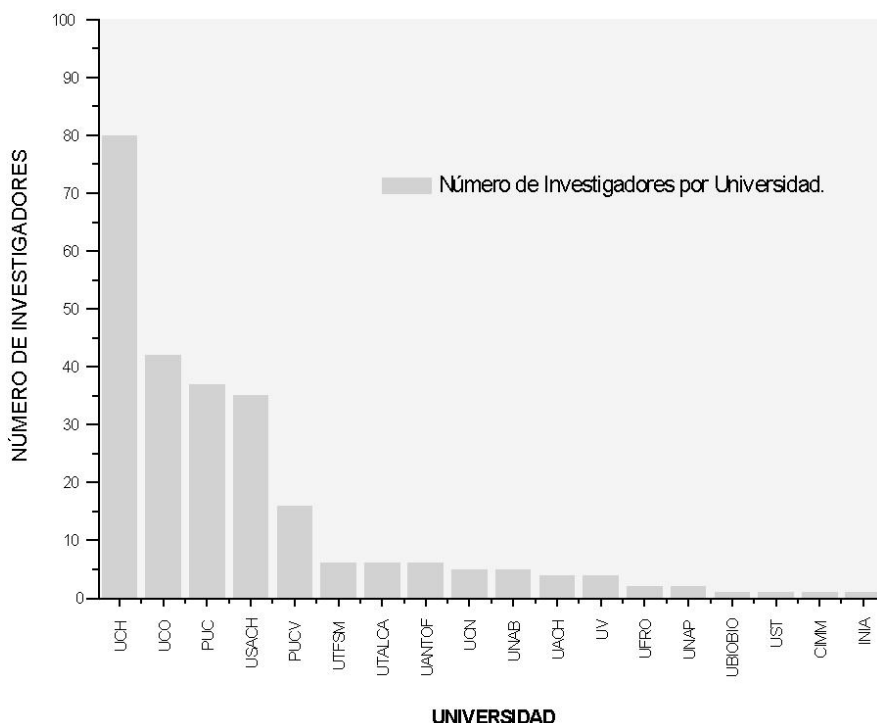
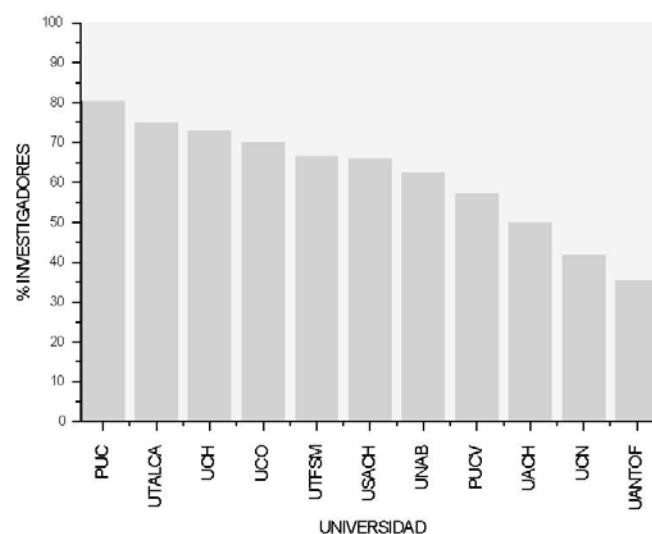


Figura 9.1. Número de investigadores por universidad



Nota: Esta información debe tomarse como tentativa dada la relatividad de la información obtenida. Se tomaron en cuenta las Universidades con más de 5 Investigadores en el Directorio.

Figura 9.2. Porcentaje de investigadores del total de químicos en cada universidad

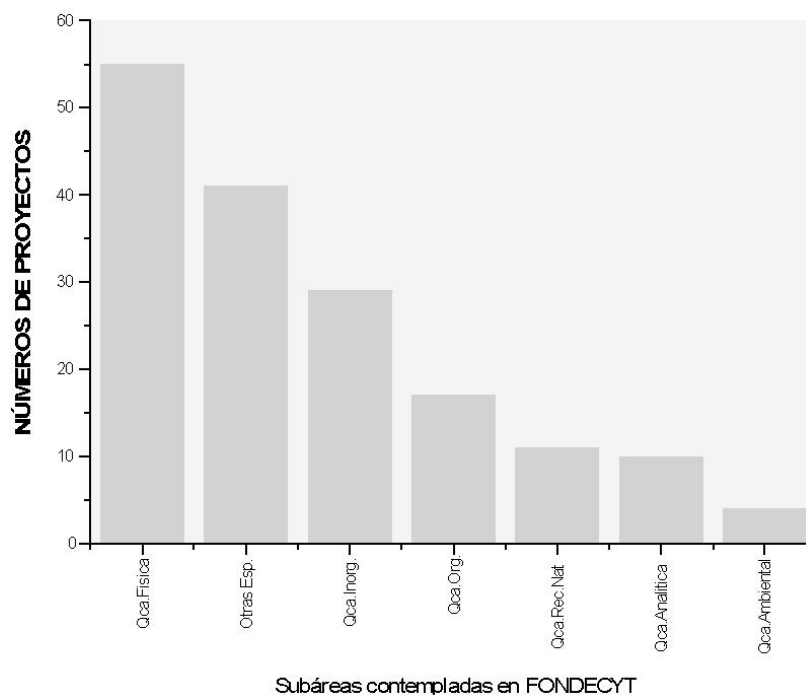


Figura 9.3. Número de proyectos FONDECYT por sub-áreas en los últimos cinco años.

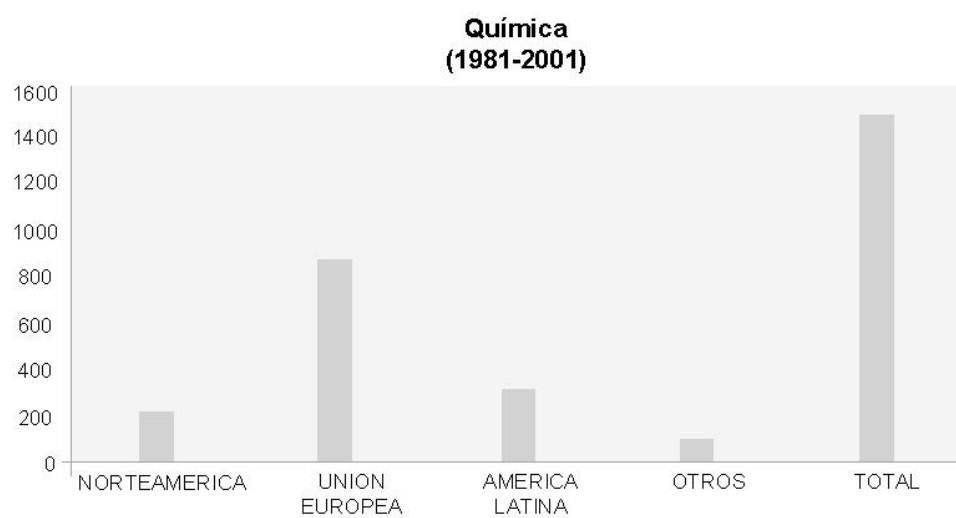


Figura 9.4. Investigadores en la disciplina y su colaboración internacional a través de publicaciones en conjunto.

Raúl Manasevich (*Coordinador*), Ricardo Baeza, Carlos Conca,
Eduardo Friedman, Manuel del Pino, Alejandro Jofré,
Alejandro Maass, Wilfredo Palma, Rolando Rebolledo,
Juan Rivera Letelier, Rodolfo Rodríguez y Rubí Rodríguez

Resumen- Este documento entrega información sobre el desarrollo de la Matemática en el período 2000-2004. Se analizan varios puntos importantes dentro de los cuales están los principales temas de investigación en matemáticas que ocupan a los investigadores en Chile y la productividad individual de éstos en cuanto al número de artículos publicados en revistas con comité editorial internacional. Para el análisis se usaron la base de datos Mathematical Reviews (MR) y la base de datos ISI. Se constata que la disciplina se ha desarrollado fuertemente en el período ya que, en efecto, el número de investigadores en matemáticas y estadística aumentó de 93 en 1992 a 169 en 2004, mientras el número de artículos se incrementó de 109 en 1993 a 234 en 2004. En el período 2000-2004, el número de artículos reseñados por MR es de 1.029, de los cuales 521 son publicaciones ISI. El análisis cuantitativo se explica en detalle en este informe y además se proporcionan figuras en cantidad suficiente como para permitir también un análisis cualitativo de esos puntos. Otros aspectos importantes que se estudian en detalle son la formación de pre y posgrado en las universidades chilenas, donde notamos que hay cinco programas de doctorado acreditados en Chile.

En este informe se analiza también uno de los hechos importantes que marca la historia de la Matemática reciente y que consiste en la prioridad dada por el Estado al desarrollo de sus aplicaciones a la producción y servicios en Chile. Esta investigación, con una fuerte componente socioeconómica, ha sido focalizada en diferentes iniciativas orientadas a la resolución de problemas de origen industrial y de servicios, en un amplio rango de sectores productivos que incluyen: minería, energía, telecomunicaciones, transporte, tecnologías de la información, renovación de recursos naturales (forestal, pesca, frutícola) y educación, y también otras ciencias como Biología, Física, Economía, Medio Ambiente y Medicina.

Finaliza este informe con una lista de importantes recomendaciones concretas que, desde nuestro punto de vista, permitirían un fortalecimiento de las ciencias matemáticas en Chile. Destacamos dos de ellas: duplicar el presupuesto de FONDECYT regular en los próximos cuatro años y la creación de una biblioteca nacional de matemáticas bien equipada en libros y con suscripción a todas las revistas importantes.

1. Introducción

En Chile hay un matemático por cada 100.000 habitantes y un estadístico por cada 500.000 chilenos. A primera vista, este sector de la ciencia parecería casi inexistente en Chile. Según el servicio de reseñas Mathematical Reviews (MR) de la American Mathematical Society (AMS), que cubre casi todos los artículos matemáticos publicados en el mundo¹, en 2003 se publicaron 210 artículos matemáticos con al menos un autor afiliado a alguna institución chilena.

¹ MathScinet se puede encontrar en Internet en la dirección <http://www.ams.org/mathscinet>. Para individualizar un autor ir a búsqueda integral y después autor. La clasificación por áreas de trabajo en matemáticas se encuentra en <http://www.ams.org/searchmsc>.

A modo de comparación, en 1992 Chile publicó apenas 100 artículos en matemática. A su vez, en este período (Figura 10.1), el número de matemáticos y estadísticos activos en investigación casi se duplicó, aumentando de 93 investigadores en 1992 a 169 en 2004.

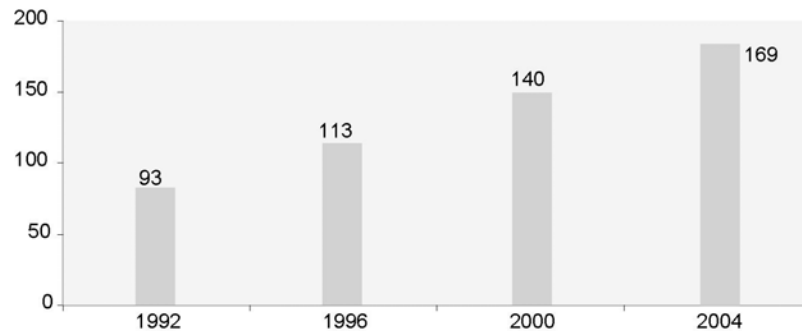


Figura 10.1. Número de investigadores en ciencias matemáticas en Chile

¿Qué significan 210 artículos anuales? Se trata aproximadamente de 14 artículos anuales por millón de habitantes. ¿Qué han logrado otros países? De acuerdo a los datos disponibles mostrados en la Figura 10.2, Argentina produjo, según la misma fuente y en el mismo año, 7 artículos por millón de habitantes, Brasil 6, México 5, Uruguay 9, Venezuela 5, USA 53, Francia 83, España 58, Alemania 60, Portugal 10, Rusia 26, República Checa 67, Polonia 42, Israel 209, Singapur 92, Turquía 7, Malasia 2, India 2, China 6, Corea del Sur 26, Japón 29, Finlandia 80, Australia 66.

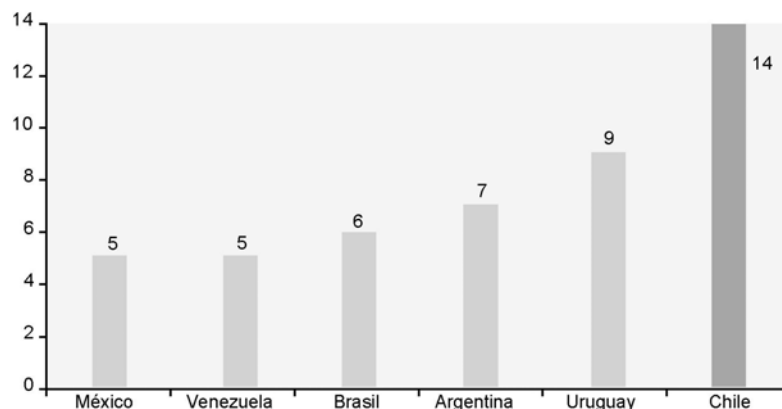


Figura 10.2. Número de artículos de matemáticos latinoamericanos reseñados en *Mathematical Reviews* (MR) por millón de habitantes en 2003.

Estas cifras demuestran lo que los matemáticos intuyen: la matemática en Chile se ha desarrollado fuertemente en los últimos 25 años y se ha despegado claramente del conjunto de países pobres, pero aún está muy lejos de los países ricos. Es importante notar que aquí pobre y rico se refiere a la cultura matemática. Polonia y Chile tienen ingresos *per capita* parecidos, pero Polonia nos triplica en producción matemática. Portugal nos supera en ingreso *per capita*, pero produce menos que Chile (ver por ejemplo la Figura 10.3).

Esas mismas cifras muestran el impacto que puede tener una acertada política de gobierno para estimular las ciencias matemáticas en Chile. En los últimos 20 años ha habido un gran avance, en gran parte debido a FONDECYT. Pero todavía apenas un tercio de los docentes de matemática en las 25 universidades del Consejo de Rectores corresponden a doctores. Elevar

progresivamente esta fracción a 100% mejoraría enormemente la docencia universitaria chilena, con el consiguiente impacto en Ciencia y Tecnología. Recordemos que todos los estudios científicos y gran parte de las carreras profesionales incluyen varios cursos de matemática. Aumentar el número de doctores en matemática también permitiría una dedicación efectiva de éstos a la formación matemática de los profesores de nuestros niños, uno de los puntos más débiles del país. Actualmente, la gran mayoría de los futuros profesores de matemática de nuestras escuelas reciben una escasa y mediocre formación matemática. Por otro lado, aumentar los programas en matemáticas aplicadas y estadística redundará en un beneficio directo para la industria.

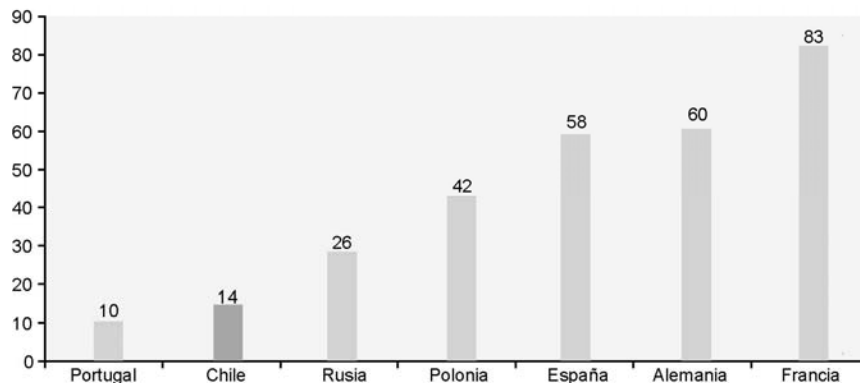


Figura 10.3. Comparación del número de artículos Europa/Chile reseñados en Mathematical Reviews (MR) por millón de habitantes en 2003.

1.1. Historia reciente de la disciplina en Chile. Análisis comparativo con la situación de 1993

El mundo científico en la última década estuvo marcado por el cambio de siglo, que motivó balances de diferente tipo acerca del progreso de las diferentes disciplinas durante el siglo 20. La Unión Matemática Internacional, que se hizo cargo de los balances en el caso de la Matemática, llegó a la conclusión en 1998 que nadie podría tener la capacidad, y por qué no decirlo, la soberbia de un Hilbert para dejar una lista de problemas por resolver a las generaciones venideras. Se acordó entonces nombrar una vasta comisión que estableció un panorama de los avances, publicado el año 2000 por la UMI. Es interesante hacer notar que a pesar que el siglo se cerró con la resolución de la conjetura de Fermat por Wiles, ésta no polarizó la redacción de los balances.

Desde el punto de vista sociológico es importante resaltar el establecimiento de nuevas relaciones entre la ciencia y la producción. La ciencia ha pasado a ser una fuerza productiva directa, no exenta de incidencia política. El otorgamiento de fondos por la vía de los concursos se transformó en receta universal y asimismo la proliferación de premios a escala internacional.

Uno de los hechos fundamentales que marca la historia de la Matemática en estos últimos años consiste en la prioridad dada por el Estado al desarrollo de sus aplicaciones a la producción y servicios en Chile. Esta investigación ha estado principalmente, focalizada en diferentes iniciativas orientadas a la resolución de problemas de origen industrial y de servicios, en un amplio rango de sectores productivos, que incluyen, minería, energía, telecomunicaciones, transporte, tecnologías de la información, renovación de recursos naturales (forestal, pesca, frutícola), y educación, y también otras ciencias, como Biología, Física, Economía, Medio Ambiente y Ciencias de la Medicina.

Los investigadores involucrados en proyectos aplicados se concentran en torno al Centro de Modelamiento Matemático (CMM) de la Universidad de Chile y en los departamentos y carreras de Ingeniería Matemática de las principales universidades nacionales: Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Concepción, Universidad de Santiago, Universidad de la Frontera. Algunos investigadores se sitúan también en departamentos de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Parte importante de las aplicaciones emanan de la interacción con ingenieros trabajando en campos como Forestal, Ingeniería Eléctrica, Informática, Ingeniería Mecánica, Química, de Transporte, y también, de la colaboración con biólogos, economistas, geofísicos, entre otros. Se trata de trabajo multidisciplinario, donde es posible distinguir dos características. La primera es una interacción científica de alto nivel entre matemáticos, ingenieros y científicos, provenientes de numerosas áreas de la Ciencia, y en la segunda, confluyen los diversos enfoques del modelamiento matemático y que dependen del área específica que los origine: Matemáticas Discretas, Mecánica Matemática, Análisis Numérico, Optimización, Ecuaciones en Derivadas Parciales, Sistemas Dinámicos o Probabilidades.

Los problemas industriales subyacentes a esas investigaciones han requerido de un complejo proceso de modelamiento, donde la interacción con ingenieros y científicos ha jugado un rol fundamental. El análisis matemático de los modelos ha conducido, normalmente, al desarrollo de nuevas herramientas matemáticas, como se puede apreciar del examen de publicaciones recientes. Simultáneamente, se han desarrollado nuevas estrategias orientadas a abordar diversos problemas que requieren técnicas y algoritmos computacionales avanzados para el cálculo de las soluciones y para la simulación del comportamiento de los modelos industriales.

Los proyectos aplicados han representado una oportunidad para contribuir a la formación de nuevos investigadores e ingenieros, y han tenido impacto socioeconómico en diferentes sectores productivos. La investigación aplicada y las iniciativas de extensión han permitido un incremento significativo en la valoración que la sociedad chilena otorga a la ciencia en general, y a la Matemática en particular.

Otro hecho fundamental que ha marcado el desarrollo de la escuela matemática nacional es la incorporación de talentosos jóvenes a la investigación, gracias a programas de captación de talentos y las diferentes campañas de difusión de nuestra ciencia. Esos jóvenes están llamados a superar por sus resultados a las generaciones anteriores y muchos de ellos están involucrados en generar un vigoroso desarrollo de polos de investigación matemática en las regiones del país.

Asimismo, Chile ha logrado alcanzar un nivel matemático y de estabilidad en las instituciones universitarias que lo transforma en un lugar atractivo para matemáticos jóvenes extranjeros que buscan un puesto de trabajo. Nuestra comunidad ha podido así enriquecerse con la colaboración muy valiosa de matemáticos de diferentes países que han fijado su residencia en nuestro país, como también de quienes asiduamente nos visitan y se involucran en trabajos conjuntos de investigación con matemáticos chilenos.

2. Análisis global y actual de la disciplina en Chile

2.1. Análisis de la Investigación Matemática

Introducción

La aparición de una escuela matemática nacional no es obra de una generación aislada, ni mucho menos atribuible a determinadas individualidades. Como en otras ciencias, el nacimiento de una escuela nacional es fruto de muchas generaciones de cultores de la Matemática, que en

distintas épocas supieron sobrepasar las metas alcanzadas por las precedentes. Una rápida ojeada a nuestra historia permite distinguir varios períodos característicos, a la luz de los cuales podemos observar el estado actual de nuestra investigación y sus perspectivas.

- *Aparición de los precursores.* Corresponde a un largo período que va desde la fundación de las universidades nacionales hasta la toma de conciencia institucional de la necesidad de la investigación matemática. Este período termina con la llegada de los primeros doctores en Matemáticas al país.
- *Desarrollo de la masa crítica.* Es la etapa en la cual se desarrolla la formación de postgrado masiva, a nivel de Magíster en Chile y a nivel de doctorado en el extranjero. Aparecen los primeros programas de postgrado nacionales y las primeras publicaciones en revistas internacionales realizadas en Chile.
- *Institucionalización de la investigación y aparición de los grupos nacionales de investigación.* Período que llega hasta nuestros días, caracterizado por una importante cantidad de investigadores en el país, de calidad internacionalmente reconocida; existencia de programas de doctorado; programas de fomento a la investigación científica asumidos por instituciones estatales y privadas; creación de grupos de investigación nacionales; importante actividad de congresos, seminarios y otros eventos en Chile.
- *Consolidación de una Escuela Nacional.* Período que sucederá al actual, caracterizado por la existencia de grupos consolidados, en áreas específicas, capaces de producir un número apreciable de ideas poderosas.

Para analizar el crecimiento reseñado en los párrafos anteriores, es importante tomar en cuenta ciertos índices relevantes. Señalemos específicamente los siguientes:

1. Existencia en el país de investigadores de buen nivel, reconocidos por sus pares a nivel internacional. En una cantidad apropiada constituyen la llamada masa crítica. Factores que permiten apreciar el reconocimiento que ellos alcanzan en la comunidad internacional son, en particular:
 - los grados académicos obtenidos;
 - sus publicaciones;
 - las invitaciones a eventos especializados, como conferencista o como profesor;
 - los comités científicos en que participe;
 - su participación en comités editores de revistas de prestigio internacional.
2. Existencia de un buen nivel de publicación científica en el tema (ver Figura 10.5).
3. Existencia de proyectos y programas de investigación de mediano y largo plazo.
4. Existencia de programas de posgrado y funcionamiento fluido de ellos.
5. Organización de seminarios regulares.
6. Organización de reuniones nacionales de especialidad.
7. Organización en Chile de reuniones científicas especializadas, de carácter internacional.
8. Incidencia de todas las actividades anteriores en la docencia de pregrado y en la extensión a la comunidad nacional.

Todos esos factores están presentes hoy en los sectores más avanzados de la investigación en la disciplina. Para apreciar sus avances relativos, el análisis que sigue, basado en datos recogidos de la producción nacional, clasifica los principales temas cultivados en el país y en seguida estudia la incipiente formación de grupos de investigación estables, que se han ido estructurando, en la mayoría de los casos, en torno a reuniones periódicas de especialistas (seminarios, encuentros o escuelas).

2.2. Evaluación de la actividad individual

El Comité adoptó como criterio básico para incluir a un matemático o estadístico en el Directorio, su residencia en Chile a julio de 2005, que haya publicado al menos tres artículos en el período en revistas reseñadas en *Mathematical Reviews* de la American Mathematical Society, y que por lo menos dos de los artículos se hayan publicado en revistas indexadas por ISI. Complementariamente se consideraron otros antecedentes, como la participación relevante en proyectos de investigación aprobados en concursos competitivos, la continuación en el tiempo de su quehacer científico y su relevancia, y la formación científica de jóvenes investigadores.

La base principal del estudio fue la base de datos *Mathematical Reviews*, de la American Mathematical Society. El número total de publicaciones con esas características entre 2000-2004 es de 1.029. De éstas, 521 corresponden a artículos que también están reseñados por ISI.

Principales temas de investigación

Para entregar una idea de los temas más desarrollados en el país, se ha cruzado la información del Directorio de Científicos con aquella correspondiente a temas según la clasificación de *Mathematical Reviews* (MR) que ha sido adoptada como un estándar por la Unión Matemática Internacional. La Tabla 10.1 y la Figura 10.4 muestran un cuadro comparativo del número de investigadores por área definida por *Mathematical Reviews* en 1993 y 2004.

Se observa que el área Ecuaciones Diferenciales Parciales es la que tiene más cultores, seguida por Álgebra, Sistemas Dinámicos, Análisis Numérico, Estadística y Probabilidades y Procesos Estocásticos. Hay carencia de investigadores en Combinatoria, Topología y Geometría, entre otros temas. Se aprecia que nuestra comunidad ha ido renovándose con investigadores jóvenes y también con un importante contingente de matemáticos extranjeros que han concursado a puestos estables en Chile. Se desprende de lo anterior que ha habido un crecimiento global y que ciertas áreas, como Ecuaciones Diferenciales Parciales y Álgebra, han crecido más que otras.

A su vez, la Figura 10.5 muestra el número de artículos producidos por matemáticos y estadísticos chilenos por área (MR), en el período 2000-2004. En particular, se observa el alto número de publicaciones en el área de Ecuaciones Diferenciales Parciales, Análisis Numérico, Sistemas Dinámicos, entre otros.

Asimismo, una rápida mirada a las coautorías de artículos reseñados en MR muestra cómo ha aumentado la cooperación internacional en la materia. De las 1.029 publicaciones del período 2000-2004, 557 son con colaboración internacional, incluyendo a 37 países además de Chile. De éstas, las mayores colaboraciones son con Francia (114), USA (94), España (72), Brasil (57) y Alemania (41), (ver Figura 10.6).

Tabla 10.1. Número de investigadores por área, 1993 y 2004		
Áreas Códigos MR	Nº de investigadores según Directorio 1993	Nº de investigadores según Directorio 2004
Álgebra 11, 12, 15, 16, 17, 20	10	23
Análisis Funcional 45, 46, 47,93	6	11
Análisis Numérico 65, 41	7	13
Combinatoria y Geometría finita 5, 51	3	2
Ecuaciones Diferenciales Ordinarias 34, 94	5	6
Ecuaciones Diferenciales Parciales 31, 35, 58, 74, 76	11	34
Estadística 62	5	13
Geometría, Análisis Complejo y Topología 14, 30, 32, 54, 55	6	7
Informática 68	4	7
Lógica y Fundamentos 3, 6, 8	5	4
Optimización e Investigación de Operaciones 49, 90	7	13
Sistemas Dinámicos 37, 39	14	17
Teoría de Probabilidades y Procesos Estocásticos 60, 82	6	13
Otros	4	6
Total	93	169

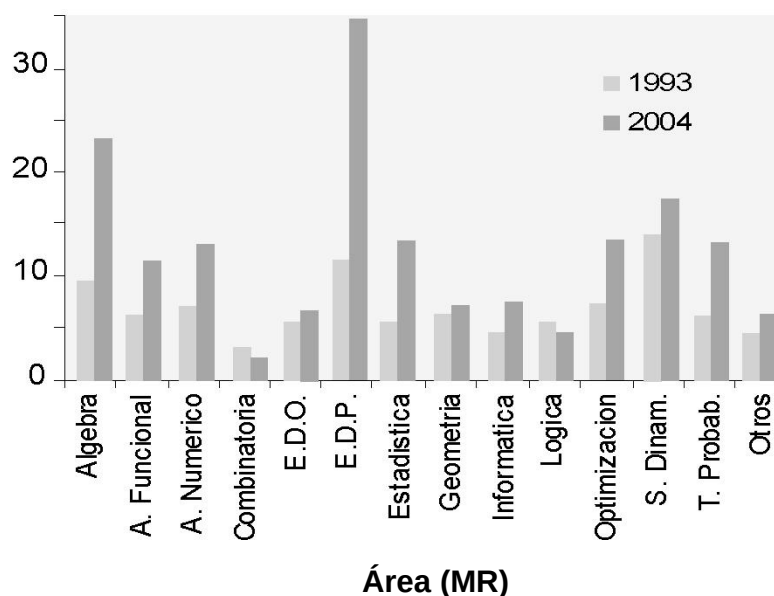


Figura 10.4. Número de investigadores en Chile por área definida por Mathematical Reviews, 1993 y 2004.

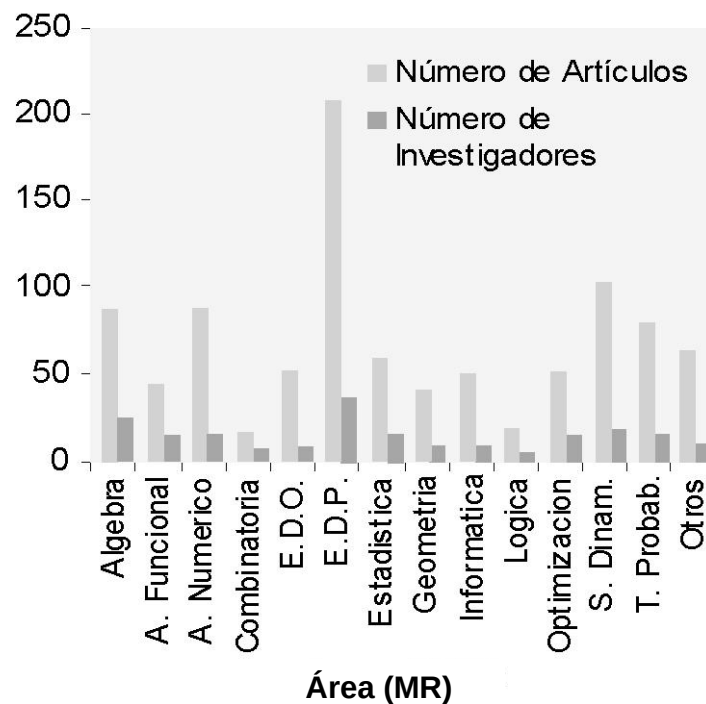


Figura 10.5. Número de artículos e investigadores en Chile por área, definida por Mathematical Reviews, en el período 2000-2004.

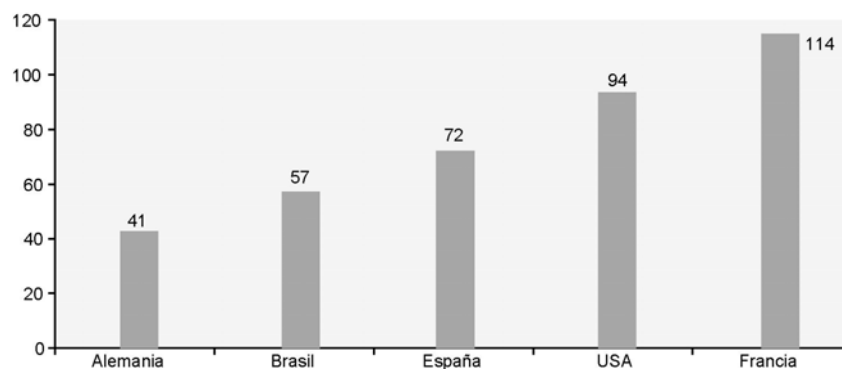


Figura 10.6. Número de artículos de matemáticos chilenos en colaboración con autores de otros países reseñados en Mathematical Reviews (MR) en el período 2000-2004.

2.3. Productividad y Características de las Investigaciones

Durante el período 2000-2004 el número total de publicaciones de matemáticos y estadísticos chilenos reseñadas por Mathematical Reviews es de 1.029 artículos, de los cuales 521 han sido indexados por ISI.

Para una visión más global del desarrollo de la investigación en la última década, la Figura 10.7 muestra la evolución del número de publicaciones de matemáticos y estadísticos chilenos reseñados por Mathematical Reviews desde 1993 a 2004. Obsérvese que en este período el número de artículos ha aumentado más de un 100%.

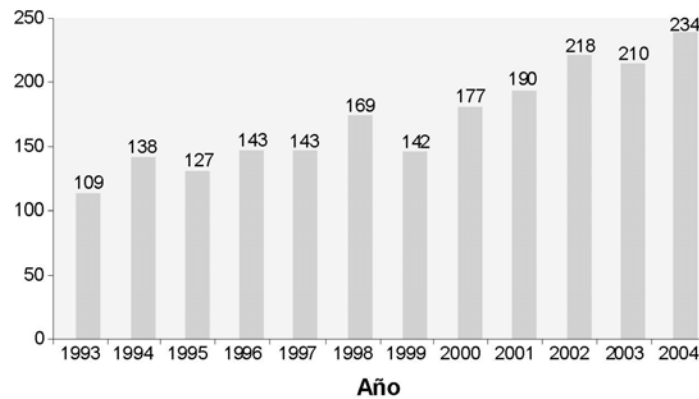


Figura 10.7. Número de artículos de matemáticos chilenos reseñados en Mathematical Reviews (MR) en el período 1993-2004.

En particular, en el período 2000-2004, el número de publicaciones indexadas en ISI ha aumentado más de 60%, de 81 publicaciones en 2000 a 130 en 2004 (Figura 10.8).

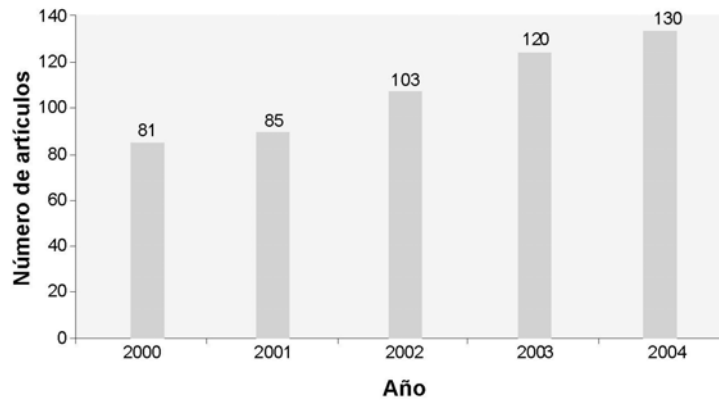


Figura 10.8. Número de artículos ISI de matemáticos chilenos en el período 2000-2004.

Dado que muchos artículos de Estadística no aparecen reseñados en MathSciNet, la Figura 10.9 muestra el número de publicaciones ISI originadas por investigadores en Chile en la subárea de Estadística y Probabilidad durante el período 2000-2004. Obsérvese que el número de artículos publicados ha aumentado a partir del año 2001.

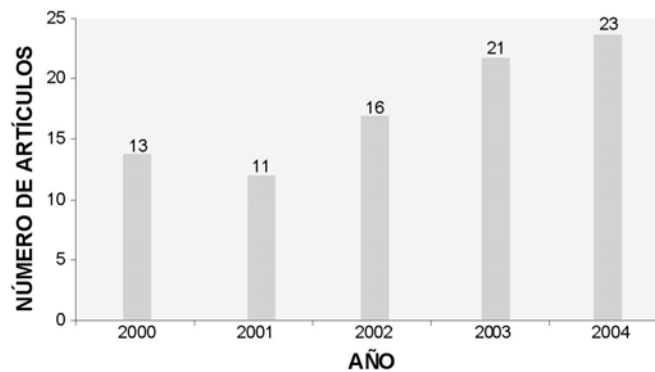


Figura 10.9. Número de publicaciones ISI en Chile en Estadística y Probabilidad en el período 2000-2004.

2.4. Financiamiento y Colaboración Internacional

Financiamiento recibido en el área de fondos nacionales competitivos.

CONICYT es el principal organismo del gobierno chileno relacionado con la investigación en Matemática y Estadística. Sus políticas han influido fuertemente en el desarrollo de la Matemática y Estadística en Chile, por lo que un estudio de estas ciencias en Chile no puede dejarlo de lado. Concentraremos nuestra discusión en el FONDECYT porque es, por lejos, el programa más importante de CONICYT en lo que atañe a matemática por ser un programa de amplio espectro. Es además el único programa importante que se ha mantenido en el tiempo lo suficiente para poder evaluar su influencia.

Otros grandes programas que han influido en la investigación en Chile (FONDAP, FONDEF, cátedras presidenciales, milenios, anillos, consorcios, MECESUP) deben a corto plazo ser evaluados por las autoridades que los han generado por medio de comisiones de alto nivel internacional. Esto es particularmente deseable cuando se puede ver en el futuro cercano la incorporación de grandes cantidades de fondos en el sistema y una probable generación de nuevas ideas y programas.

Más adelante, comentaremos brevemente otros programas mucho más pequeños económicamente, pero significativos para la matemática en Chile.

Una parte importante de la matemática se desarrolla en grupos de discusión relativamente pequeños (de 1 a 3 autores por artículo en general) y donde el uso de laboratorios (computacionales) está restringido a áreas donde se requiere hacer cálculos de gran tamaño o a temas de las matemáticas ligados a proyectos de investigación industrial de envergadura.

El estilo de los proyectos del FONDECYT regular ha sido importante para desarrollar el aspecto individual de las matemáticas y crear escuela matemática en Chile. El programa ha sabido reconocer con un sistema de arbitraje internacional e imparcial, y con el trabajo minucioso de grupos de pares, a los matemáticos y estadísticos más activos del país (sin hacer distinción entre científicos consolidados y jóvenes), potenciando el crecimiento de las matemáticas en Chile. Todo lo anterior en base a un sistema simple de administración y control.

Desgraciadamente, FONDECYT se encuentra en creciente peligro de irrelevancia. Entre 1993 y 2001, el presupuesto de los programas FONDECYT creció en 65%, es decir, algo más que el crecimiento del PIB correspondiente, el cual alcanzó 50% en el período. Aunque el principal ítem es el FONDECYT regular, también hemos incluido en la cifra otros programas FONDECYT de variado destino (Proyectos de Posdoctorado, de Doctorado (apoyo no becario), Completación de Tesis (beca de quinto año), Cooperación Internacional, Líneas Complementarias). De hecho el presupuesto de FONDECYT en matemáticas muestra una leve pero innegable disminución desde 2001. Resulta paradójico que el exitoso programa FONDECYT se reduzca al mismo tiempo que aumentan el número de investigadores activos, su productividad y el PIB del país.

Como resultado del estancamiento de FONDECYT se han producido varios problemas entre los cuales se cuentan los siguientes. Los gastos de administración que favorecían a las universidades han bajado al deducirse los honorarios del cálculo de 17%, los honorarios apenas se han reajustado, los fondos para comprar insumos (revistas y libros) se han reducido a la mitad, los proyectos posdoctorales FONDECYT fueron reducidos de 3 a 2 años, los proyectos para completar tesis de doctorado han desaparecido y hay prohibición de apoyar tesis de alumnos de doctorado con dineros FONDECYT.

El programa FONDECYT regular, aunque el más importante, no es el único desfavorecido. Los programas de intercambio internacional (salvo con el Gobierno de Francia) han sido reducidos o eliminados. Tal como el FONDECYT, esos eran programas sumamente útiles al desarrollo de muchas líneas de investigación en matemática.

En resumen, el desarrollo de las matemáticas en Chile, requiere de un apoyo constante de un programa FONDECYT potente que por un lado permita instalar la investigación de los académicos jóvenes emergentes en Chile y por otro lado represente un soporte fundamental para los académicos consagrados.

Como estrategia de desarrollo nos parece indispensable que toda la actividad científica que se desarrolla en proyectos individuales en FONDECYT pueda ser ampliada hacia otro tipo de programas que potencien esta actividad y le permitan incorporar aspectos nuevos. En resumen, pensamos que la inversión estatal en matemáticas no sólo debe aumentar, también debe apoyar y expandir sus programas probadamente exitosos, debe tratar a cada disciplina según sus propias necesidades y debe abrirse a las sugerencias de los académicos que las practican.

2.5. La Sociedad de Matemática de Chile y la Sociedad Chilena de Estadística

La Sociedad de Matemática de Chile es la única organización representativa de los investigadores activos en la disciplina en el país. Si bien existía de hecho antes de la década de los 80, su personería jurídica fue obtenida en 1982. Ha jugado un papel determinante en impulsar acciones de promoción y refuerzo de la infraestructura nacional para la investigación en Matemáticas. En esta sección sólo referimos las actividades realizadas en el quinquenio 2000-2005. Destacamos, sin embargo, que la existencia de esa organización y su adecuada gestión han permitido a los matemáticos chilenos ser partícipes y artífices de políticas de investigación científica de las cuales el Estado carecía.

La Sociedad y su relación con organismos estatales

Durante el período considerado, la Sociedad formó parte del grupo de instituciones consultadas por el Ministerio de Educación para impulsar la reforma curricular de la Educación Media. Esta relación se formalizó en la participación institucional de la Sociedad en:

- Comisiones de trabajo sobre Planes y Programas;
- Comisiones de diseño y elaboración de textos;
- Actividades de perfeccionamiento de Profesores coordinadas a través del Centro de Perfeccionamiento del Magisterio.

Por otra parte, la Sociedad participó en el debate sobre la nueva prueba de admisión a las universidades (SIES). Un grupo de miembros de la Sociedad estudió a fondo la propuesta SIES, comparándola con la Prueba de Aptitud Académica. Dicho estudio puso en evidencia las profundas debilidades del proyecto SIES y fue determinante para la elaboración de una propuesta diferente que es la actual Prueba de Selección Universitaria (PSU).

Actividades de difusión de la Matemática

Una variada gama de actividades realizadas regularmente por la Sociedad de Matemática ha permitido la captación de talentos matemáticos y la difusión de la disciplina hacia la población en general. Ver sección 3.3.1.

La capacitación de profesores de Enseñanza Media

Ver detalle en la sección 3.3.1.

La Sociedad y la Documentación Científica

El proyecto más importante conducido por la Sociedad en estas materias fue el de la Hemeroteca Nacional, que culminó el año 2002. Este proyecto permitió completar 50 colecciones de revistas de Matemáticas a lo largo del país y la coordinación de Bibliotecas especializadas del país de modo de complementar suscripciones. Su financiamiento se logró con un aporte de 320.000 dólares de la Fundación Andes.

Los eventos científicos

La Sociedad ha continuado realizando sus tradicionales eventos anuales, a saber, los *Encuentros de la Sociedad de Matemática de Chile*. Apoya además los congresos anuales Capricornio (COMCA) de las universidades de la Zona Norte de Chile y el *Encuentro Matemático de la Zona Sur*. Por otra parte, diversos congresos y escuelas sobre temas específicas han recibido el patrocinio de la Sociedad. Es el caso de las Escuelas de Sistemas Dinámicos, del Congreso sobre Percolación y Sistemas de Partículas de Enero 2004, entre otros.

Durante el período que se informa, la Sociedad organizó también el VI Simposio Chileno de Matemáticas, evento internacional que se realiza en Chile cada cuatro años. En esta ocasión la sede fue la Universidad de Magallanes en Punta Arenas.

Publicaciones de la Sociedad

La Sociedad de Matemáticas mantiene las siguientes publicaciones:

- *La Gaceta de la Sociedad de Matemática de Chile*, revista de difusión general de las Matemáticas, de frecuencia irregular.
- *Notas de la Sociedad de Matemáticas*, revista que publica artículos de investigación originales. Su frecuencia de aparición es irregular. Es en general poco utilizada por los matemáticos nacionales.
- *Revista del Profesor de Matemáticas*, orientada al magisterio, ha tenido buena acogida en el medio de los profesores de Matemáticas de la Educación Media.

Por otra parte, fruto de la colaboración del Comité ICMI de la Sociedad con el Ministerio de Educación, se han editado varios libros para uso de los maestros y alumnos en el marco del programa de perfeccionamiento fundamental PPF.

Las relaciones con otras sociedades

La Sociedad representa a Chile en la Unión Matemática Internacional (IMU) que es la organización máxima de los matemáticos en el mundo. En la IMU los países son aceptados luego de una rigurosa evaluación de las contribuciones de sus investigadores. Una vez aceptado un país, se le clasifica según cinco grupos en orden ascendente según la fortaleza de su escuela matemática. Chile pertenece al Grupo 2 y debiera analizarse la posibilidad de presentar la candidatura para el Grupo 3 en la próxima Asamblea de la IMU en 2006. Nuestro país está así en

el segundo lugar continental en términos de nivel de su Matemática, al igual que Argentina y México, y después de Brasil quien ya ha alcanzado el Grupo 4. Ha sido una de las instituciones fundadoras de la Unión Matemática de América Latina y del Caribe (UMALCA). Participa de manera muy activa en el capítulo chileno de ICSU (International Council for Science). Asimismo mantiene relaciones de colaboración mutua con las Sociedades de Física, Química, Biología y Estadística. En materia de acuerdos bilaterales internacionales, mantiene relaciones de cooperación y reciprocidad en la membresía con las Sociedades de Argentina, Brasil, Venezuela, México, Colombia, Perú, Cuba, Bolivia, Estados Unidos, Francia.

La Sociedad Chilena de Estadística

La Sociedad Chilena de Estadística (SOCHE), fundada en 1978, se ha consolidado en su papel de organismo aglutinador de los estadísticos y bioestadísticos chilenos. En la actualidad tiene aproximadamente 100 socios activos, que se encuentran trabajando fundamentalmente en las universidades a lo largo del país. Posee también socios institucionales y estudiantiles y cuenta con personería jurídica desde 1978.

La SOCHE realiza al menos un encuentro nacional al año desde su nacimiento. Periódicamente se realiza, en conjunto con la Sociedad Argentina de Estadística, un Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística, en la cual participan también estadísticos de Brasil y Uruguay. La Sociedad mantiene también la *Revista de la Sociedad Chilena de Estadística*, la que ha buscado elevar paulatinamente el nivel y cuenta con un comité editorial internacional. Ha sido indexada por ejemplo en el *Current Index of Statistics*. Una iniciativa reciente es la creación de secciones temáticas, habiéndose constituido las Secciones de Estadística Bayesiana, de Bioestadística y de Estadísticas Oficiales y de Estadística Industrial. La SOCHE participa en el Comité Nacional ICSU

2.6. Formación de pre y posgrado

Pregrado en Ciencias Matemáticas en Chile

En la década del 60 aparecen los primeros programas formales que otorgan grados en matemáticas en el país: ellos fueron las Licenciaturas en Matemáticas de la Universidad de Concepción (1963), de la Pontificia Universidad Católica de Chile (1964) y de la Universidad de Chile (1965). Esos programas de pregrado tenían una duración mínima de 5 años, además de una tesis que correspondía al menos a un año de trabajo. Con la modificación de la legislación universitaria del año 1981, la situación comenzó a cambiar, generándose una tendencia a acortar el período de estudios a cuatro años y a eliminar la tesis.

También se crea en la década del 60 un Instituto Central de Matemáticas en Concepción, que concentró toda la enseñanza en la disciplina de esa Universidad. Ese modelo fue posteriormente adoptado por la mayoría de las universidades tradicionales, con la notable excepción de la Universidad de Chile. Una biblioteca formada en torno al Centro de la Universidad de Chile se había incendiado. Se forma en Concepción una biblioteca con subsidio de la Fundación Ford.

En esta misma década se crea también en la Universidad de Chile la carrera profesional de Ingeniería Matemática, con énfasis en matemáticas aplicadas.

En la década del 70 se crean licenciaturas en Estadística, las que reemplazan los programas anteriores de nivel técnico. En la actualidad 12 universidades imparten carreras de pregrado en

esta área, incluyendo 6 licenciaturas en Matemáticas y 6 licenciaturas en Estadística. Por otro lado, estas instituciones ofrecen un total de 12 títulos, entre los que se incluyen 2 títulos en Ingeniería Matemática (U. de Santiago y UFRO), 3 títulos en Ingeniería Civil Matemática (U. de Chile, U. de Concepción y U. F. Santa María), 2 títulos de Estadístico (P. U. Católica de Chile y P. U. Católica de Valparaíso) y 5 títulos en Ingeniería Estadística (U. de Santiago, U. Valparaíso, U. Playa Ancha, U. Concepción y U. Bío-Bío), ver Tabla 10.2.

Tabla 10.2. Universidades chilenas con pregrado en Ciencias Matemáticas.			
UNIVERSIDAD	FACULTAD	GRADO	TITULO
U. de Santiago de Chile	Ciencia	Lic. Estadística y Comp.	Ing. Estadístico
			Ing. Matemático
U. de La Serena	Ciencias	Lic. Matemáticas	
U. de Chile	Ciencias	Lic. Ciencias m. Matemáticas	
	Ciencias Físicas y Matemáticas		Ing. Civil Matemático
U. de Valparaíso	Ciencias	Lic. Estadística	Ing. Estadístico
U. de Playa Ancha	Ciencias Naturales y Exactas	Lic. Estadística	Ing. Estadístico
P. U. Católica de Valparaíso	Ciencias Básicas y Matemáticas	Lic. Matemáticas	
		Lic. Ciencias Estadísticas	Estadístico
U. Católica del Norte	Ciencias	Lic. Matemáticas	
P. U. Católica de Chile	Matemáticas Ingeniería	Lic. Matemáticas	Estadístico Ing. Civil Matem.
U. de Concepción	Ciencias. Físicas y Matemáticas	Lic. Matemáticas	Ing. Civil Matemático
		Lic. Estadística	Ing. Estadístico
U. T. Federico Santa Maria	Departamento de Matemáticas	Lic. Ciencias. m. Matemáticas	Ing. Civil Matemático
U. del Bío-Bío	Ciencias	Lic. Estadística	Ing. Estadístico
U. de La Frontera	Ing. Ciencias y Administración	Lic. Ciencias de la Ing.	Ing. Matemático

El desarrollo de los pregrados en esta disciplina ha sido impulsado por las propias universidades que han perfeccionado su planta académica, principalmente a través de doctorados en el extranjero. También han colaborado en este desarrollo planes de apoyo específicos del gobierno tales como el financiamiento de proyectos MECESUP y otros organismos internacionales.

Hay una severa escasez de información referente a la actividad académica o laboral de los egresados en ciencias matemáticas. Sin embargo, a continuación entregamos una breve reseña acerca de los egresados, separados por subáreas.

Matemáticas

Una proporción importante de egresados de los pregrados en Matemáticas, ya sea licenciados en Matemáticas o ingenieros matemáticos, prosigue estudios de posgrado en Chile o en el extranjero incluyendo Magíster o Doctorado. Por ejemplo, en el caso de ingenieros matemáticos egresados de la Universidad de Chile (ver Figura 10.10) 50% de ellos se dedica a la docencia universitaria. A su vez, esto sugiere que dado el nivel exigido por las universidades, usualmente doctorado, probablemente más de 50% de los egresados de esa carrera prosigue estudios de posgrado. El sector industrial (bancos, instituciones financieras y otras empresas)

concentra el 45% de los egresados, mientras que 5% es empleado por el gobierno. Finalmente, la mayor parte de estos profesionales, 87%, establece su lugar de trabajo en Chile, ver Figura 10.11.

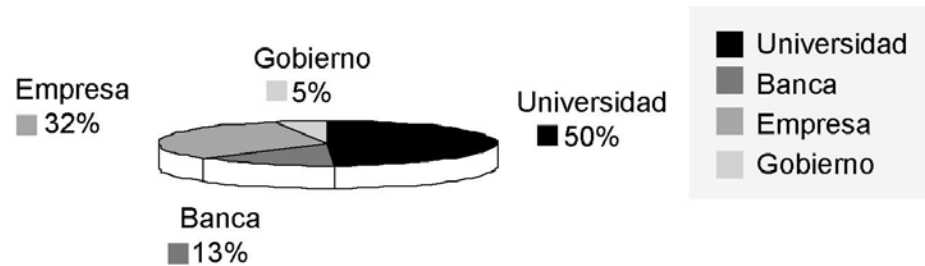


Figura 10.10. Tipo de ocupación de Ingenieros Matemáticos. Fuente: DIM, Universidad de Chile.

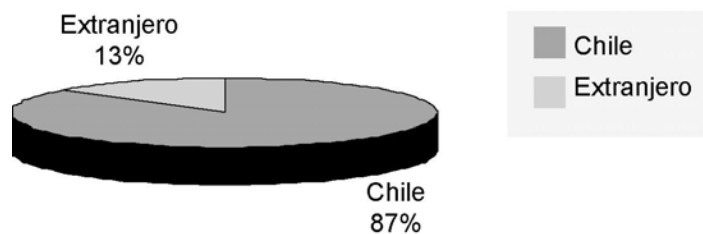


Figura 10.11. Lugar de Trabajo/Residencia de Ingenieros Matemáticos. Fuente: DIM, Universidad de Chile.

Estadística

En los últimos años ha habido una creciente oferta de varias carreras en esta área. En particular, se observa un gran número de vacantes en Ingeniería Estadística. En cambio, el título de Estadístico lo otorgan sólo dos centros de educación superior. Esa tendencia hacia la ingeniería estadística probablemente responde a cambios en el mercado laboral. Nótese que una proporción sustancial de egresados de esta área son contratados por la empresa privada, especialmente bancos, instituciones financieras y de seguros. En ese medio, un perfil profesional que combina capacidades de análisis de datos con técnicas de administración resulta atractivo.

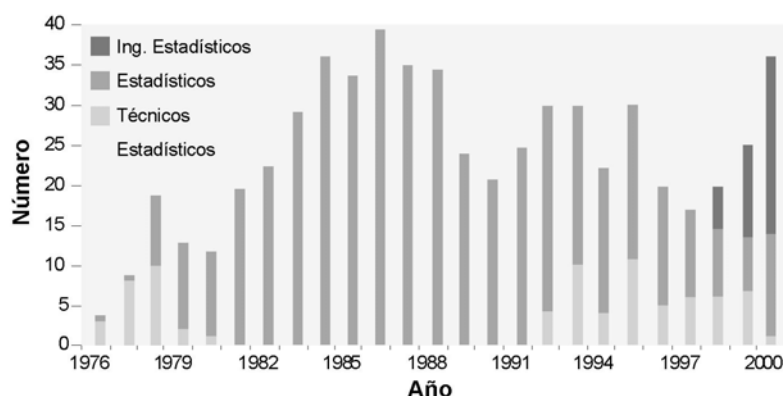


Figura 10.12. Número de egresados en Estadística, 1976-2000.

Fuente: *Un Panorama del Desarrollo de la Estadística en Chile*, N. Bahamonde, C. Bustos, P. Iglesias, C. Meza, M. Moraga, F. Torres, J. Jadue, A. Placencia, G. Icaza. 2002.

Parte de esa evolución se observa en la Figura 10.12 que muestra el número de egresados por año de las carreras de Técnico Estadístico, Estadístico e Ingeniero Estadístico de las universidades U. de Santiago, P. U. Católica de Chile, U. Católica de la Santísima Concepción, U. Austral de Chile, P. U. Católica de Valparaíso y U. de Valparaíso.

Finalmente, una proporción importante de los egresados de las carreras de pregrado en esta disciplina prosigue estudios de magíster, lo cual les permite una mejor inserción laboral o les brinda la oportunidad de estudios de Doctorado en Chile o en el extranjero.

Posgrado en Ciencias Matemáticas en Chile

Los primeros programas conducentes al grado de magíster en el área se inician en el país en la década de los sesenta, caracterizándose por ser del tipo perfeccionamiento superior masivo (no dirigidos a formar investigadores) y por contar entre sus profesores con un gran número de extranjeros. Los centros que los otorgaban fueron el Centro Interamericano de Enseñanza de la Estadística (CIENES–Master en Estadística Matemática) y la Universidad Técnica del Estado (UTE–Magister en Matemáticas LAM)

En la década del 70 se inicia una nueva etapa, dirigida a la formación de investigadores con los programas de magíster en Ciencias con mención en Matemáticas de las Universidades de Chile, Católica de Chile, Católica de Valparaíso, de Concepción y Técnica del Estado.

De más reciente creación son los programas de magíster en Ciencias con mención en Matemáticas de la Universidad Técnica Federico Santa María, Católica del Norte y el Magíster en Estadística de la Universidad Católica de Chile.

El primer programa de doctorado en el país lo establece formalmente la Universidad de Chile en su Facultad de Ciencias en 1968, aunque en la práctica sus primeros egresados son de fecha muy reciente. Esto se debe principalmente a que los profesores del departamento de matemáticas se dedicaron (hasta hace pocos años) a fortalecer su programa de magíster por sobre el de doctorado, alcanzando el primero niveles semejantes a algunos programas del segundo tipo (por ejemplo, sus tesis dieron origen a artículos en revistas internacionales de calidad); un enfoque similar han tenido también otros programas de Magíster y de Ingeniería (Civil) Matemática.

En 1972, se crea en la PUC el Doctorado en Ciencias Exactas con mención en Matemática, el cual funciona regularmente sólo desde alrededor de 1980. Este programa es el que ha producido el mayor número de doctores a la fecha.

En la década de los 90 se crearon programas de doctorado dirigidos hacia aplicaciones de la matemática, uno en la Universidad de Chile (Doctorado en Ciencias de la Ingeniería con mención en Modelación Matemática) y otro en la Universidad de Concepción (Doctorado en Ciencias Aplicadas con mención en Ingeniería Matemática), ambos a cargo de los respectivos Departamentos de Ingeniería Matemática de las Facultades de Ciencias Físicas y Matemáticas de esas Universidades.

La evolución del número de egresados de programas de posgrado en ciencias en el período 1996 a 2002 puede apreciarse en la Figura 10.13.

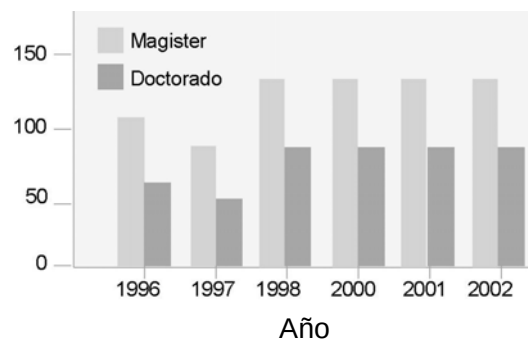


Figura 10.13. Número de egresados de programas de posgrado en ciencias, 1996 a 2002

Como se señaló anteriormente la formación de posgrado en Chile se concentró por mucho tiempo en el nivel de magíster. Esa formación fue característica hasta fines de los años noventa formando a una cantidad importante de profesores universitarios y también secundarios. Por muchos años los magísteres fueron la única alternativa de acercarse a la investigación en Chile. Luego emergen y se consolidan distintos planes de doctorado que hoy concentran una cantidad importante de los alumnos de posgrado en matemáticas de Chile. El rol del magíster pasa a ser el de puente para acceder con buena formación matemática a un doctorado en Chile o en el extranjero a muchos estudiantes con débil formación previa.

El impulso a los doctorados se ha incrementado durante los últimos 20 años y particularmente durante los últimos 10. Ello está fuertemente ligado a varios factores: al incremento de la masa crítica de investigadores en matemática en Chile; la aparición de diversos mecanismos de apoyo al posgrado en las propias universidades; la creación de programas de becas en CONICYT y Fundación Andes; los programas MECESUP del MINEDUC; la aparición de proyectos colectivos de gran envergadura; diversos esfuerzos institucionales por internacionalizar la investigación realizada en Chile, convirtiéndola en la segunda área en Chile con mayor impacto científico en la región (estudio realizado por ISI a fines de los noventa). Existen sin duda muchas iniciativas de estado y a nivel de cada universidad que han servido al fin antes descrito pero en Matemáticas el mayor impacto (por el tiempo y volumen) proviene de los proyectos regulares FONDECYT. Más recientemente se han ido agregando iniciativas grupales de envergadura como Cátedras Presidenciales, Núcleos Milenios y proyecto FONDAP en Matemáticas Aplicadas que han multiplicado los esfuerzos anteriores y apoyan directamente el desarrollo de algunos de los programas de doctorado acreditados en el país.

Los programas de becas de doctorado de CONICYT y Fundación Andes (hoy desaparecida) de fines de los 80 fueron un impulso importante para el desarrollo de la actividad doctoral en matemáticas en Chile. Por casi una década, y en función de la masa crítica de la investigación en matemáticas de esa época, el apoyo de dichos planes de becas resultó satisfactorio. Sin embargo, con la desaparición de las becas de Fundación Andes, el aumento de la masa crítica de investigadores en matemáticas en Chile y el aumento del interés por seguir estudios doctorales en nuestro país, las becas de CONICYT comenzaron a ser insuficientes dejando fuera a un número importante de buenos estudiantes. Han sido los proyectos MECESUP del MINEDUC durante los últimos 5 años, diversos planes de apoyo de las propias universidades y algunos proyectos de cierta envergadura atribuidos a investigadores en dichas instituciones (por ejemplo FONDAP) los que han permitido alternativas de becas a muy buenos alumnos chilenos y extranjeros interesados en formarse en los doctorados chilenos.

Hoy día existen 5 programas de doctorado acreditados por CONAP. Cada uno de ellos gradúa a cerca de 2 doctores en promedio anual. Es decir, una estimación medida considerando solamente los doctorados acreditados al día de hoy, y basada en las capacidades de investigación del país, dice que se pueden graduar más de 20 doctores en ciencias matemáticas al año. Esta estimación es aún más mesurada si se consideran los doctorados en proceso de acreditación y la internacionalización de muchos de los doctorados impulsada por los proyectos MECESUP en curso. Claramente hoy el factor limitante para el desarrollo de los doctorados en matemáticas en Chile es el acceso a becas. En los últimos 5 años (período de mayor crecimiento de los doctorados chilenos) han existido en promedio 5 becas CONICYT anuales para las matemáticas, (ver Figura 10.14) y en la asignación de becas 2004 hubo 7 para ciencias matemáticas de un total de 211 otorgadas en todas las disciplinas.

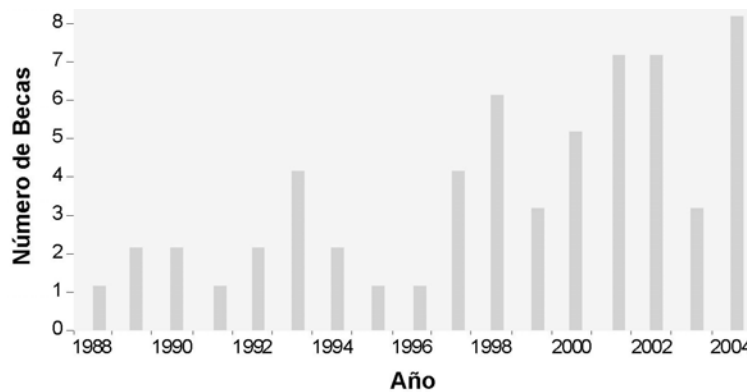


Figura 10.14: Becas de doctorado recibidas durante los últimos 15 años: (total 59; fuente CONICYT).

Esto representa menos de 4% del total de becas otorgadas, lo que no tiene relación con la calidad de los estudiantes que se han doctorado en los programas acreditados durante los últimos 5 años. La cifra muestra la necesidad urgente de buscar mecanismos para incrementar el número de becas para las ciencias matemáticas.

Programas de doctorado acreditados en Chile

1. Doctorado en Ciencias mención Matemática (Universidad de Chile)
<http://www.ciencias.uchile.cl>
2. Doctorado en Ciencias de la Ingeniería mención Modelación Matemática (Universidad de Chile) <http://www.dim.uchile.cl>
3. Doctorado en Ciencias Exactas mención Matemática (Pontificia Universidad Católica de Chile) <http://www.mat.puc.cl>
4. Doctorado en Estadística (Pontificia Universidad Católica de Chile)
<http://www.mat.puc.cl>
5. Doctorado en Ciencias Aplicadas mención Ingeniería Matemática (Universidad de Concepción) <http://www.ingmat.udec.cl>

Otro elemento importante de la formación doctoral en Chile lo representan las co-tutelas de tesis: de chilenos en el extranjero y de extranjeros en Chile. Esta modalidad de tesis, que consiste en pasantías de 1,5 años en alguna universidad extranjera para nuestros estudiantes, ha sido muy utilizada en matemáticas durante los últimos años. De particular importancia ha sido el

apoyo de la cooperación francesa a través de los programas ECOS-CONICYT. La modalidad ha permitido la amplitud de los temas de tesis desarrollados en Chile y por otro lado ha significado la valorización de la escuela matemática nacional quien ha acogido en tesis en co-tutela a estudiantes latinoamericanos y europeos.

Uno de los desafíos relevantes para las matemáticas en el campo de la formación de recursos humanos para los próximos 10 años es elevar el nivel de los profesores de matemáticas de nivel secundario y universitario, y generar los doctores que se requieren para participar en distintos proyectos de envergadura nacional a nivel industrial. Los programas de doctorado tienen el desafío de generar y consolidar las masas críticas de investigación de buen nivel que se requieren para formar nuevos planes de doctorado acreditados en las distintas áreas de las ciencias matemáticas. Por otro lado el magíster aparece como una alternativa de formación superior continua para obtener nivel matemático con perspectiva de investigación para muchos profesores secundarios. Es importante mencionar que hoy, a lo largo de todo Chile, existe la masa crítica necesaria de investigadores para realizar con éxito distintos perfiles de programas de magíster, que puedan influir directamente en el incremento del nivel en matemáticas demandado por el Ministerio de Educación. El apoyo financiero para estudiantes de magíster se limita hoy día a esfuerzos directos de los programas. Para el futuro es necesario estudiar modalidades específicas de apoyo en becas, ya sean directamente desde el Ministerio de Educación o CONICYT.

3. Las Matemáticas y el país

El desarrollo de la matemática aplicada en el país ha hecho posible enfrentar nuevos proyectos con impacto socio económico que para desarrollarse requieren de competencias matemáticas. En la primera parte de este capítulo mencionamos varios de estos proyectos. La segunda parte describe la participación de investigadores matemáticos en la Enseñanza Media.

3.1. Proyectos de matemáticas con impacto socio económico

Dentro de los diversos proyectos de Matemáticas con impacto socio económico nos concentraremos en aquellos del Centro de Modelamiento Matemático de la Universidad de Chile. Este centro fue creado el año 2000 y ha permitido vincular sistemáticamente las matemáticas y los problemas industriales de relevancia nacional. Este centro ha permitido canalizar y reforzar la investigación de punta de los Departamentos de Ingeniería Matemática de las Universidades de Chile y de Concepción (asociados al centro) y potenciar los programas de formación a nivel doctoral. El ambiente generado ha permitido ampliar la interacción de matemáticos hacia distintas áreas del conocimiento científico.

Los principales proyectos de matemáticas aplicadas desarrollados a través de estas instituciones, de los cuales tenemos conocimiento hasta el momento, son los siguientes:

1. Sistemas de modelación en transporte
Centre de Recherches sur les Transports (U. de Montréal); TERADATA – NCR; LAN Chile.
2. Arquitectura de pinos
Fundación Chile; Pontificia Universidad Católica; CIRAD, France; U. Grenoble, Francia.
3. Modelos para la dinámica en la fusión, conversión y refinamiento del cobre
IM2 CODELCOCHILE; INRIA

4. Distribución de rocas en procesos de fragmentación
IM2 CODELCOCHILE
5. Sistemas complejos en planificación minera
IM2 CODELCOCHILE
6. Energía y comunicaciones
INRIA, Francia; IMPA, Brasil; U. Duisburg, Alemania; U. Auckland, Nueva Zelandia;
EDF, Francia; ENERSIS GENER COLBÚN
7. Modelos matemáticos en biominería
INTA, U. Chile; CNRS, Francia; BioSigma S.A.; Genopole-Evry, GenopoleMarsella;
Genopole-Rhône-Alpes; INRIA Grenoble; U. Sao Paulo; U. Bourgne.
8. Criptografía aplicada
Forum of International Research Teams (FIRST)
9. Modelos de explosión de rocas
División El Teniente, Codelco-Chile
10. Desarrollo de modelos de fusión de imágenes para la medicina
Hospital San Juan de Dios (Santiago); INCA (Instituto de Neurocirugía Dr. Asenjo);
CNRS; U. Grenoble; LIRIS (Lyon); PRAXIM (Grenoble); SEGAMI (U.S.)
11. Modelación del medio ambiente
División El Teniente Codelco-Chile; INRIA; Dirección Meteorológica de Chile;
Instituto de Hidrología y Meteorología de Suecia (SMHI)
12. Optimización y equilibrio del mercado de las telecomunicaciones
Subsecretaría de Telecomunicaciones – Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones
13. Computación paralela en modelos de redes
INTEL; HP (Hewlett Packard); FUNDACION ANDES; PRAGMA; GELATO
14. Investigación en educación y contribuciones al sistema nacional de educación
Ministerio de Educación; CECM de Canadá
15. Desarrollo de un modelo de calidad del agua en ríos para la evaluación de los efectos de los
efluentes y de las modificaciones en el caudal.
Compañías CMPC, INFORSA, Ess BIO, Gacel, PETROX, Papeles BIO BIO,
Industria Azucarera Nacional, Huachipato, Empresa Eléctrica Pangue.

3.2. *Proyectos de estadística con impacto socio económico.*

Los principales proyectos aplicados externos en estadística realizados por el Departamento de Estadística de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) en los últimos años:

1. *Diseño y construcción del DICOM-Score. PUC, DICOM (1998)*

En este proyecto se desarrolló uno de los principales indicadores del comportamiento financiero de personas del país. El Dicom-Score ha tenido un alto impacto en la industria financiera y retail en términos del análisis de riesgo comercial y es ampliamente utilizado en la actualidad por bancos, financieras, casas comerciales, etc., para la implementación de sus políticas crediticias.

2. *Diseño y construcción de un sistema de calificación automático de comportamiento comercial.* PUC, Cámara Chilena de Comercio (2001-2002)

Este trabajo tuvo por finalidad la creación e implementación de un sistema de evaluación del comportamiento comercial el cual permitiera varios niveles de calificación. Esto, en el contexto en que la presencia de anotaciones en DICOM significaba un grave impedimento a personas que buscan trabajo. Al haber varios niveles de calificación de comportamiento, se da la posibilidad a las personas de no ser necesariamente mal evaluadas si presentan una o más anotaciones subsanables en el Boletín Comercial. Este sistema de calificación fue presentado por personeros de la Cámara Chilena de Comercio y por el Ministro del Trabajo.

3. *Estadística y la probabilidad para la Enseñanza Secundaria (EPES).* PUC, Ministerio de Educación (MINEDUC) (2002)

Este proyecto EPES fue fruto del convenio “Capacitación a Profesores de Matemáticas de Liceos Subvencionados de la Región Metropolitana”, suscrito entre el MINEDUC y la PUC. La ejecución estuvo a cargo del Departamento de Estadística, de la Facultad de Matemáticas, teniendo como contraparte técnica a un equipo del Programa MECE-Media.

4. *Componente fortalecimiento de la profesión docente.* PUC, MINEDUC (2003)

En este proyecto se redactó el libro “*Análisis Estadístico. Interpretando problemas de la vida cotidiana*” que es un texto de apoyo a la enseñanza de la estadística en la educación media.

Adicionalmente, la PUC ha participado en varios proyectos externos realizados a través de los cursos de consultoría estadística.

3.3. *Participación de matemáticos en la Educación Media*

La participación más antigua de investigadores matemáticos en Enseñanza Media se encuentra en las actividades desarrolladas por la Sociedad de Matemáticas a través de su comité ICMICHile (capítulo chileno del ICSU). Recientemente se ha agregado la participación del Centro de Modelamiento Matemático a través del Proyecto FONDEF D021 1090, *Estándares para la formación en Ciencias de Profesores de Enseñanza Media*. Nos referimos a estas actividades a continuación.

Reseña de las actividades de ICMICHile

El Comité ICMICHile de la Sociedad de Matemática ha desarrollado varios ejes de acción, tanto hacia los estudiantes de Enseñanza Media como hacia sus maestros.

Acciones hacia el Magisterio

En el quinquenio anterior, ICMI abrió concursos de investigación docente para Profesores de Enseñanza Media, gracias a un aporte de Fundación Andes.

Durante el quinquenio que se informa, la Sociedad de Matemática ha colaborado de manera activa con el Programa de Perfeccionamiento Fundamental (PPF) creado por el MINEDUC en 2001. En el cuadro de dicha colaboración, desde el inicio del PPF la Sociedad ha organizado cada año diversos talleres para profesores de Educación Media a lo largo del país, con la participación de alrededor de 80 matemáticos, según se indica a continuación:

- Año 2001: En enero y octubre, talleres realizados en USACH, PUC, UCV, Antofagasta, UTEM, U. Austral, U. de Concepción, La Serena.
- Año 2002: En enero se realizaron 27 cursos desde Arica hasta Punta Arenas.
- Año 2003: Se realizaron 17 cursos a lo largo de Chile, incorporando esta vez además temas de séptimo y octavo año de la Educación Básica.
- Año 2004: La Sociedad presentó al MINEDUC un proyecto de perfeccionamiento de profesores de Educación Básica en asociación con Universidad Virtual y el Centro de Gestión Ciberanía. Aunque el proyecto fue aceptado en su etapa de evaluación, su financiamiento fue rechazado.

Además, se ha publicado de manera regular la *Revista del Profesor de Matemáticas*. Fruto de la colaboración del Comité ICMI de la Sociedad con el MINEDUC, se han editado varios libros para uso de los maestros y alumnos en el marco del programa de perfeccionamiento fundamental PPF.

Acciones hacia el alumnado

Estas han tenido por fin interesar en el estudio de las Matemáticas a alumnos en general y, por otra parte, la captación de talentos.

- *Los seminarios comunales de Matemática para la Educación Media*, que hasta ahora se han concentrado en la populosa comuna de La Florida. Es una actividad que se realiza desde hace quince años de manera ininterrumpida.
- *Las Olimpiadas de Matemática*, que cumplen ya 16 años, continúa atrayendo el interés de jóvenes talentos nacionales. En la actualidad, las sociedades de Matemáticas, Física y Química están integradas en un proyecto conjunto de Olimpiadas que cuenta con el auspicio de Fundación Andes y del MINEDUC.
- *Talleres de Matemáticas en el Jamboree*. Con motivo de la realización del Jamboree Mundial de 1999, la Sociedad organizó talleres en que participaron estudiantes de varias partes del mundo, miembros de delegaciones de scouts que visitaron nuestro país.
- *Campamento de Matemáticas*. El año 2000 se realizó un campamento en Pícarquín, en la misma sede del Jamboree. Durante tres días 5.000 estudiantes de Enseñanza Media participaron en cursos y conferencias de la disciplina con profesores de Matemáticas.

Proyecto FONDEF Estándares para la formación en Ciencias de Profesores de Enseñanza Media

Como señalan sus gestores, este proyecto tiene como objetivos:

- Instalar una capacidad técnica de generación de estándares, generación de instrumentos de medición de la satisfacción de estándares preestablecidos y de certificación de la componente disciplinaria y metodológica específica de programas de formación inicial de profesores de ciencias para Enseñanza Media.
- Instalar una capacidad de generación de consensos políticos, sociales y técnicos para la regulación y certificación de profesores de ciencias para Enseñanza Media.

El proyecto ha recibido el apoyo de MINEDUC, de la Academia Chilena de Ciencias, del Colegio de Profesores, de la Asociación de Profesores de Ciencia, de las Universidades de

Atacama y de Playa Ancha de Ciencias de la Educación.

Cuatro libros constituyen el registro escrito de las propuestas del proyecto en cada una de las ciencias básicas. En cada uno se usa el concepto de eje temático en torno a los cuales se establecen los estándares propuestos. En el caso de Matemáticas, los ejes son los siguientes:

1. Fundamentos y algoritmos.
2. Estructuras algebraicas.
3. Álgebra Lineal.
4. Análisis y Geometría.
5. Probabilidades.
6. Estadística.

Luego, en cada uno de estos ejes se detallan cuatro niveles de aprendizaje, ilustrados con numerosos ejemplos. Se trata de un aporte conceptual muy importante que considera de manera efectiva un punto de vista creativo en Matemáticas, donde los redactores científicos activos en la disciplina ponen el acento en los contenidos, a diferencia de otros estudios que, preocupados de la forma de enseñar, descuidan lo anterior.

4. Propuestas

Cerramos este documento con una serie de recomendaciones concretas que permitirán fortalecer las ciencias matemáticas en Chile. Las siguientes propuestas se expresan sólo para matemáticas y estadística.

Propuesta 1. *Añadir al sistema actual al menos 10 becas nacionales de doctorado anuales, abriéndolas también a estudiantes extranjeros.*

Razón: Los programas de doctorado en matemática actualmente acreditados tienen pocos alumnos por profesor. Se podría duplicar la producción nacional de doctores sin contratar más profesores. La piedra de tope es la falta de becas. Abrirlos a estudiantes extranjeros, sobre todo a latinoamericanos tiene un sentido político importante para las relaciones con países vecinos.

Costo: Inicialmente US\$ 120.000 al año, para llegar a US\$ 600.000 en régimen estacionario (las becas incluyen un quinto año, ver punto siguiente).

Propuesta 2. *Llegar a duplicar el presupuesto de FONDECYT regular en los próximos 4 años.*

Razón: El programa FONDECYT ha sido uno de los programas más importantes para la matemática en Chile. Sin embargo, su financiamiento se encuentra estancado mientras aumenta la cantidad y calidad de investigadores.

Costo: US \$ 1.600.000 anual.

Propuesta 3. *Una biblioteca nacional de matemáticas bien equipada en libros y con suscripción a todas las revistas importantes disponibles electrónicamente para todo Chile.*

Razón: Es la herramienta básica para un matemático y Chile no tiene ninguna biblioteca completa de fácil acceso y disponible para toda la comunidad. Con las suscripciones electrónicas se lograría llegar a todo el país. Por supuesto, lo ideal sería que esto formara parte de una Biblioteca Nacional de Ciencias para el Bicentenario.

Costo: US\$ 500.000 anual, más un costo inicial de edificio y libros de US\$ 1.500.000.

Propuesta 4. *Crear un Consejo Nacional de Investigación Científica Tecnológica, en el cual exista una adecuada representación de la comunidad científica activa, en un número de siete u ocho científicos de diversas áreas, elegidos por quienes integran el directorio establecido por la Academia de Ciencias. A estos representantes se sumarían las autoridades designadas por el Gobierno. Adicionalmente, se propone establecer mecanismos permanentes de consulta y comunicación entre dicho Consejo y la comunidad científica.*

Razón: Los mecanismos actuales de consulta y comunicación son en general inexistentes. Cada organismo gubernamental debe buscar sus propios mecanismos y comprender que las disciplinas no tienen todas las mismas necesidades.

A modo de ejemplo, proponemos reunir anualmente a los responsables de el diseño de políticas científicas con representantes de los directores de la Sociedad de Matemática, de la Sociedad de Estadística de Chile y de los departamentos de Matemática y Estadística de todo el país en sesiones informales de intercambio.

Propuesta 5. *Resaltar la ciencia en los medios de comunicación y colegios.*

A modo de ejemplos:

- Establecer becas de pregrado en Ciencia entregadas en ceremonia pública.
- Establecer fondos competitivos de apoyo a actividades científicas para la Enseñanza Media.

Razón: Es importante atraer más jóvenes. Por supuesto, lo ideal sería un programa nacional de becas en ciencias.

Costo: US \$ 240.000 (pensando en 20 becas nuevas anuales de US \$ 3.000 cada una).

Las Olimpiadas Matemáticas y otras iniciativas (campamentos matemáticos) sufren cada año para obtener magros fondos. No hay dinero para portales matemáticos para Enseñanza Media y Básica. Se necesitan fondos por períodos que permitan planificar e influir con estas actividades.

Costo: US \$ 25.000 anuales.

Propuesta 6. *Crear incentivos para que la industria contribuya al financiamiento de programas académicos.*

Propuesta 7. *Financiar programas de intercambio internacionales.*

A modo de ejemplos:

- Apoyar congresos en Chile.

Razón: Los congresos son una gran oportunidad para los estudiantes e investigadores de conocer la mejor ciencia a nivel mundial.

Costo: US \$ 100.000 anuales.

- Volver a apoyar los programas internacionales de intercambio científico para estudiantes e investigadores.

Costo: US \$ 150.000 anual.

Los programas de intercambio son baratos y necesarios, pero muchas veces los países extranjeros exigen una contraparte que en Chile rara vez se ofrece. Antes había algunos fondos para intercambios y contraparte; ahora son escasísimos.

Propuesta 8. *Estudiar y desarrollar mecanismos que permitan la expansión de los departamentos de estadística con postgrado en Chile.*

Razón: En Chile hay sólo un departamento con doctorado en estadística y éste es muy pequeño. El país necesita muchos más estadísticos de alto nivel y las universidades no han invertido en esto.

Costo: A estudiarse, pero es un costo inicial (unos 10 años) principalmente.

Propuesta 9. *Crear mecanismos que permitan financiar el quinto año de becarios de doctorado con avances significativos de su tesis al cuarto año.*

Razón: El período ideal para que un estudiante formado en matemáticas complete un doctorado es de 4 años. Sin embargo muchos estudiantes, dada su formación inicial, requieren de más tiempo (entre 6 meses a un año) para consolidar sus tesis. Una opción razonable sería extender a 5 años las becas siempre que haya un buen avance en la tesis.

Costo: US \$ 40.000 anual (estimando en 5 las becas CONICYT concedidas anualmente en matemáticas y estadística, y pensando que al menos uno de los alumnos desistirá).

Propuesta 10. *Hacer depender del programa FONDECYT el sistema de asignación de becas.*

Razón: este concurso tiene visión integrado del desarrollo de las distintas áreas de investigación en Chile (maneja proyectos de investigadores y posdoctorados en la actualidad) y en matemáticas ha generado la experiencia suficiente para manejar este programa con éxito.

Propuesta 11. *Apoyar desarrollo de la ciencia en las regiones del país.*

Se deben crear mecanismos y dar incentivos que fomenten la creación de cargos de investigador en todas las universidades del país con estándares internacionales. En particular la contratación de doctores en las universidades de las regiones es muy importante en los próximos 10 años, pero además que los cargos les permitan realizar investigación. Una posibilidad interesante es que CONICYT genere estándares sobre la docencia de sus investigadores y den incentivos a través de sus programas de investigación a las universidades que los respeten.

Propuesta 12. *Estudiar mecanismos que permitan dar financiamiento a estudiantes de Magíster en matemáticas.*

Razón: Aunque el Magíster no es un grado final apropiado, es a veces un paso útil anterior al doctorado. Un Magíster de dos años todavía permite el cambio a otras disciplinas más apropiadas para algunos estudiantes (como la didáctica) y permite nivelar hacia arriba a estudiantes con estudios de pregrado deficientes, o provenientes de otras disciplinas. Un buen Magíster permite un doctorado sensiblemente más corto.

Costo: US\$ 180.000 anual (con 30 nuevas becas anuales de US \$ 5.000 cada una, menos el ahorro en años de becas de doctorado, que estimamos en US \$ 120.000).

Costo total anual de las propuestas: US\$ 3.657.000 anuales en régimen estacionario.

Leopoldo Soto (*Coordinador*), Marcelo Zambra (*co-coordinador*),
Marcelo Loewe, Gonzalo Gutiérrez, Mario Molina, Felipe Barra, Fernando Lund,
Carlos Saavedra y Patricio Haberle

Resumen- En el presente estudio se dimensiona la capacidad de investigación en Física en Chile. Para ello se ha estudiado el período entre el año 2000 y junio de 2005. En ese período ~200 físicos han contribuido a la producción científica medida en publicaciones ISI. De esos 200, ~160 corresponden a físicos teóricos y sólo ~40 a físicos experimentales; ~178 son hombres y sólo ~22 son mujeres. Un análisis mas detallado muestra que ~160 físicos tienen al menos una presencia por año en publicaciones ISI considerando los 3 últimos años. Hace 10 años, con un criterio similar (al menos una presencia en artículos ISI por año considerando trienios móviles), se cuantificó la comunidad de físicos activos de Chile en 70. Por lo tanto, en 10 años la comunidad de físicos activos en investigación en Chile se ha duplicado.

Existen 20 centros en los que se realiza investigación en física: 18 centros universitarios, un instituto estatal y un instituto privado.

Respecto de la productividad científica, tanto por disciplinas o áreas de investigación, así como también por centro de investigación, se encuentra que, generalmente, la productividad científica de un área particular de la física o de un centro de investigación, está directamente relacionada con el número de investigadores de los mismos, es decir, el porcentaje de la productividad de un área o de un centro de investigación respecto de la productividad total nacional corresponde al porcentaje de físicos del área o del centro, respecto del número total de físicos del país. Un análisis geográfico muestra que 50% de la productividad corresponde a Santiago y 50% al resto del país.

Se analiza también, de manera gruesa, el impacto de los diferentes fondos de investigación: FONDECYT, Cátedras Presidenciales y los grandes proyectos y centros de excelencia.

A juicio de los investigadores en física, FONDECYT ha resultado ser el mejor instrumento para apoyar las actividades de investigación en Chile. Sin embargo, la cantidad de proyectos adjudicados prácticamente no ha aumentado en los últimos años, lo que ciertamente es insuficiente para una comunidad que se ha duplicado. Así mismo a pesar de que 50% de la productividad corresponde a centros de regiones, sólo 35% de los proyectos FONDECYT son adjudicados a regiones.

Respecto de la física experimental, ésta representa el 20% de la comunidad, tanto en investigadores como en productividad. No obstante, en el concurso FONDECYT regular 2005 sólo 2 proyectos (10%) fueron asignados en física experimental, lo cual es sin duda insuficiente.

El estudio también incluye un breve análisis respecto de la valoración social de la física, de las actividades de divulgación a otros sectores de la vida nacional, y de la relación de la física con el sector productivo.

Finalmente se hacen algunas recomendaciones, entre ellas:

- Crear un fondo especial para física experimental en el concurso FONDECYT regular. Complementariamente, la física experimental debería ser una de las áreas prioritarias para el desarrollo científico tecnológico del país.
- Duplicar el monto asignado a física en el concurso regular FONDECYT.

- Crear un sistema que permita aumentar los sueldos de los investigadores en física de manera que sean similares al de las otras profesiones del país y al de los investigadores a nivel internacional. No sólo hay que globalizar las exigencias, también hay que globalizar los beneficios.

1. Introducción

Aún cuando hubo esfuerzos individuales anteriormente, existe relativo consenso en que la investigación en física en Chile, como actividad organizada, nació hace 5 décadas, alrededor de 1950. De esa época (1953) son las dos primeras publicaciones de carácter internacional en física, una del grupo de Física Nuclear y Radiación Cósmica y la otra del grupo de Cristalografía y Física Molecular, ambos radicados en la Universidad de Chile. Estos dos grupos de física experimental marcan el origen de la investigación en física como actividad profesional. Posteriormente, un impulso importante lo constituyó la creación, en 1954, del Laboratorio de Física Nuclear Pura y Aplicada, también en la Universidad de Chile. En los cinco años posteriores se unieron a ese laboratorio alrededor de 25 profesionales entre investigadores e ingenieros provenientes de la Escuela de Ingeniería y del Instituto Pedagógico de la Universidad de Chile y de la Universidad de Concepción. Junto a esos grupos, también hubo esfuerzos, aunque individuales, en la P. Universidad Católica de Chile, la Universidad Técnica del Estado (actual Universidad de Santiago de Chile), la Universidad de Concepción y la Universidad Técnica Federico Santa María de Valparaíso. Sin embargo, la verdadera profesionalización de la física comenzó en la década de los sesenta, con la creación de Facultades de Ciencias y sus respectivos Departamentos de Física en distintas universidades del país. Paralelamente por esos años se consolidan también los Institutos de Investigación del Estado y se funda la Comisión Nacional de Investigaciones Científica y Tecnológica (CONICYT) y la Comisión Chilena de Energía Nuclear, paradigma de la aplicación y usos de la física.

En 1965 nace la Sociedad Chilena de Física con la finalidad de "*estimular la investigación científica en el campo de la Física y ciencias afines, la divulgación de esta disciplina y el contacto de las personas, que tengan como ocupación primordial la práctica de estas ciencias*" (del artículo segundo de los estatutos). Es también a fines de los sesenta cuando se crea el primer programa de doctorado en física, en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile. De esta forma, la investigación experimental y teórica en física de afianza definitivamente, aunque no exenta de sobresaltos, como lo muestran las publicaciones científicas en el área.

Desde hace aproximadamente 25 años que existen programas de Postgrado establecidos en el ámbito de Doctorado. Los primeros programas fueron propuestos en la Universidad de Chile y en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Recientemente se han implementado otros tres programas de Doctorado, uno en la Universidad de Santiago, otro programa conjunto entre las Universidades Católica de Valparaíso y Técnica Federico Santa María, y un programa en la Universidad de Concepción.

Aún cuando la investigación en física en Chile nace ligada a la física experimental, en la actualidad sólo un quinto de los profesionales que han contribuido a la investigación en física en los últimos cinco años son físicos experimentales. El desarrollo de la física esencialmente se ha dirigido hacia la investigación pura, con nula o poca incursión en el ámbito aplicado o productivo.

Es interesante señalar que en la década de los sesenta la actividad mayoritaria de investigación en física era en el área experimental. Sin embargo, a partir de la década de los setenta, aún cuando existieron nuevos desarrollos en física experimental con la instalación de un pequeño ciclotrón en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, el desarrollo de la física se focalizó casi exclusivamente en áreas de teoría, específicamente en física de altas energías y física de

materia condensada. Aunque este decaimiento de la física experimental merece un estudio particular, hay dos hechos que influyeron de manera significativa en su desarrollo: la expulsión de científicos argentinos el año 1969, acusados de espionaje, y el golpe militar del año 1973. Ambos hechos causaron el abandono de varios laboratorios.

A principios de los 80 se da un nuevo impulso a la física experimental, particularmente en física de plasmas y óptica aplicada en la P. Universidad Católica de Chile. En la década de los 90 se constituyen laboratorios en física de sólidos, materia condensada y física no lineal en la Universidad de Chile, en la Universidad de Santiago y en la Universidad Técnica Federico Santa María.

Hoy día podemos decir que la física en Chile, pese a ser una actividad que cuenta con una comunidad relativamente pequeña (unos 200 investigadores), es una de las disciplinas científicas de alto nivel en el país. El nivel de productividad de la comunidad durante la última década, se destaca en cantidad y calidad. El promedio anual de publicaciones internacionales indexadas de cada miembro activo de la comunidad es mayor que la unidad, el factor de impacto promedio por publicación se estima en aproximadamente $\sim 1,8$.

Respecto de la historia y del grado de desarrollo de la Física en Chile, se pueden consultar las siguientes fuentes: "*La Física en Chile hacia finales del Siglo XX*", E. Vogel (Ediciones de la Universidad de la Frontera, Temuco, Chile, 1996); Informe Sociedad Chilena de Física Junio 2000 con motivo del Encuentro Chile Ciencia 2000; "Impact Factor and the International Collaboration in Chilean Physics: 1987-1994", E. Vogel, *Scientometrics*, 38, 253-263 (2002), "Aspectos históricos del surgimiento y desarrollo de la física en Chile durante el siglo XX", E. Vogel, *Rev. Mex. Fis.* **48S3**, 1-9 (2002), "Apuntes para una historia de la física en Chile", Claudio Gutiérrez y Flavio Gutiérrez (2005) en <http://www.picarte.cl/historiaFisica.pdf>.

En este informe se pretende dimensionar las capacidades actuales de la física chilena como disciplina de investigación científica. Para ello se usarán los antecedentes históricos disponibles y, principalmente, los datos recopilados específicamente con este fin que corresponden al período que va desde el año 2000 al primer semestre de 2005. Los datos relevantes para analizar el estado de desarrollo de la disciplina son: tamaño de la comunidad, disponibilidad de fondos concursables, productividad científica, existencia de programas de pre y posgrado, concentración de la comunidad y líneas desarrolladas.

2. Tamaño y características de la comunidad

Para efectos de este estudio hemos considerado físico activo a aquellos que trabajan en investigación y que han aparecido como autor o coautor a lo menos en una publicación ISI en el período 2000-Junio 2005 (no considera estudiantes de pre y posgrado al año 2005). Este ha sido el criterio fundamental para incluirlos como investigadores en física en el Directorio de la Academia Chilena de Ciencias de 2005. Cabe señalar que también se ha incluido en el Directorio a aquellos investigadores que sin haber contribuido a publicaciones ISI en el período son autores de patentes de invención, y aquellos que habiendo sido investigadores activos con anterioridad a 2000 se han destacado por su contribución a la formación de nuevas generaciones de físicos o a la divulgación de la física para otros ámbitos del quehacer nacional. El 97% de los físicos incluidos en el Directorio cumple con el criterio fundamental establecido.

Hemos identificado 205 físicos activos de acuerdo al criterio fundamental establecido (figurar como autor o coautor en al menos una publicación ISI entre el año 2000 y Junio de 2005) más una persona de una empresa privada que ha dado origen a 5 patentes en el período. Para efectos de

análisis estadísticos usaremos el universo de 205 investigadores que figuran en publicaciones ISI en el período. Al menos 160 de esos investigadores tiene grado de doctor.

De esos 205 investigadores, 165 corresponden a físicos teóricos (~80%) y 41 a físicos experimentales (~20%) (Figura 11.1). Sólo 23 de los 205 son mujeres (~10%) (Figura 11.2). El promedio de edad corresponde a 47 años. El promedio se obtuvo de una muestra de 150 investigadores que entregaron los datos de su edad de entre los 205 activos; como existe una tendencia de la gente mayor a no entregar los datos de su edad, este promedio bien podría ser mayor. La Figura 11.3 muestra la distribución por edades de los investigadores activos en Física.

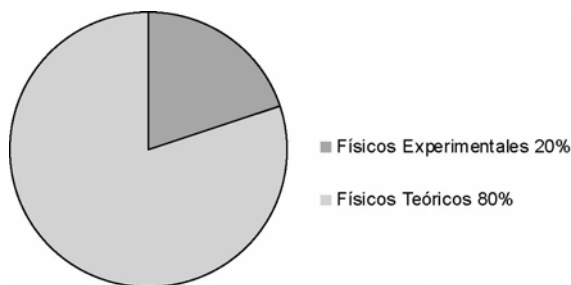


Figura 11.1. Porcentaje de físicos teóricos vs físicos experimentales.

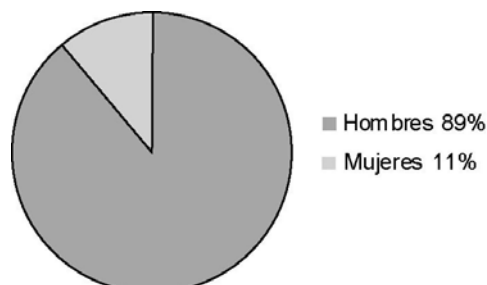


Figura 11.2. Distribución por sexo de los investigadores en Física.

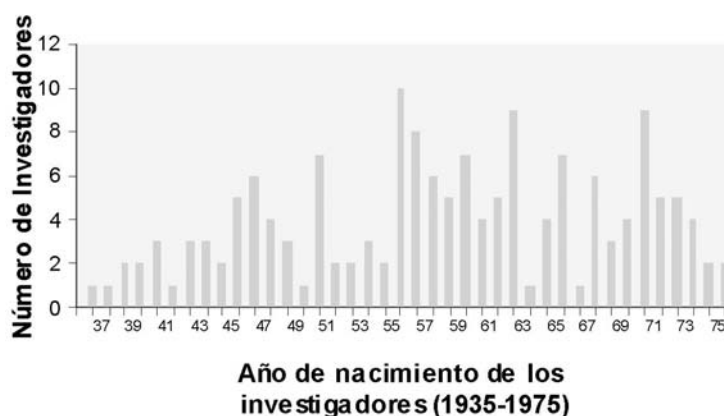


Figura 11.3. Distribución de físicos activos por año de nacimiento.

3. Productividad medida en presencias en artículos ISI

De la información recopilada para el período 2000-junio2005 se desprende que la productividad total de la disciplina es del orden de ~100 a 120 artículos ISI por año. Cada artículo tiene 3 autores en promedio. La figura 11.4 muestra la presencia de los investigadores en física en publicaciones ISI en el período 2000-junio2005.

De los datos se desprende que la presencia promedio de un investigador en física como autor o coautor en artículos en revistas ISI es de 1,45 por año. Un análisis más detallado de la información muestra que aproximadamente:

10% tiene sólo un artículo en los últimos 5 años

12% tiene 2 artículos en los últimos 5 años

15% tiene 3 artículos en los últimos 5 años
 37% tiene entre 1 y 2 artículos por año
 13% tiene entre >2 y 3 artículos por año
 4% tiene entre >3 y 4 artículos por año
 5% tiene entre >4 y 5 artículos por año
 2% tiene entre >5 y 6 artículos por año
 2% tiene 7 o más artículos por año

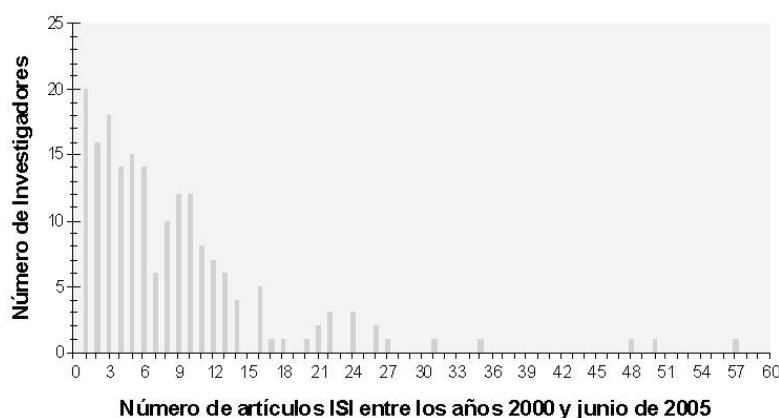


Figura 11.4. Presencias de investigadores en física en artículos ISI en el período 2000-Junio 2005

Es decir, considerando los últimos ~5 años, el 63% de los físicos activos tiene al menos una presencia por año en artículos ISI, lo que corresponde a ~130 físicos. Es importante señalar que en el estudio de Vogel publicado en 1996 (*“La Física en Chile hacia finales del siglo XX”*, E. Vogel, Ediciones de la Universidad de la Frontera, Temuco, Chile, 1996), se definió como físico activo a aquel que tenía en promedio al menos una presencia por año en artículos ISI, considerando trienios móviles. Con ese criterio y considerando los últimos dos trienios móviles, Vogel determinó que en 1995 había 70 físicos activos en Chile. Para dar la posibilidad de incluir a aquellos físicos recientemente doctorados podemos agregar aquellos que tienen 3 artículos ISI en los últimos ~5 años, lo que suma un 15%, *i.e.* un total de 160. Es decir que, usando un criterio similar al que usó Vogel hace una década, habría entre 130 y 160 físicos productivos en Chile. Por lo tanto podemos afirmar que en una década se ha duplicado la cantidad de físicos investigadores en Chile.

4. Instituciones en las que se hace investigación en Física

Se han identificado 20 instituciones en las que se hace investigación en física en el país. La Tabla 11.1 lista las instituciones y detalla la cantidad de físicos activos en cada una, así como también una estimación de su productividad medida en artículos ISI con afiliación de la institución. Cabe señalar que un artículo puede tener más de una institución patrocinante. Para determinar la cantidad de físicos relacionados con una institución se consideró la afiliación que el investigador declara en sus publicaciones, más allá de la existencia o no de un contrato formal.

En la última década se han abierto espacios para físicos investigadores en universidades regionales, privadas y en la Comisión Chilena de Energía Nuclear, aumentando así el número de instituciones en las que se realiza investigación en física.

Tabla 11.1. Instituciones en donde se hace investigación en Física*			
Institución	Región	Cantidad de físicos activos (% aproximado del total)	Artículos ISI con afiliación de la institución (% aproximado del total)
Universidad de Tarapacá	I Región	8 (3,9%)	2,4%
Universidad de Antofagasta	II Región	2 (1%)	0,4%
Universidad Católica del Norte	II Región	5 (2,4%)	1,9%
Universidad Técnica Federico Santa María	V Región	18 (8,7%)	20%
Universidad Católica de Valparaíso	V Región	17 (8,2%)	4,8%
Universidad de Santiago	Región Metropolitana	26 (10%)	10%
Universidad de Chile	Región Metropolitana	39 (19%)	21,5%
Pontificia Universidad Católica de Chile	Región Metropolitana	24 (11,6%)	14,3%
Universidad Diego Portales	Región Metropolitana	2 (1%)	0,3%
Universidad Nacional Andres Bello	Región Metropolitana	5 (2,4%)	1%
Universidad de los Andes	Región Metropolitana	2 (1%)	1%
Comisión Chilena de Energía Nuclear	Región Metropolitana	8 (3,9%)	4,3%
Universidad de Talca	VII Región	2 (1%)	0,3%
Universidad Católica del Maule	VII Región	1 (0,5%)	0,3%
Universidad de Concepción	VIII Región	15 (7%)	6,2%
Universidad del Bio Bio	VIII Región	2 (1%)	0,7%
Universidad de la Frontera	IX Región	13 (6%)	3 %
Universidad Austral de Chile	X Región	4 (2%)	1%
Centro de Estudios Científicos del Sur	X Región	7 (3,4%)	3,5%
Universidad de Magallanes	XII Región	4 (2%)	0,5%
Empresas sector privado		2 (1%)	
TOTAL		206	

* Las estimaciones de productividad se basan en el número de apariciones de un investigador como autor o co-autor en artículos ISI; del mismo modo, la productividad de un área o de una institución esta dada por el número de apariciones en artículos ISI. No se logró recopilar datos con el suficiente detalle como para hacer un análisis del impacto de las publicaciones.

De la Tabla 11.1 se observa que existe una directa correlación entre la cantidad de físicos activos y la productividad de la institución. Un caso singular es el de la Universidad Técnica Federico Santa María que tan sólo con 8,7% de los físicos activos del país contribuye con cerca de 20% de las publicaciones en física del país. Un análisis más detallado muestra que el grupo de física de partículas y altas energías de esa institución es el que contribuye fuertemente a esa singularidad.

Las 20 instituciones son: 18 universidades, un instituto privado con financiamiento público y privado y un instituto estatal. De las universidades, 3 son privadas. La mitad de los físicos activos está en regiones y la otra en la Región Metropolitana. El 50% de la productividad nacional se

origina en regiones y la otra mitad en la Región Metropolitana. Hace una década sólo 35% de la productividad se originaba en regiones y 65% en la Región Metropolitana.

Tabla 11.2. Areas de investigación en Física en Chile.			
Area	Instituciones	Número de investigadores (% aproximado del total)	Productividad aproximada relativa (%)
Física de la Materia Condensada, Física de Materiales y Mecánica Estadística	Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Chile, Universidad de Santiago, Universidad Técnica Federico Santamaría, Universidad de la Frontera, Universidad de Tarapacá, Universidad Católica del Norte. Comisión Chilena de Energía Nuclear	51 (25%)	25
Física de Altas Energías, Partículas, Gravitación y Cosmología.	Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Chile, Universidad de Santiago, Universidad Técnica Federico Santamaría, Universidad de la Frontera, Universidad de Concepción, Universidad del Bío-Bío, Universidad Católica de Valparaíso, Centro de Estudios Científicos del Sur.	48 (23%)	27
Física No Lineal y Fluidos	Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Chile, Universidad de Santiago, Universidad del Bío-Bío, Universidad Católica de Valparaíso.	16 (7.8%)	10
Optica Cuántica	Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Santiago, Universidad de Concepción, Comisión Chilena de Energía Nuclear.	8 (4%)	4,5
Física Atómica y Molecular	Universidad de Chile, Universidad de Concepción.	7 (3.4%)	4
Física de Plasmas	Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Chile, Universidad de Santiago, Universidad de Concepción, Comisión Chilena de Energía Nuclear.	14 (7%)	8,6
Física Nuclear	Universidad de Chile	5 (2.5%)	1
Otras especialidades de la Física, o no las declaran		56 (27%)	19,9

5. Areas de investigación en Física en Chile

La Tabla 11.2 muestra las áreas de investigación en física en Chile. Incluye las instituciones, la cantidad de investigadores y la productividad relativa.

Las áreas mas desarrolladas son la física de la materia condensada, materiales y mecánica estadística y la física de altas energías, partículas gravitación y cosmología, que abarcan entre ambas el 48% de los investigadores y el 52% de la productividad.

Hay una relación directa entre el tamaño de la comunidad en cada área y su productividad.

6. Física Experimental

De los 205 investigadores activos sólo 41 se declaran físicos experimentales; esto es sólo 20% del total y su contribución a la productividad total nacional es de un 18%. La presencia promedio de un investigador desde Chile en física experimental en artículos publicados en revistas ISI es de 1,28 al año, mientras que la de un investigador en física teórica es de 1,5 al año. Es decir el número total promedio de publicaciones de un físico experimental de Chile en 10 años es de 13 artículos ISI, mientras que para un teórico es de 15 artículos ISI en 10 años.

Tabla 11.3. Instituciones en las que se realiza física experimental, áreas de desarrollo, cantidad de investigadores y productividad relativa respecto de la productividad total en física experimental.			
Institución	Área	Nº de investigadores (% respecto del total de físicos experimentales)	Productividad relativa aproximada respecto de la productividad total en física experimental
Pontificia Universidad Católica de Chile	Materia Condensada	3 (5%)	9%
	Física de Plasmas	4 (10%)	13%
Universidad de Chile	Materia Condensada	4 (7,5%)	10%
	Física Nuclear	3 (7,5%)	5%
	Cristalografía	2 (5%)	19%
	Física No lineal***	2 (5%)	—
Universidad de Santiago	Física No Lineal	4 (10%)	6%
	Física de Materiales y	3 (5%)	5%
	Semiconductores*	1 (2,5%)	0,3%
	Optica Cuántica*		
Comisión Chilena de Energía Nuclear	Física de Materiales*	3 (7,5%)	3%
	Física de Plasmas*	4 (10%)	17%
Universidad Católica del Norte	Física de Materiales**	1 (2,5%)	0,5%
Universidad Técnica Federico Santa María	Física de Materiales*	2 (2,5%)	7%
Universidad Católica de Valparaíso	Optica**	2 (2,5%)	2%
Universidad de Concepción	Termo-opto-acústica y Física de Materiales**	2 (2,5%)	0,7%
Universidad de la Frontera	Optica*	1 (2,5%)	1%
	Fluorescencia de Rayos X **	1 (2,5%)	1%
Universidad Austral de Chile	Instrumentación	1 (2,5%)	1%

* Laboratorios creados en la última década

**Laboratorios creados en los últimos 5 años

*** Laboratorio creado en el último año, por tanto no hay datos durante los ~5 años del estudio estadístico. Sus investigadores se incorporaron a la Universidad de Chile durante el año 2004.

La Tabla 11.3 lista las instituciones en las que se realiza física experimental, áreas de trabajo, cantidad de investigadores y estimación de la productividad relativa respecto de la productividad total en física experimental. Para la estimación de la productividad se ha usado la presencia en artículos ISI de los físicos experimentales de las respectivas áreas en el periodo 2000-junio 2005.

Es importante señalar que de 18 laboratorios existentes, 11 han sido creados en la última década. Además, en la Universidad de Concepción se ha iniciado recientemente la creación de un laboratorio de óptica cuántica.

El grupo de cristalografía es el más productivo con un 19% de la producción nacional y tan sólo el 5% de los físicos experimentales del país. De los grupos creados en la última década se destaca el de física de plasmas de la Comisión Chilena de Energía Nuclear con 17% de la productividad nacional y el 10% de los físicos experimentales del país. Este grupo es una verdadera singularidad en el país, dado que no se ha desarrollado en un lugar universitario.

Tabla 11.4. Instituciones con pre o posgrado (o ambas) en física				
Institución	Vacantes ofrecidas ingreso al pregrado (Marzo 2005)	Graduados en Física		
		Pregrado N° total del período 2000-Jun 2005)	Magíster N° total del período 2000-Jun 2005	Doctorado N° total del período 2000-Jun 2005
Universidad Católica del Norte*	40	sin grad. aún	no posee	no posee
Universidad Técnica Federico Santa María ^{1,4}	~20 de 200 del plan común con ingeniería	~5	4	3
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	20 (plan común entre pedagogía y licenciatura)	5		
Universidad de Chile (Fac. de Ciencias)	25	25	4	4
Universidad de Chile (Fac. Cs. Físicas y Matem.) ¹	~20 de 540 del plan común con ingeniería	25		
Pontificia Universidad Católica de Chile	20	54	25	15
Universidad de Santiago de Chile	55 (Ing. Física)	46	Sin información	7
Universidad de Concepción ^{2,4,5}	100 (plan común entre lic. física y lic. astronomía)	23	4	0
Universidad de la Frontera*, ³	Ingreso especial	3	no posee	no posee
Totales	-	186	37	29

* programas creados en la última década.

¹ En los planes comunes de la UTFSM, y FCFyM de la UCh no se han entregado datos de los alumnos que, luego de iniciar el plan común, continúan en el programa de Licenciatura; en ambos se podría considerar que las vacantes son de alrededor de 20. Por ejemplo los matriculados en física en la FCFyM-UCh son 28 el 2000, 40 el 2001, 48 el 2002, 54 el 2003, 68 el 2004; se informa que los alumnos se inscriben semestre a semestre (en este sentido el número dado sería acumulativo) y no se precisan las deserciones y cambios de carrera. Si la inscripción es repetitiva por tres veces consecutivas, el ingreso a física sería un tercio del número entregado, es decir, alrededor de 20 alumnos.

² No hay diferencia de especialidad al ingreso (pedagogía y licenciatura en física y astronomía, según sea el caso).

³ La carrera de Licenciatura en Física Aplicada de la UFRO se creó en 1991, a ella se puede ingresar vía transferencia de carrera o vía título (actualmente tiene seis estudiantes, distribuidos en los diferentes niveles). Desde su creación se han graduado 4 estudiantes, tres de ellos en el período 2000-Jun 2005.

⁴ Con posgrados de creación y acreditación reciente (año 2000-2001).

⁵ El programa de posgrado en física incluye profesores invitados de la Universidad la Frontera, Centro de Estudios Científicos del Sur y Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Es interesante notar que con los esfuerzos de los años 50, se logró, en menos de una década, aglutinar en torno a un proyecto de física pura y aplicada a un total de 25 profesionales (físicos experimentales mayoritariamente, físicos teóricos e ingenieros). Lamentablemente su desarrollo se vio afectado negativamente por los hechos históricos señalados en la introducción. El país no ha

vuelto a hacer un esfuerzo de esa envergadura en física experimental, un esfuerzo que no sólo signifique equipamiento e infraestructura sino, más importante aún, aumentar significativamente el número de investigadores dedicados a la física experimental y preparar profesionales y técnicos de alto nivel que apoyen directamente esta actividad. Dado el conocimiento que se tiene del papel que la física experimental juega en países desarrollados, y la intención gubernamental de crear una economía basada en el conocimiento, la física experimental debería ser área prioritaria para el desarrollo científico tecnológico del país. La física experimental es un área absolutamente abandonada en las políticas gubernamentales de desarrollo científico en las últimas décadas, al menos en la práctica y en los criterios de selección de proyectos, cualesquiera que éstos sean. También es posible visualizar la dificultad que significa ser competitivo con proyectos de física experimental. En el concurso FONDECYT regular, por ejemplo (ver más adelante), cuando una parte importante del presupuesto de un proyecto está destinado a bienes de capital (que sólo alcanza para equipamiento menor de laboratorio), es un hecho que se consideran viables las propuestas desde el punto de vista científico pero no desde el económico.

7. Formación de Pre y Posgrado

Existen 9 instituciones que otorgan un grado equivalente a Licenciatura en Física en el país. Tres de ellos han sido creados en la última década en universidades de regiones (Tabla 11.4). El número de vacantes anuales se puede estimar en 220 y el número de graduados anuales en 34.

Existen 5 programas de posgrado acreditados en el país que otorgan grados de magíster y doctor (Tabla 11.4). En los últimos 5 años se han graduado en el país 37 magísteres y 29 doctores en física, es decir se gradúa un promedio de 5 a 6 doctores al año. Estos programas se han visto beneficiados por los proyectos MECESUP del Ministerio de Educación.

8. Actividades de difusión a la comunidad y al sector escolar

Todas las instituciones en las que se desarrolla investigación en física realizan actividades de difusión al sector escolar. También existen esfuerzos extrainstitucionales como por ejemplo el grupo PROFISICA.

Hace 4 años las Olimpiadas de Física, organizadas históricamente por un grupo de físicos de buena voluntad, fueron asumidas como actividad oficial de la Sociedad Chilena de Física. En las Olimpiadas de Física participan anualmente alrededor de 1.500 estudiantes de enseñanza media de todo el país, los que son sometidos a pruebas teóricas y experimentales. Alrededor de 85 estudiantes participan de la final nacional. Desde 2003 los ganadores participan en las Olimpiadas Iberoamericanas, habiendo obtenido lugares destacados en dos oportunidades.

Existen dos grandes iniciativas de divulgación científica a nivel nacional. Una de ellas es el Museo Interactivo Mirador (MIM), en cuya creación y dirección científica original participó a tiempo completo un físico investigador con doctorado (L. Huerta) durante 5 años, hasta poco después de su inauguración en el año 2000. La otra iniciativa es el programa EXPLORA de CONICYT. Ambas iniciativas han jugado un importante rol en la divulgación de la física al sector escolar y a la comunidad en general. Parece necesario que estas dos iniciativas se fortalezcan a futuro. También sería importante que se implementen políticas que incentiven a instituciones y personas a presentar proyectos de divulgación y valoración social de la ciencia, garantizando acceso transparente e igualitario a los recursos que CONICYT destina para este fin.

9. Valoración social de la Física e ingresos de los investigadores

Junto con los resultados que la ciencia produce, el otro elemento que está íntimamente ligado a la valoración social de la ciencia es el lugar que los científicos ocupan en la sociedad con respecto a remuneraciones. El sueldo promedio de un científico está muy por debajo del sueldo promedio de otros profesionales del país. Esta situación no es así en países desarrollados; en muchos de ellos son equivalentes e incluso, en algunos, el sueldo promedio de los científicos es mayor. Los investigadores en física en Chile han alcanzado un nivel competitivo a nivel internacional y es el momento en que los sueldos también tengan un nivel competitivo similar al de otras profesiones del país y al de los investigadores a nivel internacional. No sólo hay que globalizar las exigencias, también hay que globalizar los beneficios.

10. Conexión con el ámbito productivo

La llamada conexión ciencia básica sector productivo es uno de los ámbitos no satisfechos por la física en nuestro país. Existen esfuerzos por satisfacer este vínculo en algunas instituciones donde se han creado programas de pregrado especiales. Por ejemplo, el programa de Ingeniería Física de la Universidad de Santiago que pretende vincular física e ingeniería. Lamentablemente no se han consolidado experiencias aisladas de físicos en proyectos de desarrollo de empresas privadas. Satisfacer el vínculo entre la investigación básica en física y el sector productivo pasa por un incremento sustancial de la comunidad y de la implementación de políticas de Estado para motivar la generación de proyectos de desarrollo en empresas privadas. Una observación importante es que en los países desarrollados que han alcanzado un alto nivel industrial existen entre 3 y 4 físicos experimentales por cada físico teórico, en nuestro país la proporción es al revés: un físico experimental por cada cuatro físicos teóricos.

En la conexión con el sector productivo podrían jugar un rol importante los Institutos del Estado, por ejemplo, el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, Institutos CORFO, Comisión Chilena de Energía Nuclear. Para ello debe incrementarse el número de físicos activos en sus plantas. La Comisión Chilena de Energía Nuclear es el único Instituto del Estado que ha incorporado físicos activos en la última década y ha logrado consolidar un grupo en física experimental.

11. Fondos para actividades de investigación

FONDECYT: A juicio de la comunidad de físicos, el programa FONDECYT regular ha resultado ser el mejor instrumento para apoyar las actividades de investigación en Chile. Anualmente se aprueban aproximadamente 20 proyectos por año. Hasta hace poco los proyectos se aprobaban por un máximo de 3 años, por lo tanto se contaba en régimen estacionario con unos 60 proyectos en ejecución por año. Desde hace algunos años los proyectos consideran un máximo de cuatro años de ejecución y por lo tanto hoy, en régimen estacionario, se podrían tener 80 proyectos en física en ejecución por año, lo que implicaría un aumento de 33%. Ciertamente eso es insuficiente para una comunidad que se ha duplicado en la última década (de alrededor de 70 físicos razonablemente productivos a 145). Por otro lado, a pesar que la productividad entre la Región Metropolitana y las regiones se ha igualado, esto no se ha reflejado en la proporción de proyectos aprobados en regiones; actualmente sólo el 35% de los proyectos FONDECYT regular se ejecuta en regiones.

Respecto de la física experimental, ésta representa el 20% de la comunidad tanto en investigadores como en productividad. En el concurso FONDECYT regular 2005 sólo 2 proyectos (10%) fueron asignados a investigaciones en física experimental, lo que sin duda es insuficiente.

Cátedras Presidenciales en Ciencia: Las Cátedras Presidenciales correspondían a proyectos otorgados por el Presidente de la República, directamente a investigadores destacados (a juicio de un jurado internacional de reconocidos méritos). Su monto anual era equivalente al monto promedio de 2 a 3 proyectos FONDECYT de física, y se otorgaban hasta por tres años. Se otorgaron en cuatro oportunidades desde el año 1999 y 48 investigadores se vieron beneficiados con esta iniciativa, de los cuales 7 corresponden a físicos. Las áreas de la física beneficiadas fueron: física matemática, física de medios continuos, física de sistemas fuera del equilibrio, física de altas energías, física no lineal experimental, materia condensada y física de plasmas experimental. A la fecha no se ha realizado una evaluación del programa. Sin embargo se puede decir que los investigadores beneficiados mantuvieron o aumentaron su productividad e impacto, así como también la libertad que podían dar a sus proyectos les permitió, en algunos casos, explorar nuevas líneas de investigación. Se pueden mencionar dos casos que marcaron una diferencia cualitativa entre "antes y después" de la Cátedra Presidencial, uno es el caso de física de altas energías en la Universidad Técnica Federico Santa María, donde la productividad del área aumentó considerablemente. El otro es en física de plasmas experimental, que permitió consolidar un grupo de física experimental activo y productivo en la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Grandes proyectos y los Centros de Excelencia: Entre éstos encontramos los proyectos del Fondo de Areas Prioritarias FONDAP, los Institutos y Núcleos Milenio y recientemente los asociados al Programa Bicentenario en Ciencia Tecnología (anillos, consorcios, etc.). Física se ha visto beneficiado con:

- Un proyecto FONDAP en *Ciencia de Materiales*. El monto anual asignado corresponde al promedio de 30 proyectos FONDECYT de Física. Se otorgan por 5 años renovables a 10.
- Un Instituto Milenio en *Biología, Física y Glaciología*, Centro de Estudios Científicos del Sur, CECS. El monto anual asignado corresponde al monto promedio de 30 proyectos FONDECYT de Física o 20 proyectos FONDECYT de Biología. Se otorgan por 5 años renovables a 10.
- Un Núcleo Milenio en *Materia Condensada*. El monto anual asignado corresponde al promedio de ~10 proyectos FONDECYT de Física. Se otorga por 3 años renovables contra la presentación de un nuevo proyecto.
- Un Núcleo Milenio en *Información Cuántica*. El monto anual asignado corresponde al promedio de 10 proyectos FONDECYT de Física. Se otorga por 3 años renovable contra la presentación de un nuevo proyecto.

El FONDAP en Ciencia de Materiales se inició con la participación de investigadores en materiales, biomateriales y medios continuos e investigadores en materiales avanzados tales como cerámicas y películas delgadas. El proyecto fue renovado recientemente. Actualmente los investigadores experimentales en cerámicas y películas delgadas no forman parte de la segunda etapa del FONDAP por decisión propia.

El CECS, al constituirse en Instituto Milenio, se trasladó a la ciudad de Valdivia y sus investigadores dieron fin a sus compromisos contractuales con las universidades. En el área de física se concentran en Gravitación y Cosmología y han mantenido o aumentado sus estándares de productividad en la nueva etapa. Recientemente fue renovado su financiamiento.

El Núcleo Milenio en Materia Condensada se estableció como colaboración a nivel nacional con investigadores en Antofagasta, Valparaíso, Santiago y Temuco. Ha desarrollado física teórica y experimental y ha apoyado a investigadores jóvenes. Recientemente fue renovado por tres años.

Se puede ver que el área de ciencia de materiales y materia condensada ha recibido un fuerte apoyo por la vía de grandes proyectos, sin embargo la productividad del área no ha mostrado un cambio cualitativo respecto de otras áreas, ya que ésta, al igual que en otras áreas, ha sido proporcional al número de investigadores más que a los fondos asignados (ver Tabla 11.2). La observación precedente es una indicación de que para aumentar la productividad en física podría ser más eficiente invertir en recursos humanos más que en grandes proyectos, o que los grandes proyectos deben estar orientados a multiplicar la cantidad de investigadores activos. Por cierto que los resultados e impacto de ese tipo de proyectos van más allá de su productividad y se espera que ésta se refleje en los próximos años.

El Núcleo Milenio de Información Cuántica fué aprobado recientemente y está alojado en la Universidad de Concepción.

Se recomienda una evaluación profunda y seria de programas, como la Iniciativa Milenio, que distribuyen importantes fondos. Esa evaluación debería comparar los resultados obtenidos con los que rinden otros programas, como el Programa Regular de FONDECYT. La evaluación debiera considerar también el proceso de selección, normar la renovación periódica de los expertos del jurado, y la separación del juicio técnico respecto a los proyectos, de las decisiones sobre las políticas del programa.

El Programa Bicentenario en Ciencia y Tecnología ha sido implementado por la actual administración del Estado. Su orientación ha sido conectar la actividad científica con la actividad productiva de la nación. Si bien compartimos este objetivo, ha faltado una mayor discusión con la comunidad científica en la creación de nuevos instrumentos. El Proyecto Bicentenario ha creado programas especiales orientados a las universidades, a las regiones y a la empresa privada. Falta un programa orientado directamente a los Institutos del Estado, principalmente para la inserción de doctores que permitan crear grupos de investigación competitivos en ellos y aprovechar sus recursos internos para la realización de investigación científica y desarrollo tecnológico.

12. Conclusiones y recomendaciones

Se ha dimensionado el tamaño de la comunidad de físicos, que ha figurado como autor o coautor al menos con un artículo ISI en los últimos ~5 años, en 205 físicos activos (al menos 160 de ellos tiene el grado de doctor). De estos 205 físicos activos hay 160 que tiene al menos 3 presencias como autor o coautor en los últimos 5 años. Asimismo existe un grupo de 130 físicos que tiene, en promedio, al menos una publicación como autor o coautor en un artículo ISI por año (considerando los últimos 5 años). Hace una década, usando como criterio una presencia promedio en trienios móviles como autor o coautor de 1 artículo por año, se determinó que existían aproximadamente 70 físicos que cumplen con ese requisito. Podemos concluir que en una década se ha duplicado la cantidad de físicos productivos del país de 70 a 140.

La Física en Chile se realiza principalmente en universidades pero se deberían explorar otros sectores: industria, fuerzas armadas e institutos estatales. En particular, a partir de la infraestructura y calificación técnica de los Institutos del Estado, se recomienda incorporar plenamente a éstos a un sistema competitivo de investigación científica y tecnológica, dotándolos de suficientes investigadores calificados y removiendo las trabas burocráticas y administrativas que impiden su desarrollo.

Sólo uno de cada cinco físicos activos del país desarrolla física experimental como su actividad principal de investigación. En los países desarrollados la proporción es al revés, 1 físico teórico por cada 4 físicos experimentales. Se deben realizar esfuerzos y programas especiales orientados a ampliar la comunidad de físicos experimentales y revertir esta proporción en los próximos años. Complementariamente se recomienda crear un programa de equipamiento mayor para laboratorios. Por otro lado, como se ha constatado, el 20% de la comunidad corresponde a física experimental y su productividad corresponde a 18%. Sin embargo sólo 2 de 20 proyectos, *i.e.* el 10%, fue asignado a física experimental en el último concurso FONDECYT regular. La naturaleza distinta respecto de los costos involucrados en el desarrollo de proyectos experimentales (infraestructura, apoyo técnico, gastos de operación) supera con creces los costos de un proyecto en física teórica y no permite una competencia equitativa dentro un mismo grupo de estudio con un fondo común a repartir entre físicos teóricos y experimentales. Se recomienda crear un fondo especial para física experimental en el concurso FONDECYT regular. Aún más, dado el papel que la física experimental juega en países desarrollados, y la intención gubernamental de crear una economía basada en el conocimiento, la física experimental debería ser una de las áreas prioritarias para el desarrollo científico-tecnológico del país.

La cantidad de proyectos FONDECYT aprobados por año se ha mantenido fija en aproximadamente 20 proyectos en los últimos 10 años. Sin embargo, hace 5 años la duración de los proyectos ha aumentado de 3 a 4 años, con lo que la cantidad de proyectos en ejecución en régimen estacionario ha aumentado de 60 a 80. Esto significa un aumento de un 33% en el número de proyectos en ejecución, lo que es insuficiente para una comunidad que ha crecido al doble en cantidad y productividad. Actualmente se presentan alrededor de 45 proyectos al concurso FONDECYT regular. A juicio de los investigadores que han participado de los grupos de estudio, aproximadamente 40 de ellos cumple con los estándares de calidad como para ser aprobados y sin embargo no hay suficientes fondos. Siendo FONDECYT el instrumento más exitoso en el desarrollo de la investigación en física, se recomienda duplicar el monto asignado a física. Con la duplicación del fondo se podrá satisfacer la demanda de los nuevos investigadores que se han incorporado y se incorporarán al sistema ya sea en universidades tradicionales, privadas, regionales o institutos estatales.

Los grandes fondos y programas son bienvenidos en la medida que no afecten el crecimiento del programa de FONDECYT regular y en la medida que demuestren una multiplicación de la productividad e impacto científico, tanto en ciencia como en otros sectores del quehacer nacional.

Respecto de la valoración social de la física, junto con divulgar los resultados que la ciencia produce, hay que mejorar las condiciones económicas de los físicos. El sueldo promedio de un científico está muy por debajo del sueldo promedio de otros profesionales del país. Esta situación no es así en países desarrollados en los que son equivalentes e incluso en algunos casos el sueldo promedio de los científicos es mayor. Los investigadores en física en Chile han alcanzado un nivel competitivo a nivel internacional y es el momento en que los sueldos también alcancen un nivel competitivo comparable al de otras profesiones del país y al de los investigadores a nivel internacional. No sólo hay que globalizar las exigencias, también hay que globalizar los beneficios. Se recomienda crear un sistema nacional que permita, en promedio, duplicar los ingresos de los investigadores que han alcanzado estándares de productividad y calidad internacional.

Agradecimientos: La recopilación de información ha sido realizada por los integrantes del capítulo y con la colaboración de varios físicos y profesionales del país. Los miembros del comité agradecen la colaboración de Edmundo Lazo de la Universidad de Tarapacá, Pedro Orellana de la Universidad Católica del Norte, Marcela Aguirre de la Universidad Técnica Federico Santa María, Joel Saavedra de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Ricardo Pesse y Juan Carlos Retamal de la Universidad de Santiago de Chile, Daphne Boys de

la Universidad de Chile, Giliana Pérez de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Rodrigo Aros de la Universidad Nacional Andrés Bello, Orazio Descalzi de la Universidad de los Andes, Andrea Rozas y Cristian Pavez de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, Carlos Romo de la Universidad Católica del Maule, Marcela Sanhueza de la Universidad de Concepción, Juan Carlos Parra y Sergio Contreras de la Universidad de la Frontera, Paulina Schuller de la Universidad Austral de Chile, Ricardo Monreal de la Universidad de Magallanes, y Ricardo Troncoso del Centro de Estudios Científicos del Sur.

Sebastián López (*Coordinador*), Mario Hamuy, Luis Felipe Barrientos,
José Maza y María Teresa Ruiz

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

1. Introducción

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

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

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

Nuestro estudio comienza con una breve reseña histórica de la astronomía chilena (Capítulo 2), seguida de una descripción de los observatorios internacionales en Chile (Cap. 3), y en el Cap. 4 de la gestión del astrónomo y la utilización por parte de éste de los recursos observacionales. En el

Cap. 5 describiremos los centros chilenos de astronomía, y en el Cap. 6 el papel de la astronomía chilena en la sociedad. En el Cap. 7 se describe la comunidad astronómica chilena profesional y las diferentes áreas de investigación. El capítulo 8 está dedicado a un estudio detallado sobre productividad e impacto científico de la comunidad, comparándola con otros centros astronómicos de Estados Unidos, Inglaterra y países latinoamericanos. En el Cap. 9 se resumen las fuentes de financiamiento de la astronomía nacional. Las conclusiones se detallan en el Cap. 10, y en el Cap. 11 hacemos una proyección a diez años de los resultados.

Aspiramos a que nuestro trabajo sirva tanto a las autoridades pertinentes, como también a la propia comunidad astronómica en la planificación de la investigación científica nacional. Finalmente, agradecemos tanto a los Directores de departamentos o grupos que nos facilitaron la información que aquí presentamos, como también a los investigadores -académicos y posdoctorantes- que tan amablemente nos proporcionaron sus antecedentes.

En el Directorio de Investigadores se publica una lista de astrónomos activos y con puestos en instituciones chilenas. En lo que sigue nos referiremos a tal lista como el “Directorio”, aunque sin perder de vista que se trata de un subconjunto del total de investigadores, pues no incluye a posdoctorantes ni a técnicos especializados.

2. Reseña histórica de la Astronomía en Chile

La historia de la investigación astronómica en Chile¹ se inicia en 1849 con la llegada a Santiago de una expedición de la Armada de los Estados Unidos a cargo del teniente James M. Gilliss. Esa expedición tenía como objetivo complementar mediciones de la distancia Tierra-Sol hechas en el hemisferio Norte. En 1852, el gobierno de Chile compró a la expedición los instrumentos, edificios y documentos del observatorio astronómico establecido en el Cerro Santa Lucía. Ese observatorio se convirtió así en Observatorio Astronómico Nacional y pasó a depender del Ministerio de Instrucciones Públicas. Posteriormente, en 1927 la Universidad de Chile se hace cargo del observatorio. A principios de 1900, otra expedición norteamericana instaló en el Cerro San Cristóbal un observatorio astrofísico, que en 1929 pasó a manos de la Universidad Católica.

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

3. Los observatorios internacionales en Chile

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

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

3.1. *Observatorio Interamericano de Cerro Tololo (CTIO)*. El observatorio interamericano de Cerro Tololo comenzó formalmente su operación a fines de 1962, después de la firma de un acuerdo de cooperación entre la Universidad de Chile y la Asociación de Universidades para Investigación en Astronomía (AURA) en 1961. En el observatorio de Cerro Tololo están en operación los telescopios de 4 metros, 1,5 m, 1,3 m, 1 m y 90 cm. El instrumento más importante es el telescopio Blanco de 4 m que aún sigue bajo periódicos mejoramientos para mantener su competitividad.

3.2. *Observatorio Europeo Austral (ESO)*. El Observatorio Europeo Austral llegó a Chile en 1964 mediante un convenio directo con el gobierno de Chile. Las primeras instalaciones en nuestro país se efectuaron en el observatorio de Cerro La Silla, 150 km al norte de la ciudad de La Serena. En ese lugar llegaron a funcionar más de 12 telescopios ópticos de diferentes tamaños y el radiotelescopio SEST. Actualmente se destacan el telescopio de 3,6 m, el telescopio de nueva tecnología de 3,5 m (NTT), y el telescopio del Instituto Max Planck y ESO de 2,2 m. La gran mayoría de los telescopios menores han cesado sus actividades quedando operativos casi exclusivamente los ya mencionados. Esos telescopios fueron parte de los mayores telescopios ópticos en el mundo durante la época comprendida por la década de los 80 y gran parte de los 90, y aún siguen siendo instrumentos muy competitivos.

Durante los años 90, ESO expandió sus actividades a Cerro Paranal, 120 km al sur de Antofagasta. En 1999 se inauguró el primero de cuatro telescopios de 8,2 m. Los cuatro entraron en operación en 2001, constituyéndose en el proyecto óptico más ambicioso a nivel internacional (*Very Large Telescope, VLT*). En conjunto estos telescopios tienen la capacidad colectora de uno de 16 m de diámetro y permiten realizar las observaciones de mayor resolución espacial obtenidas hasta ahora. El VLT es actualmente el telescopio más avanzado en el mundo, y lo seguirá siendo al menos por la próxima década.

3.3. *Observatorio de la Institución Carnegie de Washington (OCIW)*. El observatorio de la institución norteamericana Carnegie comenzó su operación en 1969, después de varios años de prospección de sitios de observación en nuestro país. Se escogió al Cerro Las Campanas para su operación, situado aproximadamente 150 km al norte de La Serena. El observatorio actualmente alberga a dos telescopios gemelos de 6,5 m cada uno -denominados “Magallanes”, un telescopio de 2,5 m, uno de 1 m, y varios telescopios más pequeños de otras instituciones. El primero de los Magallanes se inauguró en 2000, y el segundo en 2002. Ambos telescopios son de alta complejidad y muy avanzados en su instrumentación.

3.4. *Observatorio Internacional Gemini*. El observatorio Gemini es operado por un consorcio de 7 países que incluye a Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Estados Unidos y el Reino Unido, y a Chile como anfitrión. El consorcio opera dos telescopios de 8,1 m, uno en Mauna Kea en la isla grande de Hawaii, y el otro en Chile, en el cerro Pachón cerca de La Serena. El telescopio Gemini-Sur está optimizado para observaciones en el rango infrarrojo y comenzó a funcionar en 2002.

3.5. *Observatorio Austral para Investigación Astrofísica (SOAR)*. El observatorio SOAR en Cerro Pachón mantiene y opera un telescopio de 4,3 m con instrumentación de alto nivel tecnológico. Las instituciones y países que colaboran en su operación son: University of North Carolina at Chapel Hill, CTIO, Michigan State University y Brasil.

3.6. *Gran Arreglo Milimétrico de Atacama (ALMA)*. El gran arreglo milimétrico de Atacama es el proyecto astronómico más ambicioso de la década. Es un proyecto financiado por Estados Unidos, la Comunidad Europea y Japón. Se estima una inversión de aproximadamente US\$ 800 millones para su construcción. ALMA está siendo construido en el Llano de Chajnantor al este de San Pedro de Atacama y a 5.000 m sobre el nivel del mar. El proyecto contempla 64 antenas de 12 m que operarán en el rango sub-milimétrico con líneas basales de hasta 10 km. Este radiotelescopio permitirá la observación de objetos astronómicos hasta ahora imposibles de detectar.

4. Acceso chileno a tiempo de telescopio

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

Dadas las cifras anteriores, los Comités de Asignación de Tiempo de Telescopio chilenos (“TAC”, por sus siglas en inglés) administran una fracción importante de la totalidad de recursos para astronomía disponibles en nuestro país (ver Capítulo 9).

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

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

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

5. Centros chilenos de Investigación y su Infraestructura

En este capítulo se describen las instituciones chilenas que albergan actividades de investigación en astronomía. Hay que hacer notar que la totalidad corresponde a departamentos o

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

grupos al alero de universidades. La excepción es el Instituto Isaac Newton, que depende directamente del Ministerio de Educación. En todos esos centros se realizan investigaciones astronómicas tanto observacionales como teóricas. No hemos incluido departamentos de física o institutos con físicos que cuentan con publicaciones en astrofísica teórica³.

Por su carácter universitario, una misión fundamental de esas instituciones es formar futuros astrónomos. Dos de las universidades (Universidad de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile) ya cuentan con un programa de Doctorado en Astronomía, y otra (Universidad de Concepción) cuenta con un programa de Doctorado en Física que permite investigación en astronomía. El objetivo de los programas es formar investigadores de alto nivel que en el futuro hagan pleno uso de la infraestructura existente para la astronomía en Chile. Eso incluye tanto a astrofísicos observacionales que hagan uso directo de los telescopios, como a investigadores en aspectos teóricos cuya labor es la modelación físico-matemática de los fenómenos observados.

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

Por orden de tamaño, las instituciones son las siguientes:

5.1. Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile.

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

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

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

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

Proyectos. Hay tres proyectos institucionales importantes de destacar: El Centro FONDAF de astrofísica, un Programa MECESUP de apoyo al Doctorado en Astronomía y un programa de doctorado en colaboración con la Universidad de Yale en Estados Unidos apoyado por la Fundación Andes. Los dos primeros se describen en más detalle en el capítulo 9.

³ Éstos aparecen detallados en el Capítulo Temático de Física.

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

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

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

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

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

El DAS ha iniciado –con el apoyo del fondo ALMA-CONICYT– la implementación de un laboratorio de instrumentación astronómica en Cerro Calán que contará con un laboratorio de tecnología de punta en receptores y detectores para las bandas milimétrica y submilimétrica. Dicho laboratorio pretende no sólo potenciar la ingeniería nacional en el área de telecomunicaciones, sino también permitir la instalación en el país de diversos proyectos astronómicos que necesitan colaborar y contar con la activa participación de ingenieros chilenos para su construcción y operación. El laboratorio dispone de un radiotelescopio milimétrico, instalado en Cerro Tololo con fines de docencia, investigación aplicada y básica. Este radiotelescopio también servirá como un banco de prueba para los receptores que se construyan y calibren en el laboratorio.

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

Infraestructura. El Departamento de Astronomía y Astrofísica (DAA) es uno de los dos departamentos de la Facultad de Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile. La astrofísica

se cultiva en la Universidad Católica desde 1929, fecha en que recibió en donación el telescopio Mills de 36" del Observatorio Manuel Foster ubicado en el Cerro San Cristóbal en Santiago. A partir de 1981 se empezaron a desarrollar las actuales líneas de investigación en astrofísica, y el 2 de enero de 1996 se constituyó el DAA, con oficinas en el Campus San Joaquín.

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

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

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

Proyectos. Hay cuatro proyectos institucionales a destacar: (1) Centro FONDAP de Astrofísica. (2) Red LENAC o *Latin-American European Network for Astrophysics and Cosmology*, financiado por la Comunidad Europea, y que permite, entre otras cosas, el intercambio de profesores, investigadores y académicos entre la Universidad Católica y cinco instituciones europeas y cinco latinoamericanas. (3) Colaboración entre la Universidad de Princeton y de Johns Hopkins, EEUU, y la Pontificia Universidad Católica de Chile, financiada por la Fundación Andes. Originalmente era un programa de cinco años pero como resultado de la evaluación del tercer año, se extendió por tres años más. Su objetivo principal es fortalecer el programa de posgrado en la Pontificia Universidad Católica de Chile, promoviendo el crecimiento del plantel académico e infraestructura, aumentando el número y calidad de investigadores profesionales, motivando a alumnos de posgrado a realizar visitas de investigación en Princeton, y promoviendo vínculos entre la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad de Princeton. (4) Proyecto ALMA-CONICYT para apoyar la creación de un grupo de radioastrónomos y el financiamiento parcial de becas de posgrado.

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

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

El posgrado en Astrofísica existe desde los años 80 como un área del posgrado en física y desde 2003 como programa independiente, el que está constituido por el Magíster en Ciencias Exactas con mención en Astrofísica y por el Doctorado en Ciencias Exactas con mención en Astrofísica. El magíster, previo al doctorado, está dirigido a aquellas personas que tengan una fuerte motivación por desenvolverse en el área de la astrofísica, pero que por diversas razones no tengan

el interés o la posibilidad de seguir un programa con la exigencia y duración de un doctorado. Esas personas quedan muy bien capacitadas para realizar apoyo de alto nivel a la investigación, docencia o difusión en física o astronomía.

5.3. Grupo de Astronomía de la Universidad de Concepción

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

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

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

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

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

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

5.4. Grupo de Astrofísica de la Universidad de La Serena

El Grupo de Astrofísica de la Universidad de La Serena está compuesto por cuatro académicos del Departamento de Física. Éstos dirigen proyectos de investigación en colaboración con investigadores de importantes centros astrofísicos nacionales e internacionales. A las instituciones chilenas se agregan el Space Telescope Science Institute (Estados Unidos), Gemini Observatory, Carnegie Institution of Washington, Instituto Astrofísico de Andalucía (España), Universidad de Berkeley y Ames Research Center NASA (Estados Unidos), Observatorio Astronómico de La Plata (Argentina), e Instituto de Astrofísica y Geofísica-USP (Brasil). Esas colaboraciones han implicado la visita a la Universidad de La Serena de 17 investigadores de

distintos centros, y en forma recíproca los astrónomos de la Universidad de La Serena han sido invitados a esas instituciones. Hay dos propuestas de astrónomos titulares extranjeros para realizar sus sabáticos en la Universidad de La Serena durante 2006.

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

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

5.5. Instituto de Astronomía de la Universidad Católica del Norte

El Instituto de Astronomía (IA) se ubica en Antofagasta, inició sus actividades en 1996, y depende de la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica del Norte. Ofrece una Licenciatura en Física con Mención en Astronomía. Declara como misión “contribuir a través del cultivo de la Astronomía y la Astrofísica al conocimiento universal del hombre y la naturaleza, a la formación y perfeccionamiento de profesionales y científicos que el país y en particular el Norte de Chile necesitan”. A Junio de 2005 cuenta con 3 académicos. El IA también opera el Observatorio Cerro Armazones, con dos telescopios reflectores de 84 y 41 cm, dotados de cámaras CCD. El observatorio fue construido en 1995, y fue financiado con la ayuda del IA, el Instituto de Astronomía de la Universidad de Bochum, CONICYT, ESO, e instituciones privadas chilenas.

5.6. Universidad de Tarapacá

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

5.7. Universidad de Valparaíso

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

5.8. Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación

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

5.9. Instituto Isaac Newton

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

6. Astronomía y sociedad chilena

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

6.1. Difusión universitaria

Como en toda ciencia, la difusión universitaria tiene dos funciones. Primero, cumplir con el deber ético del científico de comunicar su quehacer a la comunidad que contribuye a financiar su investigación, y segundo, atraer a nuevos candidatos a sus programas de pre y posgrado. Siendo la astronomía por sí misma una ciencia atractiva para el público general, los caminos usados en difusión han sido hasta ahora:

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

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

6.2. Astronomía amateur

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

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

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

6.3. Personal técnico chileno en observatorios internacionales con base en Chile.

La gestión de un observatorio de gran envergadura requiere la participación de mucho personal especializado y los observatorios internacionales con base en Chile contratan también a técnicos y asistentes chilenos. La información cuantitativa a este respecto es escasa, pero podemos proveer los siguientes números. En CTIO hay alrededor de 45 profesionales chilenos (ingenieros eléctricos, mecánicos, ópticos, programadores, asistentes de investigación y nocturnos, y paramédicos). En OCIW encontramos 23, y el número es de 59 en el caso de La Silla. En cuanto a contratación de personal no especializado, ya sea directamente o vía concesiones, hay que mencionar que la presencia de los observatorios tiene un impacto regional importante.

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

6.4. Ley de protección de contaminación lumínica

Desde hace muy poco tiempo se ha establecido una norma para la regulación de la contaminación lumínica cerca de los observatorios internacionales. Ésta compete tanto a ciudades como a centros mineros (D.S. N° 686/98 del Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción). En el sitio *web* de la Corporación Nacional de Medio Ambiente se lee: “Considerando que los cielos de las regiones II, III y IV de nuestro país constituyen un valioso patrimonio ambiental y cultural para desarrollar la actividad de observación astronómica, es que se establece esta norma, la cual fue publicada en el Diario Oficial el 02 de Agosto de 1999.” El trabajo conjunto entre la CONAMA y los observatorios internacionales ha conducido al cambio de luminarias públicas en varias ciudades de la IV Región, con el fin de disminuir la contaminación lumínica y ahorrar energía eléctrica. Esta ley, que también considera posible contaminación en frecuencias de radio, es una de las más modernas del mundo.

7. Recursos humanos y temas científicos

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

7.1. La comunidad

La comunidad astronómica nacional está actualmente formada por los 42 investigadores incluidos en el Directorio, a los que se agregan 19 posdoctorandos y tres investigadores asociados al INI, con lo cual se cuenta con un total de 64. Los 42 investigadores del Directorio están asociados a ocho universidades, 3 en Santiago y 5 en regiones. Hay dos investigadores en el Directorio que, aunque se encuentran trabajando en investigación, están jubilados y uno que se encuentra en calidad de adjunto. Por lo tanto, el número de investigadores asociados a las universidades en jornada completa o parcial es de 39 personas. En comparación, en 1995 había sólo 22 académicos en esta situación. Los 39 académicos obtuvieron el Ph.D. en 1990 (promedio) lo cual revela una comunidad de gente joven.

Las instituciones donde el total de investigadores realizó un posgrado en astronomía son diversas: 21 son europeas, 20 norteamericanas, 12 sudamericanas, y de estas últimas, 4 chilenas. Contando sólo a la población de académicos, las instituciones donde éstos realizaron su pregrado

son extranjeras en un 40%. Los porcentajes de personal académico con formación de pregrado en el instituto donde actualmente trabaja son los siguientes: Universidad de Chile: 100%, Pontificia Universidad Católica de Chile: 20%, y 0 % en Universidad de Concepción, Universidad de La Serena, y UCN.

El desarrollo a través del tiempo del personal académico chileno se muestra en la Figura 12.1.

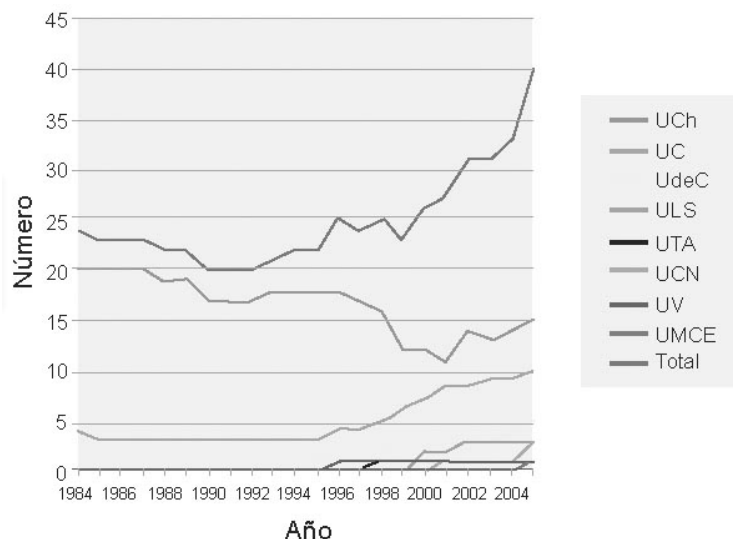


Figura 12.1. Personal académico en Astronomía

El desglose de personal en los cinco departamentos de astronomía más numerosos se muestra en la Figura 12.2. En el ítem “estudiantes” sólo se incluyeron alumnos de posgrado. En el ítem “funcionarios” se incluyó a personal calificado (técnicos, bibliotecarias, secretarias, etc).

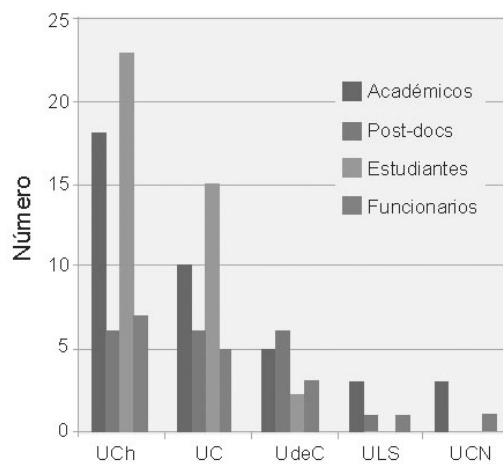


Figura 12.2. Personal en Astronomía.

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

En cuanto a estudiantes, hay 40 alumnos actualmente en programas de posgrado (18 de ellos en programas de doctorado), número muy superior a los 5 estudiantes de posgrado señalados en el

Estudio de 1993. Además de éstos, hay más de 20 alumnos egresados de universidades chilenas que al 2005 se están doctorando en el extranjero.

Como conclusión, podemos decir que la comunidad de astrónomos en instituciones chilenas tiene tres características importantes: (1) constituye sólo el 2% de la comunidad científica nacional según el Directorio que acompaña a este volumen; (2) tiene casi en su totalidad formación de posgrado en el extranjero; (3) es relativamente joven.

7.2. Áreas de investigación

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

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

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

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

7.3. Algunos logros recientes de la Astronomía chilena

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

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

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

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

7.4. Sociedad Chilena de Astronomía

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

8. Productividad científica e impacto

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

Los 64 investigadores que a junio de 2005 se encuentran en instituciones chilenas cuentan hasta esa fecha con un total de 5.333 publicaciones, de las cuales 2.666 fueron sometidas a referato. Considerando sólo a los 42 (66%) investigadores listados en el Directorio, las cifras son de 3.847 (72%) y 1.855 (70%), respectivamente.

La productividad de los 42 investigadores del Directorio en el último quinquenio (2000-2004) fue de 649 artículos bajo referato, es decir, 15,45 artículos por investigador. La distribución por investigador se puede ver en la Figura 12.3. Tiene una dispersión de 12,7 y valores extremos de 2 y 68. Así, en promedio para este quinquenio se observa una productividad de 3,09 artículos bajo referato por investigador por año. Este último indicador se calcula igual a 0,7 hace 20 años, usando datos del estudio de 1993.

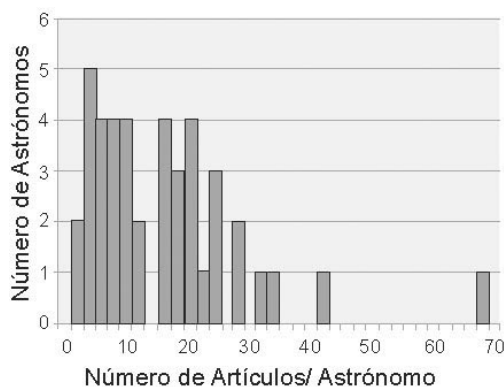


Figura 12.3. Productividad 2000-2004.

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

Después de efectuar el mismo análisis a esos investigadores y obtener su producción promedio, se puede hacer el ranking mostrado en la Tabla 12.1.

Tabla 12.1 Productividad en Astronomía. 2000-2004.	
Institución (o país)	Artículos/Astrónomo (2000-2004)
Princeton	50,8
Harvard	28,4
Oxford	25,2
Chile	15,5
UNAM	13,2
UNLP	11,6
IAG	10,2

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

Impacto bibliográfico

El impacto se midió por el número de citas a junio de 2005. No se consideró el índice de impacto individual de cada revista, ni el tamaño de las comunidades en cada área de investigación.

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

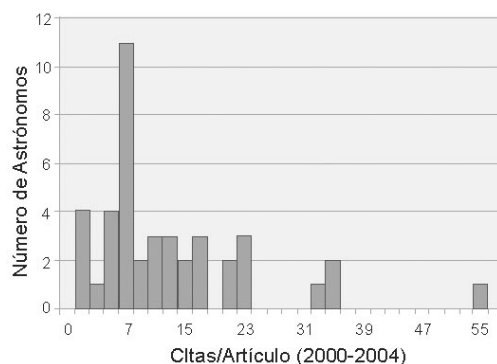


Figura 12.4. Impactos 2000-2004

Considerando los 649 artículos publicados bajo referato en el último quinquenio (2000-2004) por los 42 investigadores mencionados, se observa un promedio de 12,9 citas por artículo⁶. La distribución se puede ver en la Figura 12.4. Hay un intervalo amplio, desde investigadores con 54,3 citas por artículo publicado en el último quinquenio hasta investigadores con un índice de 1.

En comparación con Harvard, Princeton, Oxford, UNAM, UNLP e IAG, se obtiene el ranking mostrado en la Tabla 12.2.

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

Tabla 12.2 Impacto en Astronomía 2000-2004.	
Institución (o país)	Citas/artículo (2000-2004)
Princeton	36,7
Harvard	28,1
Oxford	26,3
Chile	12,9
IAG	8,0
UNAM	7,9
UNLP	7,3

En resumen, la productividad científica de los astrónomos chilenos aparece un 32% superior al promedio de la UNAM, UNLP e IAG (15,5 *versus* promedio de 11,7 artículos bajo referato por autor en el quinquenio). Sin embargo, esa mayor productividad no se logra a expensas de la calidad pues, en lo que a impacto se refiere, la astronomía nacional supera al promedio de las tres instituciones latinoamericanas en 68% (12,9 *versus* promedio de 7,7 citas por artículo en el quinquenio).

9. Fuentes de financiamiento

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

Universidades. Las universidades son la principal fuente de apoyo a la investigación en astronomía y constituyen el cimiento donde ésta se elabora. Los sueldos de los investigadores son sufragados mayoritariamente del presupuesto regular de los distintos departamentos de astronomía. *Sólo gracias a que las universidades están dispuestas a dar contratos con permanencia para investigadores del área es que la astronomía nacional se ha desarrollado.* Fuentes adicionales de financiamiento tienen efecto en promover el desarrollo gracias a que las universidades han hecho una inversión de base que ha durado por muchos años. Aunque es difícil estimar exactamente los montos involucrados, constatamos que la inversión anual en astronomía del sistema universitario

⁶ Valor promedio de los índices por autor. Si se toma el total de citas a trabajos sometidos a referato, el índice resultante es de 15,2 citas por artículo (número similar al obtenido en el Capítulo Transversal de Publicaciones y Patentes). Sin embargo, éste último cálculo está más afecto a aquellos artículos con un número extremo de citas.

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

bordea los mil millones de pesos (posiblemente entre 1.000 y 1.200 millones); en forma tentativa hemos considerado este aporte en US\$ 2 millones anuales.

FONDAP. El Centro FONDAP de Astrofísica es uno de los Centros de Excelencia del Programa Fondo de Investigación Avanzado en Áreas Prioritarias (FONDAP). El Centro opera en el DAS de la Universidad de Chile, y en dos organizaciones asociadas, el DAA de la Universidad Católica y el Departamento de Física de la Universidad de Concepción. Las áreas de investigación están descritas en Bronfman (2002). De la página *web* del Centro se lee que declara como su misión la de “cimentar las bases para el desarrollo de la astrofísica en el siglo 21 a través de la investigación de sus miembros y de la educación de las nuevas generaciones de astrónomos”. Es evidente que el Centro de Astrofísica ya ha comenzado a tener un gran impacto en la astronomía chilena al producir ciencia de primer nivel, como demuestran sus estadísticas. El presupuesto anual del Centro bordea un millón de dólares anuales.

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

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

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

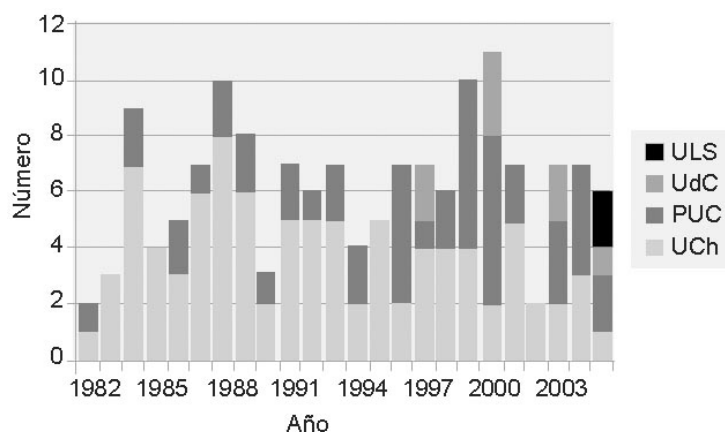


Figura 12.5. FONDECYT Astronomía

FONDECYT. El Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDECYT, fue creado en 1981, inaugurando la modalidad de fondos concursables introducida por el Estado Chileno para la asignación de recursos en ciencias y tecnología. Para astronomía, estos fondos han sido el sustento primordial de recursos externos no institucionales en las dos décadas previas al inicio del FONDAP. Según la base de datos de FONDECYT, se han otorgado recursos a 152 proyectos en el Área de Astronomía desde 1982. De éstos, 124 corresponden a proyectos llamados regulares, siendo el resto proyectos de posdoctorado (7), de incentivo a la cooperación internacional (11), y otros

(líneas complementarias y doctorado). El desglose por instituciones del investigador responsable es: Universidad de Chile: 91 (60%); Pontificia Universidad Católica de Chile: 51 (33%); Universidad de Concepción: 8 (5%); Universidad de La Serena: 2 (1%). La Figura 12.5 muestra la historia de proyectos FONDECYT otorgados al área de Astronomía. Tomando un promedio de seis proyectos por año y US\$ 20.000 por proyecto, se determina un aporte anual de FONDECYT a la astronomía de US\$ 120.000.

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

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

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

La Tabla 12.3 resume los montos mencionados en este capítulo.

Tabla 12.3 Fuentes de Financiamiento 2005 de la Astronomía Chilena		
Fuente	US \$ / año	%
Universidades	2.000.000	45,8
FONDAP	1.000.000	22,9
Comité ESO-Chile	350.000	8,0
Comité ALMA	350.000	8,0
Fundación Andes	400.000	9,2
FONDECYT	120.000	2,7
MECESUP	100.000	2,3
ALFA	50.000	1,1
Suma	4.370.000	100,0

Tiempo de telescopio. La producción astronómica chilena está basada en el uso de los telescopios internacionales. El equivalente en dinero de este recurso se puede estimar de los costos operacionales de los observatorios, que para un telescopio del tipo "8 metros" puede bordear US \$ 40.000. Considerando el 10% de tiempo de telescopio, y sumando el conjunto de telescopios en el país, se llega a una cifra cercana a US\$ 10 millones al año que la astronomía chilena recibe como

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

subsidio de los observatorios. Tal cifra supera con creces la suma de todas las fuentes de dinero “real” nacionales; los recursos que el país gasta en astronomía son menos de la mitad de lo que recibe por el 10% de tiempo de telescopio.

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

10. Conclusiones

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

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

11. Proyecciones

La astronomía chilena podría convertirse en la primera ciencia nacional en alcanzar estándares de país desarrollado. La inserción científica mundial -aún en ciencias básicas- de un país emergente como Chile potencia su propio desarrollo, pues va acompañada de nuevas inversiones y desarrollo tecnológico y humano. Es ya tradicional que estudios internacionales sobre ciencia chilena destaquen a la astronomía como la mejor posicionada a nivel nacional (*e.g.*, Kaiser 1995) pero también que muestren preocupación por las falencias nacionales en el ámbito tecnológico (*e.g.*, Queisser, 2004).

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

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

11.1. Colaboración

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

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

11.2. Recursos humanos

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

Con más astrónomos, aumentaría la presión sobre el uso chileno de tiempo de telescopio, haciendo la competencia aún más saludable. Ciertamente el gran acceso a este recurso fomenta colaboraciones internacionales que a la vez ayudan al desarrollo de la astronomía chilena. No obstante, también es esperable que se creen y potencien nuevos grupos nacionales. En países desarrollados, varios estudios han demostrado una relación proporcional entre número de astrónomos y productividad e impacto (Abt 2000; Sánchez y Benn 2004).

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

El número de becas chilenas de posgrado ha sido relativamente modesto en la última década, principalmente debido a lo joven de los programas. Sin embargo, el aumento en el número y calidad de estudiantes necesitará de un número cada vez más importante de becas. Hasta ahora el proyecto MECESUP ha sido fundamental en este ámbito y es importante que apoyos de este tipo sean sostenidos en el tiempo y se extiendan a otras universidades. Creemos que el aprovechamiento de estos recursos sólo ha sido posible gracias a las universidades que ofrecen puestos permanentes a astrónomos y son capaces de proveer contrapartes locales a fondos internacionales.

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

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

Referencias

- Abt, H., 1990, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **102**, 1161
- Abt, H., 2000, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **112**, 1417
- Bronfman, L., 2002, *The Messenger*, **107**, 14
- Gutiérrez, A., Campusano, L. E., y Maza, J., 1993, en *Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena*, editores: Jorge E. Allende y Tito Ureta
- Kaiser, J., 1995, *Science*, **267**, 808
- Rubio, M. 2003, en *Chile-Ciencia 2000. Un encuentro histórico*, editor: Tito Ureta
- Sánchez, S. F. y Benn, C. R., 2004, *Astronomische Nachrichten* **325**, 445
- Queisser, H. J., 2004, *Comments on Chilean Science*, en *Observations from the Millennium Science Initiative* <http://www.mideplan.cl/milenio/ingles/articulos.htm>

Tomás Cooper C. (*Coordinador*),
Edmundo Acevedo H., Jaime Montealegre A., Ariel Orellana L., Hernán Paillán L.,
Manuel Pinto C. y Harald Schmidt van M.

Resumen- Se describe y analiza el estado actual de las Ciencias Agronómicas y Forestales en Chile en cuanto a creación de conocimiento y a desarrollo de tecnologías, y se proponen un conjunto de recomendaciones y cambios para mejorar estos aspectos. En cuanto a las áreas temáticas de investigación, se consideraron: la fitotecnia, la fruticultura y vitivinicultura, la silvicultura y áreas silvestres, y en cuanto a disciplinas, la biología aplicada, agro-forestal básico (suelos, riego, afines), la biotecnología vegetal y la fitosanidad. La actividad académica en estas áreas y disciplinas ha sido de gran importancia para el desarrollo del sector, al formar profesionales y adaptar tecnologías foráneas y al realizar investigación propia que, aunque insuficiente, ha sido de gran importancia para el país. Sin embargo, la actividad científica en cuanto a creación de conocimiento y tecnologías, dista de ser satisfactoria pues no ha logrado un desarrollo acorde con la importancia de la actividad agroforestal en Chile. Existen en general, grandes falencias en aspectos productivos en el área de aplicación agronómica y forestal, que podrían haber sido evitadas de haberse realizado mayor y mejor investigación. A su vez la productividad científica de la disciplina es baja comparada con los países desarrollados (particularmente de América del Norte, Europa y Australia) y claramente insuficiente dadas las necesidades del país. Frente a esto es necesario estimular a las universidades y centros de investigación en Ciencias Agronómicas y Forestales a elevar su desempeño en términos de creatividad, cantidad, calidad y eficiencia de la investigación que se realiza.

1. Introducción

La ciencia agronómica genera los conocimientos necesarios para la producción eficiente y sustentable de alimentos, energía y fibras mediante el cultivo y producción de especies vegetales y animales. Es una ciencia de alto nivel de integración, que hace uso del conocimiento generado por disciplinas básicas e intermedias (biología, física, matemáticas, química, botánica, bioquímica, genética, fisiología, ecología, suelos, fitosanidad, ciencias socio-económicas y otras) para su desarrollo. Por la complejidad del sistema agrícola y las múltiples interacciones de factores que en él existen, la ciencia agronómica necesita de una fuerte base experimental y, desde luego, de su propia metodología.

El desarrollo del conocimiento agronómico ha tenido como base las pruebas de campo en Estaciones Experimentales. Así, no es de extrañar que herramientas tan esenciales a la investigación como el diseño experimental hayan nacido y se hayan desarrollado en estaciones experimentales agronómicas. La Estación Experimental Agronómica reviste tal importancia que, hasta hoy, es una unidad esencial de los Centros de Investigación Avanzada del mundo. Los grandes centros de investigación agronómica generalmente se reconocen por estar ligados a Estaciones Experimentales Agronómicas de renombre.

El trabajo realizado en investigación agronómica ha dado grandes dividendos a la humanidad y al país. Es gracias a ese trabajo que ha disminuido el problema de alimentación mundial a pesar del crecimiento de la población. Actualmente la comunidad global, además de los requerimientos

de cantidad, plantea mayores desafíos asociados a la calidad de los alimentos. Requiere, por ejemplo, que sean inocuos, que estén libres de residuos de pesticidas, de metales pesados y otros, que en su producción se utilice el mínimo de agroquímicos, que éstos sean de bajo impacto ambiental y que se cumpla con estrictas normas asociadas a la sustentabilidad del proceso productivo. Los procesos productivos, además, deben ser amigables con el medio y no deben afectar negativamente los recursos naturales que utilizan. Estos son nuevos desafíos a los que la ciencia agronómica debe aportar con la generación de prácticas de agricultura integrada que no contaminen el suelo, el agua, ni el aire.

1.1. Ámbito del estudio

El objetivo de este trabajo es presentar el estado actual de las Ciencias Agronómicas y Forestales en Chile en cuanto a creación de conocimiento y a desarrollo de tecnología. De acuerdo a las directrices dadas por la Academia de Ciencias para la realización del estudio, este deberá abarcar las disciplinas más cercanas al quehacer de la Academia, las que se han definido, en este caso, como aquellas destinadas a comprender e influir fenómenos biológicos con el fin de utilizar estos conocimientos en la ampliación y mejoramiento de la producción de plantas agrícolas y forestales. Así, en cuanto a los tópicos u objetos de investigación, se considerarán: la fitotecnia (cultivos anuales y hortalizas), la fruticultura y vitivinicultura, la silvicultura y áreas silvestres, y en cuanto a disciplinas, la biología aplicada (fisiología vegetal, botánica, bioquímica, etc.), agro-forestal básico (suelos, riego, afines), la biotecnología vegetal y la fitosanidad. No se considerarán, por lo tanto, otros tópicos que se cultivan o se enseñan en los centros universitarios o institutos de investigación agronómicos y forestales como ganadería, economía, tecnología de los alimentos y de la madera, entre otros. Debido a que este análisis de las Ciencias Agronómicas y Forestales es realizado por primera vez, considera un periodo de análisis de diez años. Sin embargo para el Directorio de investigadores del Área se han considerado preferentemente los últimos cinco.

2. Historia reciente de las Ciencias Agronómicas y Forestales en Chile

Las ciencias agronómicas han tenido una evolución acelerada en el último tiempo como resultado de los impactos científicos del siglo 20. Los avances en genética, especialmente desde la formulación de las leyes de la herencia por Mendel a fines del siglo 19, permitieron el desarrollo y la rápida adopción de híbridos con un notable aumento en el rendimiento de algunos cultivos. En forma paralela se desarrolló la ciencia y las tecnologías en agroquímicos que causaron un gran impacto en la agricultura a través de la utilización de fertilizantes y pesticidas. Hacia el final del siglo 20, el avance de los conocimientos científicos en biología y el surgimiento asociado de la biotecnología y específicamente de la ingeniería genética abrieron nuevos horizontes.

En las últimas décadas han sido los avances en mejoramiento vegetal y el desarrollo de pesticidas eficientes los que han impulsado la producción a nivel mundial y nacional. Se espera que en las primeras décadas del siglo 21, sean la Biotecnología, la Agricultura de Precisión, la Labranza de Conservación, los Sistemas de Apoyo para la Toma de Decisiones y la Educación Agrícola Superior Avanzada los pilares fundamentales que sustenten el desarrollo agrícola. En particular, la ingeniería genética y las técnicas que den sustentabilidad ambiental a las prácticas agronómicas están llamadas a jugar un papel central en el desarrollo futuro de la Agronomía.

Los estudios agronómicos en Chile se iniciaron en la Universidad de Chile el 7 de Octubre de 1874, día en que se inauguró el “Curso Superior de Agricultura” el que dio paso al Instituto Agrícola de Chile y luego al Instituto Agronómico para crear a fines de 1927 la Facultad de Agronomía y Veterinaria. En 1904 la Universidad Católica creó la Carrera de Agronomía. En 1954

se crea la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción y en 1957 la Facultad de Agronomía de la Universidad Austral. En 1960 se crea el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) con el fin de realizar y coordinar la investigación agrícola que se realizaba en el país. En 1967 la Universidad de Chile crea el Grado de Magíster en Ciencias Agronómicas con diferentes especialidades y en el año 2002, el Programa de Doctorado en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias.

La Ciencia Agronómica nació en Chile muy relacionada con la creación de la Sociedad Agronómica de Chile (SACH), el 28 de Agosto de 1910. Ésta estableció el interés por el desarrollo de la “Agricultura Científica” y la organización de conferencias y elaboración de folletos y circulares que permitieran ... *la ilustración de sus asociados, teniéndolos al día de los progresos de la Ciencia Agronómica* ... (Arancibia, P. y Yávar, A. 1994. *La Agronomía en la Agricultura Chilena*, p 197). En 1942 la SACH inició la publicación de la revista *Simiente*, que se ha publicado hasta hoy en forma ininterrumpida. En 1949 nacieron los congresos agronómicos, que se realizan anualmente y que son un espacio de encuentro y discusión de la Ciencia Agronómica nacional.

Un impulso muy importante a la actividad científica-tecnológica en el área se debió al Plan Chile-California y muy especialmente al Convenio Universidad de Chile–Universidad de California que fue un Programa de colaboración académica, de largo plazo, que abarcó el desarrollo de un gran número de disciplinas. Tuvo apoyo financiero de Fundación Ford, en un monto de US\$ 10.000.000.

Su objetivo fue el mejoramiento de la docencia e investigación y desarrollo de programas de graduados a través de intercambio de profesores e investigadores y entrenamiento de académicos jóvenes a nivel de M.S. y Ph.D. Se dio gran importancia al sector agrícola (25% de los recursos). El Convenio se firmó en agosto de 1965. El programa Silviagropecuario incluyó las áreas de Salud Animal, Producción Animal, Ingeniería Forestal y Fruticultura.

La investigación forestal en el país es relativamente reciente. La formación de ingenieros forestales se inició en 1952 con la creación de la Escuela de Ingeniería Forestal en la Universidad de Chile y en 1954 en la Universidad Austral de Chile. A mediados de los años sesenta, estas universidades ponen énfasis en la formación de académicos de posgrado a través de convenios y programas de especialización con la Universidad de Göttingen en Alemania y la Universidad de Berkeley en Estados Unidos de América.

La agrupación de los investigadores en la Sociedad Chilena de Ciencias Forestales se concreta en 2004. A la fecha se han realizado dos congresos en Ciencias Forestales, el primero en 2002 y el segundo en el 2004.

3. Análisis de la Investigación en Ciencias Agronómicas y Forestales en Chile

3.1. Instituciones que cultivan la disciplina en Chile

3.1.1. Ciencias Agronómicas

Las instituciones implicadas en investigación en Ciencias Agronómicas en Chile son algunas universidades y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Los principales aspectos generales a considerar respecto de las instituciones en relación a la investigación agronómica en Chile son los siguientes:

- La cobertura territorial es razonablemente buena, existiendo actividad de investigación agronómica desde la I Región (Universidad de Tarapacá y Universidad Arturo Prat) hasta la XII Región (Universidad de Magallanes).
- El número de estaciones experimentales y de campos de experimentación es suficiente. La mayoría pertenece al INIA y a las universidades que se dedican a la investigación. Existen también estaciones privadas dedicadas fundamentalmente a la experimentación y difusión. El equipamiento de las estaciones experimentales, salvo algunas del INIA, es en general reducido. Su funcionamiento en muchos casos es precario.
- El equipamiento y laboratorios para investigación es muy irregular en el país y en las instituciones. Las principales universidades y el INIA están medianamente bien equipados; sin embargo, muchos instrumentos se encuentran en unidades que tienen baja interacción entre ellas y aún dentro de ellas mismas, lo que hace que frecuentemente se produzcan carencias que podrían evitarse con una organización distinta.
- Con respecto a las universidades, la investigación agronómica se realiza casi únicamente en universidades tradicionales. Las universidades no tradicionales, salvo excepciones constituidas casi siempre por universidades regionales (Universidad de Talca, Universidad de la Frontera y Universidad de Tarapacá) realizan muy poca investigación agronómica. Recientemente se ha iniciado alguna actividad, particularmente en biotecnología, en algunas de ellas, sin que todavía puedan apreciarse sus frutos.
- Las principales instituciones que realizan investigación en el área son: la Universidad de Chile, el INIA, la Universidad de Concepción, la Universidad Austral de Chile, la Universidad de Talca, la Pontificia Universidad Católica de Chile, y la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. También la Universidad de Tarapacá, la Universidad de la Frontera, la Universidad Andrés Bello, entre otras (Véase Tabla 13.1).
- El INIA posee en el país 10 estaciones o Centros Regionales de Investigación (CRI) que están ubicados desde la III hasta la XII Región. El INIA investiga en una amplia gama de áreas como cultivos, hortalizas, frutales, postcosecha, semillas, biotecnología, suelos, sanidad vegetal y riego. Su labor incluye en forma importante la transferencia tecnológica y la llamada investigación adaptativa.

3.1.2. Ciencias Forestales

Las instituciones que trabajan en Ciencias Forestales en Chile son la Universidad de Chile, la Universidad Austral, la Universidad de Concepción y el Instituto Forestal.

Respecto al trabajo de investigación se debe considerar que:

- No existen estaciones experimentales propiamente tales, sino predios universitarios (Universidad de Chile y Universidad Austral de Chile) dedicados fundamentalmente a la enseñanza, donde además se realizan algunos ensayos.
- La investigación forestal se desarrolla fundamentalmente en predios particulares y en parques nacionales.
- El Instituto Forestal cumple un papel importante, particularmente en la investigación aplicada y difusión.

3.2. Análisis global de la disciplina en Chile

En Chile existen 580 investigadores en ciencias agroforestales pero parte de ellos se dedica más bien a la transferencia tecnológica. La Tabla 13.1 muestra la distribución institucional y las disciplinas que cultivan.

La mayoría de los investigadores está en las universidades, particularmente en las del Consejo de Rectores (Universidad de Chile, Universidad de Concepción, Universidad Austral de Chile, Universidad de Talca, Pontificia Universidad Católica de Chile y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso). Además son importantes las instituciones dependientes del Ministerio de Agricultura; en el área agronómica el INIA y en el área forestal el Instituto Forestal. Respecto a las áreas, las que tienen mayor número de investigadores son: forestal, fruticultura, fitotecnia y fitosanidad.

En cuanto a la formación de los investigadores, considerando una muestra de 132 individuos del directorio de investigadores en Ciencias Agronómicas y Forestales, 94 de ellos tienen el título de doctor, lo que es equivalente a 71%.

Tabla 13.1. Número de investigadores totales por institución y áreas, en Ciencias Agroforestales en Chile*									
Institución	Fitosanidad	Fruticultura y Vitivinicultura	Biología Aplicada	Fitotecnia	Suelo y Riego	Biotecnología Vegetal	Forestal	Total	%
Universidad de Chile	17	29	19	13	17	8	34	137	23,6
Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA)	26	23	7	28	9	15	-	108	18,6
Universidad de Concepción	4	7	7	7	3	4	28	60	10,3
Universidad Austral de Chile	10	1	2	9	3	3	32	60	10,3
Instituto Forestal	1	-	-	-	-	-	46	47	8,1
Universidad de Talca	4	8	4	5	3	6	14	44	7,6
P. Universidad Católica de Chile	7	13	3	4	2	3	3	35	6,0
P. Universidad Católica de Valparaíso	5	8	-	7	2	1	-	23	4,0
Universidad de Tarapacá	4	4	-	3	1	1	-	13	2,2
Universidad de la Frontera	2	-	-	6	3	1	1	13	2,2
Universidad Andrés Bello	2	-	-	-	-	4	-	6	1,0
Universidad Arturo Prat	-	1	1	2	1	-	-	5	0,9
Universidad Federico Santa María	1	1	-	-	1	1	-	4	0,7
Universidad Católica del Maule	-	1	-	-	-	-	2	3	0,5
Universidad de La Serena	1	-	-	1	-	-	-	2	0,3
Universidad de Santiago	1	-	-	-	2	1	-	4	0,7
Universidad del Mar	1	-	-	-	-	-	-	1	0,2
Otras Universidades y Comisión Chilena de Energía Nuclear	-	-	9	3	2	-	-	14	2,4
Universidad Iberoamericana de Ciencias y Tecnología.	-	-	-	-	-	-	1	1	0,2
TOTALES	86	96	52	88	49	48	161	580	-
%	14,8	16,6	9,0	15,2	8,4	8,3	27,8	-	-

* Cuadro elaborado por los autores, utilizando información recopilada por ellos

En relación a la edad, de una muestra de investigadores del directorio (Tabla 13.3), casi 70% se encuentra sobre los 50 años y sólo un 9% son menores de 41 años. El 78% son hombres y 22% mujeres.

En la Tabla 13.2 se presenta el número de investigadores seleccionados para conformar el Directorio de Ciencias Agronómicas y Forestales por institución y áreas. Los criterios utilizados para decidir la incorporación al Directorio fueron:

- Investigadores independientes, dedicados y productivos, que cultiven una línea clara de investigación y que realizan aportes significativos en creación de conocimiento, reconocido a nivel nacional.
- Su productividad se determinó considerando dirección de proyectos concursables de primer nivel como FONDECYT y FONDEF y, al menos, cuatro publicaciones en revistas ISI y en otras revistas de investigación de alto nivel con comité editor; de acuerdo a la información obtenida directamente de los investigadores que contestaron la encuesta y de las consultas realizadas en las bases de datos de CONICYT.

Institución	Fito-sanidad	Fruticultura y Vitivinicultura	Biología Aplicada	Fitotecnia	Suelo y Riego	Biotecnología Vegetal	Forestal	Total por Institución	%
Universidad de Chile	7	11	7	7	5	2	11	50	24,3
Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA)	12	6	1	9	4	11	-	43	20,9
Universidad de Concepción	3	-	5	4	3	4	3	22	10,7
Universidad Austral de Chile	5	1	1	4	3	2	10	26	12,6
Instituto Forestal	-	-	-	-	-	-	2	2	1,0
Universidad de Talca	2	4	-	5	3	2	1	17	8,3
P. Universidad Católica de Chile	5	6	3	1	1	2	1	19	9,2
Universidad Católica de Valparaíso	2	1	-	3	-	1	-	7	3,4
Universidad de Tarapacá	1	-	-	-	-	-	-	1	0,5
Universidad de la Frontera	-	-	-	3	3	1	-	7	3,4
Universidad Andrés Bello	-	-	-	-	-	4	-	4	1,9
Universidad Arturo Prat	-	-	1	-	-	-	-	1	0,5
Universidad Federico Santa María	-	-	-	-	1	1	-	2	1,0
Universidad Católica del Maule	-	-	-	-	-	-	1	1	0,5
Universidad de Santiago	-	-	-	-	2	1	-	3	1,5
Comisión Chilena de Energía	-	-	-	-	1	-	-	1	0,5
Total por Áreas	37	29	18	36	26	31	29	206	-
%	18,0	14,1	8,7	17,5	12,6	15,0	14,1	-	

* Cuadro elaborado por los autores, utilizando información recopilada por ellos

Es interesante constatar que sólo 35% de los investigadores del área tuvieron los antecedentes necesarios para integrar el Directorio. Las principales causas fueron insuficiente productividad y, especialmente en el caso de los investigadores jóvenes, no haber probado aún su independencia.

Se observa que el mayor número de investigadores del Directorio se ubica en la Universidad de Chile, INIA, Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad de Concepción. Lo anterior es un tanto diferente a la Tabla 13.1 donde aparece el número de investigadores totales por institución. Las principales instituciones en cuanto a número de investigadores en el Directorio, son la Universidad de Chile (23,6%), el INIA (18,6%), la Universidad Austral de Chile (10,3%), la Universidad de Concepción (10,3%) y la Universidad de Talca (7,6%).

Al analizar por área el número de investigadores en el Directorio, las con mayor número de representantes son: Fitosanidad, Fitotecnia, Fruticultura y Vitivinicultura, Forestal y Biotecnología Vegetal. Esos resultados se relacionan en gran medida con la productividad en publicaciones (Tablas 13.4, 13.5 y 13.6) y número de proyectos desarrollados. No obstante lo anterior, la cantidad de investigadores en esta categoría es muy escasa, especialmente en áreas como la Fruticultura, donde la participación de investigadores de esas características es de gran importancia, incluso para la actividad económica del país.

Tabla 13.3. Edad y sexo de los investigadores						
	Investigadores por Grupo de Edades (%)*				Sexo	
DISCIPLINA	<41	41-50	51-60	>60	Femenino	Masculino
Biología aplicada	0 (0%)	5 (50%)	3 (30%)	2 (20%)	8	7
Biotecnología	1 (13%)	5 (63%)	1 (13%)	1(13%)	6	21
Cultivos	0 (0%)	0 (0%)	6 (67%)	3 (33%)	3	10
Fitosanidad	2 (10%)	2 (10%)	10 (50%)	6 (30%)	6	31
Forestal	3 (21%)	3 (21%)	5 (36%)	3 (21%)	2	27
Fruticultura	1 (8%)	1 (8%)	5 (42%)	5 (42%)	3	26
Olericultura	1 (14%)	3 (43%)	2 (29%)	1 (14%)	10	8
Suelos y Riego	0 (0%)	3 (27%)	4 (36%)	4 (36%)	5	19
Total	8 (9%)	22 (24%)	36 (40%)	25 (27%)	43 (22,4%)	149 (77,6%)

* Muestra de 91 investigadores del Directorio seleccionado.

Productividad

En la Tabla 13.4 se presenta el número de publicaciones de acuerdo a la clasificación de revistas ISI, revistas científicas con comité editor No ISI y publicaciones técnicas, divididas por el área temática a que se refieren. El número de publicaciones 1995-2004 es bajo (2.529), y las publicaciones ISI son pocas (en promedio 2 publicaciones por investigador en 10 años); éso se explica en parte porque la investigación agroforestal en Chile está orientada preferentemente a dar soluciones a problemas locales y en algunos casos a adaptar tecnología extranjera. La creación de conocimiento y el desarrollo de nuevas tecnologías en el país no constituyen la mayor parte del trabajo de investigación, y los proyectos FONDECYT son solo el 20% del total (Tabla 13.7).

Tabla 13.4. Revistas ISI – No ISI con comité editor, y técnicas: Artículos publicados por subdisciplinas durante 1995-2004.								
REVISTAS	Fitosanidad	Fruticultura y Vitivinicultura	Biología Aplicada	Fitotecnia	Suelo y Riego	Biotecnología Vegetal	Forestal	TOTAL
ISI	104	38	70	32	74	41	36	395
NO ISI	360	106	91	216	228	105	192	1298
TECNICAS	233	134	15	162	133	44	115	836
TOTALES	697	278	176	410	435	190	343	2529

Tabla 13.5. Productividad de los investigadores del Directorio de Ciencias Agroforestales en Chile durante el período 1995-2004								
REVISTAS	Fitosanidad	Fruticultura y Vitivinicultura	Biología Aplicada	Fitotecnia	Suelo y Riego	Biotecnología Vegetal	Forestal	Promedio
ISI	2,8	1,3	3,9	0,9	2,8	1,3	1,2	2,0
NO ISI	9,7	3,7	5,1	6,0	8,8	3,4	6,6	6,2
Técnicas	6,3	4,6	0,8	4,5	5,1	1,4	4,0	3,8
TOTALES	18,8	9,6	9,8	11,4	16,7	6,1	11,8	12,0

Elaborado sobre la base de los datos de la Tabla 13.4.

En la Tabla 13.6 aparecen los artículos publicados por disciplina en el período 1995-2004, en revistas científicas chilenas del sector, observándose que este tipo de publicaciones son principalmente del área aplicada (894). Las áreas básicas (Biología Aplicada y Biotecnología) en conjunto son solo 48.

Tabla 13.6. Revistas científicas chilenas del sector Agroforestal. Artículos publicados por subdisciplinas, período 1995-2004.									
REVISTAS	Fitosanidad	Fruticultura y Vitivinicultura	Biología Aplicada	Fitotecnia	Suelo y Riego	Biotecnología Veg.	Forestal	TOTAL	
INVESTIGACION AGRICOLA	25	7	3	13	1	1	0	50	
AGRICULTURA TECNICA	68	30	3	97	53	5	3	259	
CIENCIA E INVEST. AGRARIA	28	22	7	36	17	3	4	117	
AGRO-SUR	23	14	2	34	22	4	2	101	
AGRO-CIENCIA	42	29	8	40	18	4	10	151	
IDESIA	25	13	0	14	4	0	0	56	
SIMIENTE	3	12	2	2	1	1	0	21	
BOSQUE	28	0	0	0	11	5	115	159	
CIENCIAS FORESTALES	2	0	0	1	0	0	25	28	
TOTALES	244	127	25	237	127	23	159	942	

La Tabla 13.7 presenta los proyectos de investigación aprobados durante el período. Destaca el bajo número de proyectos FONDECYT, particularmente en áreas como Fitotecnia, Fruticultura y Forestal, donde la creación de conocimiento nacional debiera ser muy activo dada su importancia como actividad productiva.

Tabla 13.7. Número de proyectos aprobados en las diferentes áreas de las Ciencias Agronómicas y Forestales por fuente de financiamiento (1995-2004).								
Fuente de Financiamiento	Fitosanidad	Fruticultura y Vitivinicultura	Biología Aplicada	Fitotecnia	Suelo y Riego	Biotecnología	Forestal	Total
FONDECYT	37	21	22	17	46	11	14	168
FDI	13	19	-	7	28	17	36	120
FONTEC*	19	79	1	77	46	18	13	253
FONDEF	7	22	1	8	7	6	55	106
FIA	18	41	2	63	5	12	9	150
GENOMA	-	-	-	-	-	3	-	3
MILENIO	-	-	-	-	-	-	1	1
TOTAL	94	182	26	172	132	67	128	801

Incluye preferentemente proyectos considerados como de investigación.

Se consideró la suma de los aportes del Estado a través de sus distintas fuentes de financiamiento, por áreas, durante los últimos 10 años, para la estimación del gasto anual en investigación, el que en el caso de los proyectos FONDECYT en el área agroforestal no supera en promedio los 800 millones de pesos (Tabla 13.8). Este aporte parece muy insuficiente, tanto considerando las necesidades de las subáreas, como por el diagnóstico implícito que sobre el desarrollo del sector implica. Un caso distinto es el FONDEF, que ha sido de gran utilidad en el desarrollo de tecnología, especialmente en el caso frutícola.

Tabla 13.8. Aporte anual de las distintas fuentes de financiamiento por áreas						
Área	FONDECYT*	FONDEF**	FIA	FONTEC	FDI	TOTAL
Suelos y Riego	143.437.600	207.200.000	34.655.748	108.451.711	452.607.168	946.352.226
Biología aplicada	104.454.500	29.600.000	22.549.774	6.073.100	0	162.677.374
Biotecnología	53.615.100	177.600.000	64.700.979	51.378.402	381.142.982	728.437.463
Fitosanidad	152.135.300	207.200.000	113.658.945	54.675.193	248.000.001	775.669.439
Fitotecnia	85.167.800	236.800.000	402.943.541	173.494.439	120.696.110	1.019.101.890
Fruticultura	108.327.200	651.200.000	251.147.694	204.018.220	278.740.631	1.493.433.745
TOTAL Agronomía	647.137.500	1.509.600.000	889.656.681	598.091.064	1.481.186.891	5.125.672.136
Ingeniería Forestal	72.573.800	1.193.000.000	55.153.580	33.938.251	707.435.719	2.062.101.350
Total por año	719.711.300	2.702.600.000	944.810.261	632.029.315	2.188.622.611	7.187.773.486

* Calculado en base al monto entregado por FONDECYT, pero en general sólo de algunos años del total de duración del proyecto.

** Calculado en base al monto entregado por FONDEF pero sólo del año de adjudicación del proyecto.

El mayor número de proyectos FONDECYT se desarrollan en las áreas de Suelo y Riego, Fitosanidad, Biología Aplicada y Fruticultura y Vitivinicultura. Muchos proyectos FONTEC son difícilmente separables de los otros fondos ya que constituyen más bien transferencia tecnológica o adecuaciones productivas.

Al analizar el total de recursos que aportan las diferentes fuentes de financiamiento de la investigación destacan el FDI de CORFO, FONDEF, FIA, FONDECYT y FONTEC. Lo anterior no necesariamente refleja el número de proyectos financiados por cada agencia (Tabla 13.7).

El considerar que, a excepción de FONDECYT, las otras fuentes de financiamiento no exigen publicaciones en revistas científicas, podría explicar el bajo número de ellas en las Ciencias Agronómicas y Forestales.

3.3. Áreas o sub-disciplinas

Para el efecto de este trabajo se han considerado las siguientes subdisciplinas: Fitotecnia, Suelo y Riego, Fruticultura y Vitivinicultura, Silvicultura, Manejo de Áreas Silvestres, Biología Aplicada a la Producción Vegetal, Biotecnología Vegetal, y Fitosanidad.

3.3.1. Fitotecnia

La Fitotecnia comprende los Cultivos Anuales y la Olericultura, esta última compuesta por las hortalizas, las plantas medicinales, ornamentales y flores. El número de investigadores que trabaja en esta área es 82, de los cuales 53 (63%) lo hacen en universidades y 26 (32%) en el INIA. La Universidad de Chile agrupa la mayor cantidad de investigadores en el área con un 16% del total.

Durante el período 1995-2004 se han realizado 172 proyectos (Tabla 13.7) en el área, destacando por su alto número relativo aquellos financiados por FIA y FONTEC. Estos últimos, en algunos casos, corresponden a adecuación y transferencia tecnológica. La cantidad total de proyectos FONDECYT (17) y FONDEF (8) es baja.

La productividad científica del área, es baja (Tablas 13.4, 13.5 y 13.6), particularmente en cuanto a publicaciones ISI (32). La mayor parte de lo publicado es en revistas científicas No ISI (216) y publicaciones técnicas (162).

Para efectos de este estudio, el Área de Fitotecnia se divide en Olericultura y Cultivos Anuales.

a) Olericultura

La producción de hortalizas, flores, plantas medicinales y producción de semillas híbridas (Olericultura) alcanza en el país a una superficie aproximada de 125.000 ha. En las últimas dos décadas ha existido un importante desarrollo comercial, totalizando en 2004 un retorno de este rubro de aproximadamente US\$ 400 millones.

Ese desarrollo ha sido posible gracias al trabajo mancomunado entre el sector público y privado y la disposición de políticas e instrumentos de fomento que han apoyado el desarrollo de la agroindustria hortícola. Un rol destacado en este proceso de innovación y adopción de tecnologías, le ha correspondido a profesionales formados en universidades nacionales y extranjeras. En el desarrollo y adaptación de tecnologías han participado activamente el INIA y las universidades.

En la producción hortícola orientada al mercado nacional se observan aún grandes limitaciones de desarrollo tecnológico y los productos de exportación necesitan con urgencia de un mejoramiento tecnológico para mantener su competitividad en el mercado mundial. Las fortalezas agroecológicas del país no están siendo utilizadas en plenitud, con la consiguiente pérdida de oportunidades comerciales en el mercado internacional.

La investigación en tecnologías hortícolas en el país es limitada. El sector debería transformarse en los próximos 10 años en un actor importante de las exportaciones de alimentos, alcanzando el nivel que en la actualidad tienen la fruticultura y viticultura que en el año 2004 fue de US\$ 7.400 millones.

Investigadores en Olericultura

Del total de investigadores de Fitotecnia (Tabla 13.1), 38 son de la disciplina de Olericultura. Los principales centros de investigación están en el INIA (11 investigadores) el cual contribuye al desarrollo de investigaciones y transferencia tecnológica a través de sus Centros Regionales de Investigación (CRI), especialmente La Platina, Quilamapu, Intihuasi y Carillanca. Le siguen en importancia la Universidad de Chile (6 investigadores), P. Universidad Católica de Valparaíso (5), Universidad de Concepción (3), Universidad de Talca (3), Universidad de Tarapacá (3), Universidad Austral de Chile (2) y P. Universidad Católica de Chile, Arturo Prat y de la Serena con 1 investigador cada una.

Las principales líneas de investigación en Olericultura en los últimos 10 años han sido:

- Introducción y adaptación de especies y cultivares.
- Manejo técnico de las especies de importancia económica.
- Manejo Fitosanitario.

- Estudios de Pos-cosecha.
- Mejoramiento de ajo y cebolla.
- Manejo integrado de plagas.
- Manejo en producción orgánica de hortalizas y semillas.

Proyectos de investigación

Las principales fuentes de financiamiento provienen del Estado y en menor proporción del área privada. Destacan entre los financiamientos públicos FONTEC, FIA, FONDECYT, FONDEF y FDI (Tabla 13.7) y Fondos Regionales. Del total de proyectos ejecutados durante el período en Olericultura, 36,5% corresponden a Hortalizas, 15,6% a Plantas Medicinales y Aromáticas y 47,8% a Flores y Ornamentales. El rubro Hortalizas, sin embargo, posee 80% de los proyectos FONDECYT aprobados durante el período.

Los aportes privados corresponden a contraparte de los fondos antes indicados, como también a aportes directos que las empresas realizan en sus programas de desarrollo tecnológico; el aporte de fondos internacionales para proyectos de investigación ha sido limitado, probablemente debido a la escasa participación de los investigadores nacionales en redes temáticas internacionales.

Impactos y falencias en Olericultura

- Limitada generación de conocimientos e innovación tecnológica. Como consecuencia de ello se presentan aún deficiencias importantes en los procesos productivos de los principales cultivos hortícolas, en especial, problemas de calidad para el consumo en fresco y para la agroindustria. El manejo de poscosecha de los productos hortícolas en el mercado interno es casi inexistente.
- La formación de profesionales competentes es escasa, centrándose principalmente en las Universidades Católica de Chile y Valparaíso, Universidad de Chile y de Talca. La formación de posgrado es muy incipiente y con un reducido número de estudiantes, en parte, por el escaso monto de financiamiento disponible para becas de Maestrías y Doctorado.

b) Cultivos anuales

Chile tiene condiciones ambientales que son *sui generis* cuando se comparan con las existentes en la mayor parte del mundo. Estas condiciones, a la vez de ser excepcionales para el cultivo de especies anuales, tanto en la zona Central como en la zona Centro Sur del país, hacen que la creación de conocimiento y tecnología agronómica local sea esencial. La creación de variedades de alto potencial de rendimiento en diferentes especies y el desarrollo de prácticas agronómicas que hagan que el potencial se exprese, ha permitido que se logren los más altos rendimientos del mundo en algunos cultivos. Se ha alcanzando además un adecuado nivel de seguridad alimentaria y una balanza comercial agrícola muy favorable. En Chile se exporta cerca de cuatro veces el valor de los productos agrícolas que se importan.

El país ha visto avances notables en rendimiento de algunos cultivos anuales debido a su investigación en el rubro. En trigo panadero (*Triticum aestivum*), mediante la generación y uso de nuevas variedades, manejo óptimo de las prácticas agronómicas y capacitación de las habilidades en gestión agrícola de los productores, se logró aumentar el rendimiento promedio de 1,5 a 4,6 T/ha en los últimos 20 años.

La investigación en maíz, arroz y remolacha ha hecho que también en estos cultivos se logren rendimientos extraordinarios. La responsabilidad de fitomejoramiento en Chile la ha tenido fundamentalmente el INIA. Un programa particularmente exitoso es el de cereales de invierno.

En el caso de cultivos anuales, la Agronomía ha tenido gran desarrollo en Chile a través del trabajo realizado fundamentalmente por el Ministerio de Agricultura, el INIA, el Servicio Agrícola y Ganadero y las universidades del país.

La intensificación de la agricultura de cultivos anuales ha traído consigo problemas ambientales notables como son la erosión de los suelos, pérdida de su productividad y contaminación de suelos y aguas con agroquímicos. Ante esta situación es esencial considerar fuentes de financiamiento de mediano y largo plazo, que permitan el normal funcionamiento de los campos experimentales. Al no haberlo, se reducen considerablemente las posibilidades de influir favorablemente en los sectores público y privados con resultados que permitan al menos mantener las condiciones ambientales actuales. Las prácticas agrícolas que se utilizan en la actualidad no son sustentables en el largo plazo. Se debe generar la agronomía necesaria para el desarrollo de prácticas agrícolas que mantengan y aumenten el carbono orgánico del suelo confirmando sustentabilidad a los sistemas.

Investigadores en Cultivos anuales

Del total de investigadores en Fitotecnia (Tabla 13.1), 50 trabajan en Cultivos Anuales. De ellos, la mayor cantidad lo hace en el INIA (35%), y el resto en las universidades, destacando la Universidad de Chile con 7 investigadores, la Universidad de La Frontera (6) y la Universidad Austral de Chile (7). A continuación, figuran la Universidad de Concepción, la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y la Universidad Arturo Prat.

Investigación

En cuanto a proyectos, las principales áreas de investigación son fitomejoramiento con énfasis en rendimiento, calidad y resistencia a enfermedades, control de malezas, fertilización, rotaciones y manejo sustentable. Las fuentes de financiamiento han sido fondos concursables (FIA, FONDEF, FDI y en menor medida FONDECYT), empresas privadas (malterías, IANSA y otras), y financiamiento fiscal directo (INIA). En el área de las semillas, además del INIA y Centros Universitarios, ha sobresalido la empresa privada (Semillas Baer, Pioneer International, Semamiris y otras).

Productividad

En las Tablas 13.4, 13.5 y 13.6 aparece la productividad de los investigadores del área. Teniendo la agronomía un componente local muy importante, las publicaciones dominantes están principalmente en revistas nacionales. El número no es satisfactorio y se carece de conocimiento suficiente en prácticamente todas las áreas, en particular en leguminosas de grano, control de malezas y fisiología de la producción.

Suelo y riego

La Ciencia del Suelo adquirió mayor relevancia en Chile a partir de mediados del siglo pasado con los reconocimientos realizados por destacados científicos nacionales y extranjeros como Manuel Rodríguez Zapata, Carlos Díaz Vial y el experto internacional Charles Wright. Gran parte de la investigación en fertilidad de suelos se concentró en INIA bajo la notable dirección de Elías Letelier Almeyda y las universidades Católica de Chile, de Chile, de Concepción y Austral.

En 1975 la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, organizó el Primer Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo. En 1978 se consolidó la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo (SCCS) y se institucionalizaron los Simposios Nacionales creándose el Boletín de la

SCCS. A la fecha se han realizado 10 congresos y se han publicado 20 boletines. Destacan Reconocimiento y Génesis de Suelos (1984), Suelos de zonas áridas y desérticas de Chile (1985), Fertilización fosfatada y cero labranza (1986), El Potasio en los suelos (1988), Los suelos de drenaje restringido (1989), Los suelos forestales (1993), Estandarización de metodologías de análisis de suelos (1997), Simposio Proyecto Ley de Protección de Suelo (2000), Normalización de Técnicas y Acreditación de Laboratorios para el análisis de Suelos y de Tejidos Vegetales (2000), Realidad y perspectivas de la habilitación de suelos mal drenados en el sur de Chile. Regiones IX y X (2002), Manejo Sustentable de Suelos Chilenos (2003), Residuos orgánicos y su uso en sistemas agroforestales (2004).

La SCCS edita la Revista “*Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*” (*Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, SCIELO). Cuenta con comité editor internacional.

Investigadores en Suelo y Riego

El número de investigadores que trabaja en esta área es 49 (Tabla 13.1), localizados principalmente en universidades (38) y en segundo término en el INIA (9). La distribución de los investigadores es amplia, abarcando prácticamente todo el territorio nacional. De los 38 investigadores en instituciones universitarias, destaca la Universidad de Chile con 17.

Proyectos de investigación

En la Tabla 13.7 se presentan los proyectos aprobados durante el período (132). Destaca en este caso, el alto número de proyectos FONDECYT (46), constituyendo el mayor número de proyectos de este tipo aprobados en el ámbito agronómico y forestal. Los proyectos de carácter más tecnológico o aplicado, como FONDEF (7) y FIA (5), sin embargo, se ven relativamente disminuidos en este caso.

Productividad

La productividad de los investigadores en Ciencia del Suelo, sin estar a un nivel adecuado o internacional, es una de las más altas del área. Sobresalen los trabajos en química de suelos, fertilidad y nutrición, mecánica de suelos en relación a labranza y el estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas. Hay deficiencia en las áreas de manejo sustentable de los suelos y en aspectos de calidad de suelos relacionados con la interacción con metales pesados, lodos, secuestro de carbono y otros. El financiamiento actual de la investigación proviene esencialmente de fondos concursables, particularmente FONDECYT.

3.3.3. Fruticultura y vitivinicultura

La información y el análisis se presenta dividida en Fruticultura y Vitivinicultura.

a) Fruticultura

La fruticultura en Chile es una de las principales actividades productivas y de exportación en el país. Pudo desarrollarse debido a la conjunción de una serie de factores de orden político, económico, de mercado y tecnológicos. Estos últimos fueron de gran importancia y consistieron fundamentalmente en importación y adaptación de tecnología extranjera y en formación de profesionales especialistas y realización de investigación en el país. Estas actividades fueron y están siendo desarrolladas en Chile fundamentalmente por las universidades y, salvo la formación de especialistas, por el INIA.

Investigadores del Área de Fruticultura

El número de investigadores que trabajan total o parcialmente en investigación tecnológica y en desarrollo y adaptación de tecnologías es alrededor de 73, de los cuales 58 tienen doctorado. Se desempeñan casi exclusivamente en universidades del Consejo de Rectores y en el INIA. Como se aprecia en la Tabla 13.9, la mayor cantidad está en las universidades. De esos investigadores sólo 26 forman parte del Directorio, lo que es claramente insuficiente dada la importancia de la fruticultura para Chile y especialmente considerando los problemas tecnológicos existentes. A lo menos debiera contarse con el doble de investigadores independientes y productivos.

Se debe señalar, sin embargo, que aparte de estos investigadores, existen otros cuya especialidad es por ejemplo Sanidad, Riego, Biotecnología, etc., que también trabajan en el área frutícola.

Tabla 13.9. Número de investigadores que trabajan en el área de la Fruticultura por Institución Universitaria y en el Instituto de Investigación Agropecuaria.	
Institución	Nº de Investigadores
Universidad de Chile	18
P. Universidad Católica de Chile	8
U. Católica de Valparaíso	8
Universidad de Talca	5
Universidad de Concepción	6
Universidad Católica del Maule	1
Universidad de Tarapacá	4
Universidad Arturo Prat	1
Universidad Austral de Chile	1
Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA)	21
Total	73

Proyectos de Investigación

Durante el período que comprende este estudio se han realizado 148 proyectos de Investigación y de Investigación y Desarrollo en Fruticultura. En la Tabla 13.7 figuran el número de proyectos con sus respectivas fuentes de financiamiento. Destaca la escasa cantidad de proyectos FONDECYT en el período. Los principales aspectos estudiados corresponden a:

- Propagación
- Fisiología y productividad
- Mejoramiento genético
- Desarrollo de nuevos cultivos principalmente de exportación
- Portainjertos y variedades
- Calidad y poscosecha
- Manejo y producción de huertos
- Producción sustentable

Las principales fuentes de financiamiento formales son los fondos estatales y sus montos aparecen en la Tabla 13.8. El financiamiento privado es difícil de cuantificar: por una parte los aportes que aparecen ligados a los fondos son valorizaciones, las cuales en muchos casos no corresponden fielmente a la realidad, sin embargo, gran parte de la investigación frutícola se realiza

en predios e instalaciones privadas, que aportan importantes cantidades de dinero en materia prima, insumos y trabajo, sin estar ésta muchas veces valorada.

El FONDEF ha sido una fuente muy importante de recursos para la investigación y desarrollo frutícola, financiando grandes proyectos que se han abocado a la solución de problemas importantes de nuestra fruticultura o a la exploración de potencialidades no utilizadas hasta el momento.

Productividad

La productividad de la investigación frutícola, medida por las publicaciones generadas se muestra en las Tablas 13.4, 13.5 y 13.6. Puede apreciarse que del total de publicaciones que considera (indexadas, no indexadas y técnicas) sólo 14% son publicaciones indexadas, siendo además el número total relativamente bajo.

Impacto y relación con el medio

Actualmente, la investigación frutícola en Chile no guarda relación con la importancia de la fruticultura en el país. Gran parte de la tecnología utilizada ha sido y sigue siendo importada; lo que significa que el país depende mayoritariamente tanto en variedades, portainjertos y métodos de manejo, mayoritariamente del extranjero, debido a que la creación de conocimiento y la actividad científica es aún reducida. Parte importante de los investigadores se dedica a adaptar tecnología extranjera y son relativamente pocas las contribuciones originales de importancia que Chile en materia frutícola ha aportado al conocimiento y tecnología nacional y mundial.

Las condiciones naturales para la fruticultura que posee Chile son excepcionales, lo cual, paradójicamente, puede haber desincentivado la producción científica, al ser posible producir con gran facilidad. Son pocas las instituciones dedicadas realmente a la investigación científica, el número de investigadores es escaso y las exigencias para ellos han sido, en general, también bajas.

Las principales instituciones dedicadas a la investigación frutícola son la Universidad de Chile, la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, la Universidad de Talca, el INIA, la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad de Concepción.

Las llamadas universidades no tradicionales en general no han tenido actividad de investigación. En la mayoría de los casos no cuentan con un cuerpo académico de planta y la labor de investigación que realizan se limita principalmente a los trabajos de tesis de los alumnos que se gradúan. Esta situación puede cambiar en el futuro: recientemente, por ejemplo, la Universidad Andrés Bello ha inaugurado un programa de biotecnología, donde se ocupará de aspectos frutícolas.

El impacto que ha tenido la labor científica y tecnológica considerada como un todo, a pesar de las falencias en investigación básica y productividad científica medida por los indicadores usuales, ha sido notable en la fruticultura chilena. El desarrollo frutícola de Chile, principal país productor exportador de fruta del Hemisferio Sur, no habría sido posible sin la actividad científico-docente-formativa (muy difícil de separar) que la fundamenta. La formación de especialistas, particularmente en las universidades citadas como núcleos de excelencia, la investigación científica realizada, e incluso la adaptación tecnológica y transferencia tecnológica, hecha muchas veces por los mismos investigadores, ha tenido una clara influencia positiva en el sector.

Importante ha sido el Programa Genoma-Chile gestado en 2001, que considera la incorporación de la genómica al sector agrícola, abordando problemas específicos que afectan al sector. Dentro de Genoma, destaca el proyecto titulado “Genómica funcional en Nectarines” el que investiga la genética de estos frutales, lo que permitiría mejorar sus características. Además, existen

los proyectos: “Genómica funcional en vid” y “Estudios genómicos y de expresión genética en vides: respuesta a la infección viral y desarrollo de sistemas de diagnóstico”, los que permitirían conocer genes de la vid que participan en el aroma, en la cantidad de azúcar, en el color; saber cómo influyen los distintos climas en la expresión de los genes y cuál es la respuesta de las vides frente a patógenos. Así se busca potenciar las características y darle valor agregado al vino chileno.

Los tres proyectos mencionados son de carácter frutícola, pero debido a nuestros criterios de selección fueron clasificados como proyectos del área Biotecnológica.

b) Vitivinicultura

El número de investigadores activos en esta subespecialidad es 23, de ellos 17 tienen doctorado. Se ubican principalmente en la Universidad de Chile (48%), Pontificia Universidad Católica (22%) y Universidad de Talca (13%). Algunos de ellos trabajan exclusivamente en la especialidad, mientras que el resto colabora en forma importante en los proyectos vitivinícolas. De los investigadores activos en vitivinicultura sólo 6 pertenecen al directorio agronómico forestal.

Tabla 13.10. Número de investigadores que trabajan en la subdisciplina de Vitivinicultura por Institución Universitaria.	
Institución	N° de Investigadores
Universidad de Chile	11
P. Universidad Católica de Chile	5
Universidad de Talca	3
Universidad de Concepción	1
Universidad Federico Santa María	1
Instituto de Investigación Agropecuaria	2
Total	23

Proyectos de Investigación

Durante el período que corresponde al estudio se han desarrollado 34 proyectos, la mayor parte de ellos de investigación y de investigación y desarrollo. Esta cifra incluye 10 proyectos FONTEC, donde la orientación es más bien a la solución de problemas productivos particulares. Al igual que en el caso de la fruticultura llama la atención la baja cantidad de proyectos FONDECYT aprobados en el período.

Los principales aspectos en los que se ha investigado en Vitivinicultura corresponden a:

- Fisiología y genética de la vid
- Colección, evaluación y propagación de selecciones mejoradas
- Evaluación de portainjertos
- Manejo y producción de viñedos
- Producción sustentable

En Enología:

- Levaduras, microorganismos y enzimas
- Fenoles
- Vinificación
- Crianza de vinos

- Aromas
- Calidad y genuidad de vinos chilenos
- Vino y salud

Financiamiento

Las principales fuentes de financiamiento formales son también las estatales cuyos montos aparecen en la Tabla 13.12. El financiamiento privado también es importante, particularmente de empresas privadas del sector, tanto grandes viñas, como vitivinicultores individuales y de empresas de insumos enológicos.

Productividad

La productividad científica del sector vitivinícola es media a baja. Durante el período en estudio se contabilizaron las publicaciones asociadas a los investigadores del área de las cuales menos de 50% eran indexadas. Parte importante de las comunicaciones son de carácter técnico y esencialmente de extensión.

Los investigadores de esta área no están agrupados en sociedades científicas, siendo lo más cercano a ello la asociación de ingenieros agrónomos enólogos, que tiene un carácter más bien gremial.

Impacto y relación con el medio

El impacto de la actividad académica y de investigación vitivinícola en la actividad productiva es bueno, pero producido fundamentalmente a través de la influencia que ejercen los profesionales del área formados en Chile (mayoritariamente de la Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Talca) que son justamente los núcleos de mayor desarrollo de la actividad científica-tecnológica del área y ejercen una gran influencia en el medio productivo. Estos profesionales han sido formados, en general, muy ligados a la actividad de investigación y desarrollo que realizan esos centros.

Evaluación crítica del área frutícola y vitivinícola

Si bien es cierto que la actividad académica realizada en el ámbito frutícola y vitivinícola de Chile, ha sido esencial para el desarrollo de la actividad productiva, su nivel científico-tecnológico es aún insuficiente considerando las potencialidades y requerimientos del país. La generación propia de conocimiento y tecnología ha sido escasa y en muchos aspectos importantes casi inexistente. Esta situación ha tenido efecto en la producción y calidad de las exportaciones, esencialmente en el caso frutícola y también ha hecho depender al país de variedades, portainjertos, métodos de manejo, etc., extranjeros que en muchos casos no satisfacen nuestras necesidades.

La fruticultura chilena tiene características y requerimientos muy especiales que deberá solucionar por sí sola. Tiene además una serie de graves problemas de producción y calidad, que poco se conocen, que es urgente solucionar para hacerla más sustentable, competitiva y rentable. En gran medida estas tareas se podrán solucionar con investigación científica seria y productiva.

3.3.4. Silvicultura y manejo de áreas silvestres

La Investigación en el Sector Forestal

El Sector Forestal en Chile posee la tuición de una superficie del orden de 30 millones de hectáreas, en la que se incluye la superficie de los bosques nativos, las plantaciones y las Áreas

Silvestres Protegidas. En ellas el campo de acción debiera orientarse fundamentalmente a dos objetivos: la conservación de la naturaleza y la producción ambientalmente sustentable de los bosques.

Desde el punto de vista productivo la superficie de bosques en el país y la producción industrial del sector forestal están en expansión. La productividad de los bosques en Chile es alta y favorable, por lo tanto las exportaciones tienen una fuerte incidencia en la economía nacional. Actualmente la producción silvícola aporta 3,5% del PIB y 12 % del valor de las exportaciones del país.

En este marco hay una demanda creciente de conocimientos sobre los distintos tipos forestales y para la aplicación de sistemas silviculturales y de ordenación territorial que garanticen la sustentabilidad ambiental y productiva de los bosques. Dada la fuerte incidencia de las exportaciones en la actividad forestal, la sustentabilidad ambiental es una exigencia cada vez más importante para la comercialización de los productos.

La interacción y traslapes de la investigación en el sector forestal con otros sectores hacen difícil una separación y una asignación precisa de los investigadores, de los recursos y de la productividad. En este análisis de la investigación en el sector forestal no se incluye gran parte de las actividades en ciencias básicas, como son las ecológicas. Tampoco se incluyen los trabajos en los aspectos económicos y de industrialización de madera, que se encuentran repartidos en otros sectores o simplemente faltan.

Investigadores en el Sector Forestal

La mayor parte de la investigación en ciencias forestales se realiza en las universidades, pero también contribuye significativamente a la creación de conocimientos el Instituto Forestal, especialmente en los aspectos que se refieren a investigación aplicada y difusión. En el sector privado algunas empresas forestales cuentan con Departamentos de Desarrollo y existen algunos programas de coordinación sobre aspectos específicos. Su acción se realiza en buena medida a través de la contratación de expertos, giras tecnológicas y adaptación de tecnologías de manejo y de cosecha, que se aplican en las plantaciones en países con mayor desarrollo. Los conocimientos que se han logrado por esta vía tienen una fuerte incidencia en la forma como se manejan las plantaciones en el país, pero los resultados muchas veces no se difunden a través de publicaciones.

Para caracterizar los investigadores que realizan investigación en el sector forestal, se pidió información directamente al personal académico de las universidades y a los investigadores del Instituto Forestal. Los encuestados fueron 161 personas, cuya pertenencia se detalla en la Tabla 13.1. De ellos 53 contestaron la encuesta.

No todo el personal de investigación participa efectivamente en investigación y normalmente la dedicación de los académicos en esta actividad es parcial. En consecuencia el número de investigadores es menor al indicado en la Tabla 13.1 y el tiempo dedicado por ellos a la investigación se reduce probablemente a cifras del orden de 30% de su jornada de trabajo.

Proyectos de Investigación y Financiamiento

Durante el período que comprende este estudio, de 1995 a 2004, se aprobaron un total de 128 proyectos concursables de investigación con financiamiento estatal (Tabla 13.7). La información procede de las estadísticas de las instituciones indicadas en el cuadro. Como los requerimientos del sector forestal tienen orientación fundamentalmente aplicada, las postulaciones

se orientan a los fondos que favorecen este tipo de trabajos, que son los concursos FONDEF de CONICYT, FONTEC y FDI de CORFO y FIA del Ministerio de Agricultura. Dado el carácter de aplicado, la investigación científica en estos trabajos y la publicación de los resultados difieren de las exigencias imperantes en los proyectos de tipo FONDECYT.

Los proyectos aprobados por el sector forestal en FONDECYT durante el período son muy escasos, apenas dos por año. Esto se debe fundamentalmente a la escasa población de investigadores en disciplinas de carácter más básico en el sector y las características y las exigencias del concurso. Muchos de los investigadores en el sector no cumplen esas características, lo que limita seriamente el número de postulaciones y las posibilidades de éxito. En todo caso cabe mencionar que en el listado de proyectos aprobados en FONDECYT figuran una serie de proyectos relacionados en disciplinas complementarias al sector forestal.

A los montos que se asignan directamente a estas instituciones para la realización de los proyectos se agregan normalmente otros aportes importantes de las universidades y de las empresas que participan en los proyectos y que corresponden a personal, infraestructura y los gastos de operación.

Productividad de Investigación en el Sector Forestal

La productividad de la investigación medida en publicaciones en el sector es baja, pero sólo se dispone de información parcial. En Tabla 13.4 se resumen las publicaciones registradas en CONICYT, a las que se agrega la información entregada por los investigadores que contestaron la encuesta solicitada por el Comité Agronómico–Forestal.

La investigación forestal que se realiza en el país obedece en gran medida a requerimientos que tienen normalmente un fuerte interés e importancia local. Los objetivos fundamentales son crear los conocimientos sobre nuestros ecosistemas y resolver los problemas del sector forestal. En consecuencia la mayor parte de las publicaciones están dirigidas al medio local y muchas corresponden a publicaciones técnicas.

Las principales líneas temáticas en las que se ha realizado investigación son las siguientes:

- Ecología y medio ambiente en los distintos tipos forestales
- Silvicultura y productividad en bosques nativos
- Reproducción de plantas
- Introducción y diversificación de especies forestales
- Productividad de plantaciones
- Mejoramiento genético
- Cosecha forestal

3.3.5. Biología aplicada a la producción vegetal

En Chile la Biología Aplicada a la Producción Vegetal (BAPV) es una disciplina relativamente nueva, la cual se ha ido formando en base a dos vertientes de investigadores del ámbito tecnológico y del ámbito básico. En el primer caso esta vertiente se ha ido formando especialmente a partir de Ingenieros Agrónomos y Forestales que en la carrera académica se han especializado en disciplinas biológicas básicas por la necesidad de profundizar más en sus investigaciones. Dentro de estas disciplinas están por ejemplo la Genética, la Bioquímica, la Fisiología Vegetal, la Microbiología, la Biología Molecular, etc. La segunda vertiente de investigadores proviene esencialmente del ámbito de las ciencias biológicas básicas como Botánicos, Biólogos, Bioquímicos, Microbiólogos, etc. que al buscar una aplicación a sus

investigaciones, han encontrado en la producción primaria de alimentos un sentido más aplicado a su quehacer científico.

En base a lo anterior se puede decir que hasta ahora la BAPV, a diferencia de lo que ha ocurrido en otros países, en Chile se ha ido desarrollando en forma espontánea, más por iniciativas individuales que por iniciativas institucionales o gubernamentales. Esto ha contribuido al lento desarrollo que esta disciplina ha tenido en nuestro país y al retraso tecnológico que en esta área tenemos respecto de países que han sabido aprovechar el enorme desarrollo que la Biología ha tenido durante las últimas décadas. En efecto, lo que se ha dado en llamar la “*revolución biológica*”, está causando un positivo impacto en la agricultura, las ciencias forestales y del medio ambiente en aquellos países con programas fuertes de investigación y docencia de postgrado en esta área. Chile, lamentablemente no posee este tipo de programas y la dependencia del conocimiento en disciplinas de punta como la Fisiología y Biología Molecular Vegetal hace que nuestro país esté quedando atrasado, no sólo respecto de los países desarrollados, sino también respecto de países de similar desarrollo que el nuestro (ej: Brasil, Argentina y México), pero con importantes inversiones y avances en este campo.

En Chile la baja investigación que existe en esta disciplina, se realiza prácticamente en su totalidad en las universidades tradicionales en donde los investigadores combinan esta actividad con la docencia. La dotación de especialistas es bastante escasa y según nuestra información no supera 52 (Tabla 13.1); es decir, sólo 9% del total de investigadores en Ciencias Agronómicas y Forestales. De esa cantidad cerca de 50% de los investigadores se radica en la Región Metropolitana y la Universidad de Chile posee el mayor contingente, con 37% de los investigadores dedicados a BAPV. En Regiones destaca la Universidad de Concepción con 14% de los investigadores dedicados a esta área.

De los investigadores dedicados a BAPV, sólo la mitad trabaja a tiempo completo en investigación y mantiene liderazgo en su materia. Aproximadamente 50% se dedica a la fisiología, 10% a la bioquímica, 10% a la microbiología, 15% a la genética y 15% a la biología molecular y otras.

Otra característica importante de este grupo es que el promedio de edad de sus miembros activos es superior a 50 años, con un recambio generacional anual que en la actualidad no superaría la unidad. Lo anterior lleva a pensar que el sistema nacional de investigación en BAPV está en franca regresión. Solo recientemente se han implementado iniciativas tendientes a revertir tal situación mediante la creación de nuevos doctorados, en especial en ciencias agronómicas, en biología molecular y biotecnología vegetal. Del mismo modo, las disciplinas emergentes han recibido cierta prioridad en la distribución de recursos en algunas universidades que han reorganizado ciencias afines en nuevos Centros de Biología o de Biotecnología Vegetal.

Respecto del financiamiento, gran parte de los fondos para mantener la actividad en BAPV proviene del Estado, particularmente de CONICYT, en donde FONDECYT lidera en número y montos para proyectos de investigación en el área. También ha habido iniciativas especiales en las que últimamente se ha incentivado la participación de privados a través de FONDEF, FIA y otras iniciativas (Tabla 13.7). Sin embargo, la participación del sector privado en el financiamiento de esta disciplina es muy limitada. Finalmente haciendo una estimación del gasto total que el país destina al desarrollo de la investigación en BAPV, se puede decir que este no supera el medio millón de dólares por año. Cifra bastante baja si se piensa en el enorme impacto que la BAPV ha tenido en la agricultura de países desarrollados.

3.3.6. Biotecnología Vegetal

En los últimos 20 años, Chile ha visto un incremento económico importante como producto del desarrollo de la industria agrícola y forestal. Este crecimiento es producto del desarrollo sostenido de la industria, el que incluye incorporación de nuevas tecnologías. Sin embargo, a pesar de lo anterior, todavía existen ámbitos asociados a la industria que no han sido explorados debidamente, y que eventualmente pueden producir un cambio cualitativo y cuantitativo en el desarrollo de la industria agrícola y forestal. Uno de esos ámbitos es la aplicación de biotecnología.

La biotecnología vegetal combina el uso de herramientas de biología molecular, genómica y genética molecular, con aspectos agronómicos y forestales más tradicionales. Las principales líneas de desarrollo biotecnológico hortofrutícola-forestal identificadas a partir de los proyectos desarrollados en los últimos 10 años son los siguientes:

- Desarrollo y uso de marcadores moleculares con fines de selección.
- Transformación genética
- Mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares
- Micropropagación
- Genómica de frutales

Los principales centros en que se desarrolla biotecnología vegetal son algunas universidades y centros de investigación del INIA. Las universidades con investigadores activos en esta área son la Universidad de Chile, la P. Universidad Católica de Chile, la Universidad de Talca, la Universidad de Concepción, la Universidad Federico Santa María, la Universidad Andrés Bello, la Universidad de Tarapacá, la Universidad de la Frontera, la Universidad de Santiago y la Universidad Católica de Valparaíso. Los investigadores que trabajan en Biotecnología Vegetal provienen de dos vertientes distintas. El primero es un número importante de biólogos moleculares y bioquímicos que decidieron incursionar en el área agronómica o forestal, o ambas. El segundo corresponde a agrónomos o ingenieros forestales que decidieron profundizar su formación en Biología Molecular.

Proyectos de Investigación

El desarrollo de la biotecnología vegetal ha estado íntimamente asociado con el financiamiento obtenido a través de fondos provenientes de programas tales como FONDEF, FDI y GENOMA; sin embargo también hay otros fondos como FONDECYT, FIA y FONTEC que también han contribuido al desarrollo de esta área. El número total de proyectos identificados en el período suma 67, lo que es un promedio muy bajo de proyectos biotecnológicos por año.

Productividad

Dado el origen de los fondos para el desarrollo biotecnológico, la mayor parte de la investigación se ha orientado a la obtención de productos y por lo tanto el énfasis no es la publicación de los resultados. Sin embargo, la obtención de patentes ha sido casi nula hasta ahora y no se ha incrementado. Además, la ausencia de industria biotecnológica capaz de utilizar la información generada por los investigadores, atenta contra un mayor desarrollo de esta área y los aspectos relacionados a la protección de la propiedad intelectual. Además, los artículos publicados aparecen principalmente en revistas no indexadas en ISI. Es preocupante el bajo número de publicaciones a pesar de haberse invertido fondos importantes para proyectos en esta área.

El aumento en la masa crítica de investigadores permitió que algunas universidades generaran programas de doctorado en Biotecnología con énfasis en el área vegetal (Véase capítulo Formación de Posgrado).

Para el país, la biotecnología vegetal aparece como un área de bastante interés. Al mismo tiempo la empresa privada ha comenzado a reconocer la importancia que tiene en el desarrollo de la industria; sin embargo, la inversión del sector privado es todavía pequeña para las necesidades que tiene el país. Por lo tanto, la mayor parte del financiamiento para el desarrollo de la Biotecnología Vegetal va a seguir ocurriendo por medio de aportes de recursos provenientes del Estado.

3.3.7. Fitosanidad

La fitosanidad es un área fundamental en la producción de los diferentes cultivos agrícolas y forestales, ya que las plagas y enfermedades constituyen un aspecto crítico que debe ser manejado adecuadamente para obtener resultados económicamente rentables y de calidad, considerando la seguridad de los trabajadores, consumidores y del medio ambiente. La información que se analiza en este estudio, considera investigación aplicada a la producción.

Investigadores del Área de Fitosanidad

De acuerdo a la información recopilada en este trabajo, el número de investigadores en el área de Fitosanidad es de 86, los que se distribuyen principalmente en las universidades del país y en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

Tabla 13.11. Investigadores por institución y disciplina.

Institución	Entomología	Fitopatología	Nematología	Malezas	Total
Universidad de Chile	7A + 1F	5A + 1F	2A	1A	17
P. Universidad Católica de Chile	2A	4A	-	1A	7
Universidad de Concepción	1A	2A + 1F	-	-	4
Universidad Austral de Chile	3A + 1F	2A + 2F	1A	1A	10
Universidad de la Frontera	2A	-	-	-	2
Universidad de Talca	2A	2A	-	-	4
P. Universidad Católica de Valparaíso	1A	3A	1A	-	5
Universidad de Tarapacá	2A	1A	1A	-	4
Universidad del Mar	-	1A	-	-	1
Universidad Andrés Bello	-	2A	-	-	2
Universidad Federico Santa María	-	1A	-	-	1
Universidad de La Serena	-	-	1A	-	1
Universidad de Santiago	-	1A	-	-	1
Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA)	7A	16A	2A	1A	26
Instituto Forestal	1F	-	-	-	1
Total	30	44	8	4	86

A: Ciencias agronómicas

F: Ciencias forestales

En cuanto a las diferentes disciplinas, existe un mayor número de Fitopatólogos, le siguen los Entomólogos, Nematólogos y Malherbólogos. De los investigadores del área de Fitosanidad sólo 37 forman parte del Directorio agronómico forestal. La mayor cantidad se concentra en el INIA y en las universidades pertenecientes al Consejo de Rectores, destacando la Universidad de Chile, la Universidad Austral de Chile y la Pontificia Universidad Católica de Chile (Tabla 13.11).

Proyectos de Investigación

En el período que cubre este estudio, se han efectuado 94 proyectos de investigación. Estos han sido financiados principalmente por FONDECYT, FIA, FONTEC y FDI (Tabla 13.7). El mayor número de proyectos en las diferentes disciplinas corresponde a proyectos desarrollados en Entomología y Fitopatología.

Productividad

La productividad en publicaciones se presenta en las Tablas 13.4, 13.5 y 13.6 y las disciplinas en que más se publica son Fitopatología y Entomología, lo cual también está de acuerdo con el número de investigadores (Tabla 13.1) y los proyectos de investigación desarrollados.

Evaluación crítica

Los principales equipos de investigadores en Fitosanidad del área agronómica, se ubican en el INIA, Universidad de Chile, Universidad de Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Concepción y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. En el área forestal están en la Universidad Austral, Universidad de Concepción y Universidad de Chile.

Las principales líneas de investigación se han centrado en proyectos de manejo de las plagas y enfermedades de las principales especies de frutales y vides y en algunos cultivos de interés económico para el país como la papa, el trigo, tomates entre otros.

En la última década se han intensificado los trabajos en el área de manejo integrado, control biológico y biotecnología, principalmente en temas relacionados con la Fitopatología (diagnóstico de enfermedades y mejoramiento de plantas a través de transformaciones). Sin embargo, el desarrollo en estas áreas es insuficiente de acuerdo con las necesidades del país. Por otro lado, la disciplina de Nematología y la de Malherbología poseen un número muy bajo de investigadores y se concentran fundamentalmente en la Universidad de Chile e INIA.

En la disciplina de Fitopatología, existen áreas deficitarias tales como los estudios epidemiológicos básicos en enfermedades de importancia para el país, etiología y epidemiología de enfermedades causadas por fitoplasmas, virus y viroides. Una explicación a la falta de investigación en estos temas es el hecho que estos trabajos son de largo plazo y mayor costo, y que no pueden competir bien de acuerdo a las bases de las actuales fuentes de financiamiento, ya sea por su elevado costo, mayor duración y falta de interés del sector productivo. A lo anterior hay que sumar el hecho que en algunas materias no existen suficientes especialistas para el desarrollo de ellas.

En el caso del área Forestal, llama la atención el bajo número de investigadores en el área de Fitosanidad, por lo mismo esto se expresa en un bajo número de proyectos y de productividad científica. Estos antecedentes no están acorde con el gran desarrollo e importancia económica de la industria forestal chilena. Lo anterior se podría explicar en parte a que la investigación en el área forestal es más bien aplicada y es desarrollada a través de proyectos del Instituto Forestal y sector privado, los cuales no siempre generan publicaciones científicas, sino más bien técnicas.

Impacto

El impacto que ha tenido la labor científica y tecnológica, ha sido importante en el área de la Fitosanidad chilena, siendo un pilar fundamental en el desarrollo de la agricultura e industria forestal del país. El desarrollo ha estado basado fundamentalmente por la demanda a resolver problemas más bien aplicados a la fruticultura y a cultivos importantes, así como también a especies

forestales de interés económico. Ello ha sido posible gracias a los fondos concursables del estado con un mínimo de inversión del sector privado y a los investigadores de las universidades pertenecientes al Consejo de Rectores, INIA e Instituto Forestal, que son las instituciones donde se realiza prácticamente toda la investigación en Fitosanidad en Chile.

4. Financiamiento de la investigación

El sistema de concursos para la investigación en Chile, a partir del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT), otros instrumentos como el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF), el Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico (FONTEC y FDI) y FIA financian en gran parte la investigación en Ciencias Agronómicas y Forestales y en mínima parte la infraestructura que las instituciones requieren para la investigación.

Como se observa en la Tabla 13.12, las Ciencias Agronómicas superan en 68% al sector Forestal en cuanto a número de proyectos adjudicados durante los últimos 10 años, siendo también mayor en alrededor de 44% los montos destinados a investigación.

Tabla 13.12. Número de proyectos aprobados en el área de las Ciencias Agronómicas y Forestales y aporte del Estado a través de sus fondos. Período 1995-2004.							
	Ciencias Forestales			Ciencias Agronómicas			N° total de proyectos
Fuente de Financiamiento	Aporte del Fondo (\$)	Monto total (\$)	N° de Proyectos Aprobados	Aporte del Fondo	Monto total (\$)	N° de Proyectos Aprobados	
FONDECYT	725.738.000*	-	14	6.471.375.000*	-	154	168
FDI	7.074.357.193	11.972.893.328	36	14.811.868.913	26.543.695.155	84	120
FONTEC	339.382.507	806.543.414	13	5.980.910.638	16.529.874.198	240	253
FONDEF	11.930.000.000**	-	55	15.096.000.000**	-	51	106
FIA	551.535.799	1.110.610.825	9	8.896.566.806	17.724.331.011	141	150
GENOMA	-	-	-	2.290.520.000	4.076.097.000	3	3
MILENIO	450.000.000	-	1	-	-	-	1
TOTAL	21.071.013.499	13.890.047.567	128	53.547.241.357	64.873.997.364	673	801

* Corresponde a la suma entregada por FONDECYT, pero en general sólo de algunos años del total de duración del Proyecto.

** Corresponde a la suma entregada por FONDEF pero sólo del año de adjudicación del Proyecto.

Al analizar la inversión del Estado en investigación en ciencias forestales, los mayores aportes corresponden a FONDEF, FDI, FONTEC, FONDECYT y FIA. En el caso de las ciencias agronómicas, los fondos más importantes también corresponden a FONDEF y FDI y a continuación FIA, FONDECYT, FONTEC y GENOMA.

Existen además entre CONICYT y Organismos Internacionales en el área de las Ciencias Agronómicas y Forestales, 42 proyectos del Programa de Cooperación Científica Internacional (PCCI) aprobados entre 1995 y 2003, y 3 proyectos aprobados mediante el Acuerdo CONICYT/ECOS-Francia durante 2003 y 2004.

Existen otros fondos como los que generó la Iniciativa Científica Milenio que financia Institutos y Núcleos de Excelencia donde se potencia la actividad en grupos de investigadores de prestigio internacional que pueden pertenecer a diversos centros académicos o de investigación. También existe la Iniciativa Genoma Chile que se gestó en 2001 para canalizar capacidades ya creadas en nuestro sistema de ciencia y orientarlas a dar ventajas competitivas a Chile en aquellas

áreas de la economía en que es relevante agregar valor a nuestra producción, utilizando tecnología de punta que genere potenciales aplicaciones. En el caso de las Ciencias Agronómicas y Forestales existe el Programa Genoma en Recursos Naturales Renovables cuyo propósito es aprovechar oportunidades o resolver problemas de impacto económico-social nacional en los ámbitos forestal, agropecuario, acuícola y otros relacionados a los recursos naturales. Los aportes del Programa pueden financiar un porcentaje igual o menor al ochenta por ciento del costo total de la propuesta presentada.

5. Sociedades científicas

La principal sociedad científica del área agronómica es la Sociedad Agronómica de Chile que agrupa a diversos investigadores de diferentes áreas y disciplinas (Tabla 13.13). Anualmente realiza el Congreso Agronómico, el principal evento científico-tecnológico del Área Agronómica en Chile. Posee una revista con Comité Editor –*Simiente*– que da a conocer las actividades de la sociedad, publica los resúmenes de trabajos presentados en los congresos agronómicos y trabajos *in extenso* en las diversas disciplinas que comprenden las ciencias agronómicas. La sociedad es la más antigua de Chile (96 años) y ha promovido eventos y estimulado acciones que han aportado en forma notable al desarrollo de la agricultura nacional. Agrupa a un total de 170 investigadores, algunos de los cuales también participan en las otras sociedades indicadas más adelante. Bajo el alero de la Sociedad Agronómica se encuentran algunas sociedades científicas tales como la Sociedad Chilena de Fitopatología y la Sociedad Chilena de Nematología. La de Fitopatología realiza anualmente un congreso que convoca a los investigadores y especialistas del área.

La Sociedad Chilena de Entomología, a diferencia de la de Fitopatología, además de los investigadores en Entomología agrícola, agrupa a los entomólogos básicos.

La Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo se formó en 1978 y es una sociedad con gran actividad en el área científica y tecnológica. Realiza un congreso anual y posee un boletín y la revista *Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* y es la segunda sociedad en importancia considerando el número de investigadores participantes.

Otras sociedades, con menos actividad que las anteriores, son la Sociedad de Fruticultura, la de Olericultura y la Sociedad Chilena de Cultivos Anuales.

Tabla 13.13. Principales Sociedades Científicas chilenas en ciencias agrícolas y forestales.					
SOCIEDADES CIENTÍFICAS	Socios Activos	Socios Honorarios	Socios Agregados	Socios Correspond.	Total
Sociedad Chilena de Fitopatología	55	2	-	-	57
Sociedad Chilena de Entomología	52	3	44	6	105
Sociedad Chilena de Nematología	8	-	-	-	8
Sociedad Agronómica de Chile	170	-	-	-	170
Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo	141	-	-	-	141
Sociedad Chilena de Fruticultura	20	-	-	-	20
Totales	446	5	44	6	501

Los investigadores activos en las áreas básicas de la Agronomía, como genética, biología y botánica, por lo general participan también en las sociedades antes indicadas a pesar que lo hacen preferentemente en la sociedad de su disciplina.

En cuanto al área Forestal, existe la Sociedad de Ciencias Forestales la cual se creó recién en 2004. Se han realizado dos Congresos forestales.

6. Formación de Posgrado

La formación de posgrado en Ciencias Agronómicas y Forestales se imparte a través de programas de magíster y de doctorado. También existen diversos programas de especialidades.

Dado que en especial son los programas de doctorado los destinados a la formación de investigadores, en este análisis se consideran éstos preferentemente. Igualmente, dada la multidisciplinariedad de las Ciencias Agronómicas y Forestales, en el análisis no sólo se han considerado aquellos programas directamente relacionados con estas ciencias, sino que además otros que indirectamente generan investigadores con potencial para dedicarse a la investigación en el área.

Programas de Doctorado en Ciencias Agronómicas y Forestales en Chile

En la actualidad, las universidades del país ofrecen alrededor de 14 programas de Doctorado relacionados con esta área (Tabla 13.14). Los programas más importantes que se relacionan directamente con las Ciencias Agronómicas y Forestales son 7 y todos pertenecen a universidades del Consejo de Rectores. Hemos considerado, además, 7 programas de doctorado en áreas que se relacionan indirectamente con este campo (Tablas 13.14 y 13.15). De los 14 programas, sólo 6 se encuentran con acreditación vigente a junio 2005 por la CONAP. Estos son dictados por la Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Austral de Chile, Universidad de Concepción (Doctorado Interuniversitario en Ciencias Forestales), Universidad Técnica Federico Santa María y P. Universidad Católica de Valparaíso (Tabla 13.14).

Tabla 13.14. Programas de Doctorado acreditados			
Programas de Doctorado en el Área de las Ciencias Agronómicas y Forestales			
INSTITUCION	PROGRAMA	PERIODO DE ACREDITACION	FECHA DE ACREDITACIÓN
Universidad de Chile	Doctorado en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias	2 años (re-acreditado)	Nov. 2004
Pontificia Universidad Católica de Chile	Doctorado en Ciencias de la Agricultura	2 años	Sept. 2004
Universidad Austral de Chile	Doctorado en Ciencias Agrarias	2 años	Mayo 2003
Universidad Austral de Chile	Doctorado Interuniversitario en Ciencias Forestales (UACH/UCO)	2 años (re-acreditado)	Nov. 2004
Universidad de Concepción	Doctorado Interuniversitario en Ciencias Forestales (UACH/UCO)	2 años (re-acreditado)	Nov. 2004
Programas de Doctorado en áreas relacionadas con las Ciencias Agronómicas y Forestales			
INSTITUCION	PROGRAMA	PERIODO DE ACREDITACION	FECHA DE ACREDITACIÓN
Universidad Técnica Federico Santa María	Doctorado en Biotecnología (PUCV/UTFSM)	2 años	Nov. 2004
Universidad Católica de Valparaíso	Doctorado en Biotecnología (PUCV/UTFSM)	2 años	Nov. 2004
Universidad de Concepción	Doctorado en Ciencias Biológicas Área de Especialización Botánica	6 años (re-acreditado)	Mayo 2005

Tabla 13.15. Instituciones: Programas de Doctorado no acreditados	
Programas de Doctorado no acreditados en el área de las Ciencias Agronómicas y Forestales	
INSTITUCION	PROGRAMA
Universidad de Concepción	Doctorado en Ciencias Agropecuarias
Universidad de Talca	Doctorado en Ciencias Agrarias
Universidad de la Frontera	Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales (UFRO)
Programas de Doctorado en áreas relacionadas con las Ciencias Agronómicas y Forestales, no acreditados	
INSTITUCION	PROGRAMA
Universidad de Santiago de Chile	Doctorado en Biotecnología
Universidad Andrés Bello	Doctorado en Biotecnología
Universidad de la Frontera	Doctorado en Fisiología y Biología Molecular Vegetal
Universidad de Talca	Doctorado en Ingeniería Genética Vegetal
Universidad de Talca	Doctorado en Ciencias Moleculares/Investigación y Desarrollo de Productos Naturales

Personal académico

Como se observa en la Tabla 13.16, los docentes que participan en los Programas de Doctorado tienen mayoritariamente el grado de doctor obtenido en universidades europeas y en Estados Unidos. En la mayoría existen profesores invitados de universidades extranjeras.

Tabla 13.16. Porcentaje de docentes con grado de Doctor y Magíster y número total de docentes de los programas de Doctorado relacionados directamente con las Ciencias Agronómicas y Forestales.						
PROGRAMA	Doctor				Magíster	Nº Total de docentes
	Chile	Europa	EE.UU.	Otros		
Doctorado en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias (UCH)	4%	15%	9%	1%	41%	79
Doctorado En Ciencias de la Agricultura (PUC)	0%	9%	31%	3%	40%	67
Doctorado en Ciencias Agrarias (UACH)	46%	-	36%	-	18%	39
Doctorado Interuniversitario en Ciencias Forestales (UACH/UCO)	92%	-	3%	-	5%	38
Doctorado en Ciencias Agropecuarias (UCO)	8%	24%	34%	3%	5%	38
Doctorado en Ciencias Agrarias (UT)	3%	38%	21%	7%	28%	29
Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales (UFRO)	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i

Muy pocos programas tienen convenios internacionales que apoyen líneas de especialización en el extranjero. En sólo uno de los Programas de Doctorado (Doctorado en Ingeniería Genética Vegetal, Universidad de Talca) existe la modalidad de una doble titulación (Universidad de Bordeaux, Francia), existiendo además convenio con la Universidad de Barcelona, España, para realizar estadias de investigación.

La Universidad Austral en su Programa de Doctorado en Ciencias Agrarias ofrece pasantías de investigación a sus estudiantes en Massey University (Nueva Zelanda), Universidad de Passo Fundo, (Brasil) y Universidad de Wisconsin (Estados Unidos).

Duración de los programas. La duración de los programas fluctúa entre 2 y 5 años (tesis incluida), algunos permiten extender el período de duración hasta 6 años.

Arancel anual. El arancel de los programas de doctorado varía entre \$ 1.140.000 y 2.514.000 para los acreditados; en los no acreditados el valor fluctúa entre \$1.520.000 y 2.500.000 anuales.

Fuentes de Financiamiento. Las fuentes de financiamiento para posgrado en el área de las Ciencias Agronómicas y Forestales son Crédito de Posgrado CORFO, becas que otorgan las mismas instituciones de estudio para sus doctorandos y finalmente la banca privada. Adicionalmente, para aquellos alumnos aceptados en los programas de doctorado acreditados por CONAP, existe la opción de postular al sistema de becas CONICYT y MECESUP.

Líneas de investigación

Como se observa en las Tablas 13.17 y 13.18, las líneas de investigación son diversas, por lo tanto las denominaciones comunes no representan necesariamente a Programas de igual lineamiento y exigencia.

Tabla 13.17. Áreas disciplinarias de Investigación de los programas de Doctorado relacionados directamente con las Ciencias Agronómicas y Forestales.	
PROGRAMA	Líneas de investigación
Doctorado en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias (UCH)	• Ecología de sistemas silvoagropecuarios • Sistemas agrarios • Manejo y restauración de áreas degradadas • Gestión de zonas áridas • Manejo y conservación de la vida silvestre • Procesos agropecuarios y forestales • Formación en aspectos relacionados con situaciones sanitarias que afecten a la producción de alimentos y recursos. • Cuidado de la calidad de los alimentos y de sus efectos sobre la salud de la población • Diagnóstico y recuperación de la salud de los animales
Doctorado En Ciencias de la Agricultura (PUC)	• Desarrollo de productos nutritivos y medicinales certificables derivados del origen botánico y geográfico de mieles chilenas • Adaptación de trigo al cambio climático • Cítricos y tolerancia a la sal • Relación planta-animal en ecosistemas áridos alto andinos: • Efecto de ungulados silvestres y domésticos sobre estrata herbácea de ambientes áridos altoandinos de la I Región de Chile.
Doctorado en Ciencias Agrarias (UACH)	
Doctorado Interuniversitario en Ciencias Forestales (UACH/UCO)	• Áreas de Investigación y Graduación • Biotecnología Forestal • Protección Forestal • Química y Tecnología de la Madera • Silvicultura y Manejo
Doctorado en Ciencias Agropecuarias (UCO)	• Biotecnología y Fisiología Vegetal • Manejo de Recursos Naturales • Patología Animal • Fisiología de la Reproducción Animal
Doctorado en Ciencias Agrarias (UT)	• Recursos Genéticos • Fisiología y Tecnología de la Producción Vegetal • Sanidad Vegetal, • Biotecnología Vegetal • Agricultura de Precisión • Economía Agrícola y del Medio Ambiente
Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales (UFRO)	

Tabla 13.18. Áreas disciplinarias de Investigación de los programas de Doctorado áreas relacionadas con las Ciencias Agronómicas y Forestales.	
PROGRAMA	Líneas de investigación
Doctorado en Biotecnología (USCH)	
Doctorado en Biotecnología (PUCV/UTFSM)	• Biología celularmolecular • Bioprocesos
Doctorado en Biotecnología (UAB)	• Microbiología • Biología celular y molecular • Genética, Bioquímica • Inmunología • Tecnología de la fermentación • Ciencias ambientales
Doctorado en Ingeniería Genética Vegetal (UT)	• Cultivo in vitro vía organogénesis directa de especies leñosas nativas e introducidas • Desarrollo de biopesticidas de origen bacteriano • Análisis de los efectos bioquímicos y fisiológicos del etileno sobre la maduración de frutos climatéricos • Análisis de los procesos bioquímicos y fisiológicos de los problemas que afectan la calidad de la manzana en Chile. • Genética molecular del desarrollo floral. • Desarrollo de vectores de expresión específicos en plantas. • Análisis de la diversidad genética de especies vegetales mediante marcadores moleculares • Domesticación y manejo de plantas nativas medicinales. • Desarrollo de técnicas moleculares de detección de fitopatógenos de especies de importancia agronómica en Chile. • Aislamiento y caracterización de bacteriozinas con potencial utilización biotecnológica.
Doctorado en Ciencias Moleculares/Investigación y desarrollo de Productos Naturales (UT)	• Aislamiento y determinación estructural de compuestos bioactivos. • Productos bioactivos de plantas alimenticias. • Biotransformaciones mediante microorganismos. • Productos naturales de interés industrial. • Modificación del contenido de principios activos mediante prácticas agronómicas.
Doctorado en Ciencias Biológicas Área de Especialización Botánica (UCO)	• Área de Sistemática, Subárea Taxonomía y Florística; Subárea Sistemática Molecular • Área de Fotoquímica • Área de Fisiología Vegetal • Área de Ecología

Características de los alumnos que ingresan a los programas de doctorado

Esta información sólo se obtuvo para los programas de Doctorado en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias (Universidad de Chile), Ciencias Agrarias (Universidad Católica de Chile), Doctorado en Ciencias Agrarias (Universidad de Talca), Doctorado en Ingeniería Genética Vegetal (Universidad de Talca) y Doctorado en Ciencias Agrarias (Universidad Austral de Chile).

En base a la información recibida, se puede concluir lo siguiente:

- El porcentaje de alumnos vigentes en relación a los matriculados es de 97%
- El porcentaje de alumnos de sexo femenino matriculados es de 38%
- Un 11% de los alumnos en promedio recibieron beca CONICYT durante los años que lleva vigente el doctorado acreditado. El porcentaje de alumnos que han obtenido otras becas es mayor (38%), generalmente otorgadas por las mismas instituciones.

- La formación previa de los alumnos que ingresan a estos programas incluye un 8% con grado de magíster y el resto con estudios de pregrado.
- La edad promedio de los alumnos que ingresan es de 32 años.

De acuerdo a la información obtenida aún no existen graduados en esos programas.

Programas de magíster en ciencias agronómicas y forestales en Chile

Actualmente en Chile existen 14 Programas de Magíster que dictan distintas universidades del país (Tabla 13.19). De ellos sólo 6 están acreditados por la CONAP y son impartidos por la Universidad Austral de Chile (1), Universidad de Talca (2), Universidad de Chile (1), Universidad de Concepción (1) y la Universidad de Los Lagos (1).

Tabla 13.19. Programas de Magíster en Ciencias Agronómicas y Forestales y acreditación.				
PROGRAMA	UNIVERSIDAD	RESOLUCIÓN	PERÍODO DE ACREDITACIÓN	FECHA DE ACREDITACION
Magíster en Ciencias	Universidad Austral de Chile	NO ACREDITADO		
Magíster en Desarrollo Rural	Universidad Austral de Chile	NO ACREDITADO		
Magíster en Gestión Ambiental en Proyectos Forestales	Universidad Austral de Chile	NO ACREDITADO		
Magíster en Ciencias Vegetales	Universidad Austral de Chile	ACREDITADO	4 años	Ene-02
Magíster en Recursos Naturales	Pontificia Universidad Católica de Chile	NO ACREDITADO		
Magíster en Horticultura	Universidad de Talca	NO ACREDITADO		
Magíster en Ciencias Agrarias m/Agronegocios Internacionales	Universidad de Talca	ACREDITADO	2 años	May-03
Magíster en Horticultura	Universidad de Talca	ACREDITADO	2 años	Dic-02
Magíster en Ciencias Agropecuarias	Universidad de Chile	ACREDITADO	4 años	Sep-04
Magíster en Ciencias Forestales	Universidad de Chile	NO ACREDITADO		
Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza	Universidad de Chile	NO ACREDITADO		
Magíster en Ciencias de Recursos Naturales	Universidad de la Frontera	NO ACREDITADO		
Magíster en Ciencias m/Botánica	Universidad de Concepción	ACREDITADO	4 años	Jun-02
Magíster en Ciencias mención Producción, Manejo y Conservación de Recursos Naturales	Universidad de los Lagos	RE-ACREDITADO	2 años	May-05

7. Relación de las Ciencias Agrícolas-Forestales con el medio

Las Ciencias Agronómicas en Chile han estado desde sus comienzos directamente relacionadas con el medio productivo. Este lazo se incrementó a partir de los años 70, cuando la actividad productiva y exportadora del país comenzó a crecer (frutas, vinos, algunas hortalizas y cultivos anuales).

La relación con el medio productivo se ha manifestado tanto en el aspecto técnico-profesional como en el de la investigación. Esta última ha tenido y mantiene aún en gran medida una orientación aplicada, muchas veces motivada directamente por problemas cuya solución es considerada acuciante o al menos importante por el sector productivo.

En Chile los principales profesionales, especialistas y consultores del sector son, en su mayoría, investigadores activos de las universidades y del INIA. Así, no es de extrañar que la relación que se da a nivel personal o institucional, entre los investigadores y las empresas productoras-exportadoras sean muy frecuentes o permanentes.

Esto implica que los investigadores son muchas veces consultores de esas empresas, que realizan sus ensayos con ellas o para ellas, sus alumnos realizan sus prácticas profesionales o memorias de título en conexión con ellas y llegado el momento de participar en proyectos formales de investigación las empresas o agricultores son contrapartes que aportan materiales, insumos, trabajo e incluso dinero. Lo anterior no implica, por cierto, que los aspectos técnicos, especialmente aquellos relacionados con la sustentabilidad de la producción y la calidad de los productos, sean enteramente de su responsabilidad.

No obstante lo anterior, no siempre el sector privado está interesado en respaldar investigación básica de largo plazo que es fundamental para crear conocimiento y resolver los problemas de fondo.

La relación de las ciencias Forestales con el medio productivo, es en general más distante, pero cordial y de colaboración. Sin embargo, en materia de investigación no siempre los intereses son comunes y cuantitativamente la participación conjunta no es de gran monto. En el plano medio ambiental ecológico las coincidencias son mayores, trabajándose en conjunto en los distintos tipos forestales y en las áreas silvestres.

Tanto las ciencias agronómicas como forestales tienen y mantienen una estrecha vinculación y cooperación con las instituciones públicas correspondientes al Ministerio de Agricultura; así como también con las asociaciones gremiales profesionales.

8. Análisis crítico y conclusiones

La actividad académica en estas áreas ha sido de gran importancia para el desarrollo del sector, al formar profesionales y adaptar tecnologías foráneas, y al realizar investigación propia que, aunque insuficiente, ha sido de gran importancia. Un ejemplo lo constituye el desarrollo de la fruticultura en Chile, la cual pasó de ser una actividad menor y mayoritariamente dedicada al abastecimiento interno a constituir una de las principales actividades económicas del país. La formación de ingenieros agrónomos especialistas y la investigación tecnológica realizada fue un factor esencial para que Chile se transformara en el principal país productor-exportador de frutas del hemisferio sur.

Sin embargo, la actividad científica, en cuanto a creación de conocimiento y tecnologías, no ha logrado un desarrollo acorde con la importancia de la actividad agroforestal en Chile. Existen en general, grandes falencias en aspectos productivos que podrían haber sido evitadas de haberse realizado mayor y mejor investigación. En muchos ámbitos importantes, como es el caso de fruticultura, por ejemplo, al no existir investigación suficiente, la industria nacional depende de variedades, portainjertos y tecnologías extranjeras, las que no siempre se adaptan a las necesidades del país y llegan cada vez con mayor dificultad a la industria. En cultivos anuales aún no se logra desarrollar una agronomía que permita terminar con prácticas tan poco deseables como es la quema

de residuos de cultivos. La mayoría de las investigaciones son de corto plazo (porque las fuentes de financiamiento operan así). No existe un conocimiento agronómico local acabado en relación a rotaciones de cultivos, esenciales para mantener la sanidad y fertilidad de los suelos. En ciencias del suelo, hay un gran desconocimiento en relación a la interacción suelo-metales pesados-planta, degradación y transporte de pesticidas y otros, tópicos que son altamente dependientes de las características locales de los suelos.

El nivel de desarrollo de nuestra investigación es irregular. Por una parte existen en cada área individuos o grupos de investigadores que están realizando investigación de calidad, integrados a redes de investigación internacionales que aportan conocimientos y generan avances tecnológicos de interés. Existen también especialidades más desarrolladas que otras. Como un todo, sin embargo, la productividad científica de la disciplina es baja comparada con los países desarrollados (particularmente de América del Norte, Europa y Australia).

Los principales factores que han determinado esta situación a nuestro juicio son:

- Insuficiente cantidad de investigadores activos, en general sometidos a bajos niveles de exigencia y mal remunerados.
- Escaso desarrollo de la academia y de las actividades de postgrado, particularmente a nivel de doctorado, que en las universidades constituyen un fuerte aliciente para la investigación.
- Una cultura universitaria profesionalizante donde se favorece la actividad profesional y la solución de problemas prácticos inmediatos de la industria, en desmedro de la actividad científica de creación de conocimiento.
- Carencia casi absoluta de investigación de largo plazo indispensable para la creación, por ejemplo, de tecnología de manejo sustentable y de variedades y portainjertos.
- Poca importancia relativa de los científicos del área en el diseño de políticas de investigación y desarrollo y en la adjudicación de recursos estatales, en comparación con otros grupos públicos y privados.
- Escasa motivación, dado que la creación de conocimiento y tecnología que se ha realizado en el país muchas veces no se aplica por problemas de orden ajeno a lo técnico. Así por ejemplo, respecto al bosque nativo se ha logrado a nivel nacional un nivel de conocimiento que permitiría desarrollar en mejor forma este sector, lo que no se lleva a cabo por razones económicas y políticas.
- La capacidad de investigación básica en Agronomía en Chile es limitada, esencialmente por el hecho que la educación superior ha tenido y tiene una orientación principalmente profesional y porque los investigadores con alto nivel de preparación del área agronómica y relacionadas se han visto obligados (generalmente por problemas económicos asociados a los bajos sueldos de los centros de investigación) a dejar paulatinamente la investigación fundamental y orientarse hacia el área profesional.
- El Sistema de Investigación nacional (fundamentalmente CONICYT) se ha orientado principalmente al fortalecimiento de las ciencias básicas en desmedro de las ciencias aplicadas como es el caso de las Ciencias Agronómicas y Forestales. Posee un presupuesto casi fijo no acorde con las necesidades de financiamiento de investigación en esta área, especialmente considerando los requerimientos de desarrollo del sector.
- Falta de financiamiento e inadecuado funcionamiento de las estaciones experimentales.

Recomendaciones

- Referidas a universidades e institutos de investigación, particularmente las de regiones:
 - Debieran tener una mayor cantidad de investigadores bien remunerados y sometidos a mayores exigencias. En estas instituciones se debería mejorar significativamente la difusión de resultados tanto nacional como internacionalmente, mediante publicaciones de calidad internacional.
 - Deben favorecer la incorporación de investigadores calificados a través de una política de contratación de post-doctorados tanto nacionales como extranjeros.
 - Debieran establecer claramente la diferencia entre proyectos y actividades de investigación científica y tecnológica y lo que corresponde a adaptación tecnológica o transferencia de tecnologías, favoreciendo fuertemente los primeros.
 - Las universidades debieran incrementar en forma significativa las actividades de postgrado, particularmente las de doctorado, que son un fuerte aliciente para la investigación.
 - Establecer programas de investigación de largo plazo que permitan abocarse a los proyectos que lo requieran, como creación de variedades, portainjertos y a aquellos donde constantemente se debe estar innovando para mantener la sustentabilidad y competitividad de las actividades agrícolas y forestales
 - Fortalecer el funcionamiento de las estaciones experimentales.
- Referidas a asignación de recursos:
 - Aumentar aquellos destinados a realizar investigación científica (FONDECYT) y desarrollo tecnológico de alta calidad (FONDEF), concentrando los fondos disponibles en proyectos destinados a crear conocimiento y en aquellos que enfrenten seriamente problemas complejos de importancia nacional que impliquen la creación de tecnología mediante investigación de primer nivel.
 - En los proyectos tecnológicos dar prioridad a aquellos que puedan tener un claro efecto en el aumento de la competitividad, sustentabilidad y calidad de procesos productivos y productos.
 - Considerar en forma más preponderante la opinión de los científicos del área que las de otros grupos públicos o privados en el diseño de políticas de investigación y desarrollo y en la asignación de recursos públicos.
 - Incentivar una mayor participación de privados en el financiamiento de la investigación tecnológica, particularmente la destinada a solucionar los problemas de la industria.

Ciencias Ambientales

Diagnóstico y mirada hacia el futuro

Mary T. Kalin Arroyo (*Coordinadora*), Juan Armesto, Francisco Bozinovic, Lohengrin Cavieres, Julio Gutiérrez, Claudio Latorre, Pablo Marquet, Doris Soto y Francisco Squeo

Resumen- Las Ciencias Ambientales constituyen *el conjunto de disciplinas que proveen información sobre los sistemas físicos, biológicos y sociales que constituyen la biosfera y que determinan su dinámica a diferentes escalas espaciales y temporales*. Estas disciplinas revisten particular importancia en Chile por su alta diversidad de ecosistemas, climas y fisiografía y alto número de especies endémicas, producto de su condición de isla biogeográfica. Una parte importante del territorio chileno es uno de los 25 sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad mundial. Además, los ingresos del país se sustentan en gran medida en sus recursos naturales y belleza paisajística. Este documento presenta un análisis cuantitativo y cualitativo del estado actual de las Ciencias Ambientales en Chile y su comparación con las cifras del quinquenio precedente.

El Directorio de Científicos Activos en Ciencias Ambientales para 2004 contiene 170 investigadores (8% del total de científicos nacionales), en comparación con 102 en 1997. Cuarenta son menores de 40 años y 80% (136 investigadores) tienen el grado de Doctor (50% graduados en universidades chilenas); 22 poseen el grado de Magíster. Esto contrasta con el Directorio de 1997, donde solo 7 investigadores habían recibido su doctorado en Chile. Un 27% han realizado posdoctorados en Chile o el extranjero. La representación femenina entre los investigadores activos es aún baja en comparación con Europa (25 vs 43% respectivamente). En las subdisciplinas Ecología y Ciencias Animales, los investigadores de sexo masculino alcanzan a 83% y 88% respectivamente.

Los investigadores activos pertenecen a 20 universidades y otras instituciones (privadas, del Estado y ONGs). La Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) no registra ningún científico activo en Ciencias Ambientales. Dos tercios de los investigadores se concentran en cuatro universidades (Universidad de Chile, Universidad de Concepción, Universidad Austral y Universidad Católica). Un 80% de investigadores reside en tres Regiones del país. Las Regiones del norte de Chile son las más carentes de científicos calificados. Las Ciencias Vegetales y Ecología presentaron el mayor número de investigadores (25,9% y 24,1% del universo). Hay menos doctores en Botánica, Entomología y Limnología respecto a la tendencia general de la disciplina. La Ecología de Comunidades y Ecosistemas parece ser la línea de investigación preferente, seguida por Sistemática, Fisiología y Ecofisiología Vegetal. Se nota un incipiente desarrollo de las áreas de Contaminación y Toxicología, Paleoecología, Conservación de la Biodiversidad, Genética Evolutiva y Genética de Poblaciones.

Los 170 investigadores activos publicaron 819 trabajos en 272 revistas ISI, además de 247 capítulos en libros y 50 libros y monografías. En comparación con el sexenio 1987-1992 la productividad aumentó en 90,4%. Las Ciencias Ambientales, contribuyeron con 6,3% de los trabajos ISI del país en el quinquenio. Las Ciencias Ambientales de Chile se ubican en el lugar 24 entre 142 países del mundo en relación al número de artículos *per capita*, una posición similar a algunos países desarrollados de Europa. Cerca de 100 de los 819 trabajos cuentan con citas suficientes como para ubicarlos en el 10% superior de la disciplina.

Los aportes económicos del Estado a las Ciencias Ambientales aumentaron desde US M\$ 4,0 en 2000 a US M\$ 7,3 en 2004. El financiamiento internacional se ha mantenido entre US M\$ 2,1 y 2,6. Un tercio del financiamiento nacional, excluidas fuentes privadas, lo proporciona FONDECYT. Es notable la ausencia casi total del sector privado en el financiamiento de la investigación en Ciencias

Ambientales en Chile, en un período en que el medio ambiente es un tema de relevancia nacional. Cuatro universidades tradicionales capitalizan 72% de los recursos en Ciencias Ambientales. Para 2002, año para el cual existen datos desglosados, los fondos asignados a la disciplina representan apenas 2% del total de fondos estatales dedicados a Investigación y Desarrollo.

Algunos logros destacables del período son: a) la conservación de 68.000 ha de ecosistemas subantárticos en terrenos privados de Tierra del Fuego, b) el Programa Sectorial en la II Región para avanzar el conocimiento de ecosistemas y biodiversidad, c) la participación de científicos del área ambiental en el Catastro Vegetacional de Chile, d) el Libro Rojo de la Flora de la IV Región, d) el primer diagnóstico de biodiversidad chilena, y e) tres nuevas estaciones de campo para investigación. Se puede afirmar que las Ciencias Ambientales han tenido una creciente participación en la educación ambiental a lo largo del país y protagonismo científico a nivel nacional e internacional.

Para que las Ciencias Ambientales contribuyan de manera decisiva al desarrollo del país en las próximas décadas, nos parece necesario avanzar en: a) mayor reconocimiento del Estado al papel fundamental de las ciencias ambientales en el desarrollo socio-económico del país; b) una inversión en formación y ciencia 3 a 4 veces mayor que la actual para alcanzar el nivel de productividad científica *per capita* de países desarrollados de similar tamaño y nivel de dependencia de sus recursos biológicos y servicios ecosistémicos; c) un inventario biológico del país, el cual debe ser la base fundamental para las áreas de investigación avanzada y el cumplimiento de las metas ambientales del país; d) un programa de fondos para sitios de estudio permanentes en el campo (estaciones biológicas), infraestructura y equipamiento de laboratorios en terreno, que permitan monitorear las tendencias climáticas, las respuestas de los ecosistemas y predecir condiciones futuras; y e) contar con mediciones del impacto de las publicaciones útiles para los encargados de la conservación, manejo y uso de los recursos naturales en el país.

1. Introducción

Las Ciencias Ambientales constituyen *el conjunto de disciplinas que proveen información sobre los sistemas físicos, biológicos y sociales que constituyen la biosfera y que determinan su dinámica a diferentes escalas espaciales y temporales*. Entre las áreas disciplinarias que proveen marcos conceptuales y empíricos que alimentan a las ciencias ambientales deben considerarse disciplinas como la sistemática, la paleoecología, la ecología de poblaciones, comunidades y ecosistemas, la ecofisiología, la ecología evolutiva, la genética, la microbiología, la biogeografía, la biología de la conservación, entre otras. Desde una perspectiva más aplicada, son relevantes áreas como contaminación y toxicología, manejo de recursos naturales, biotecnología ambiental, entre otras. Sólo en un contexto multidisciplinario es posible dar respuesta satisfactoria a muchas interrogantes actuales relacionadas con el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas; como por ejemplo los efectos de los gases invernadero sobre el ecosistema global, efectos de los cambios climáticos globales, las consecuencias funcionales de la fragmentación de hábitats, la extinción de especies, y la restauración de ecosistemas perturbados.

Chile se caracteriza por una alta diversidad de ecosistemas y especies endémicas, producto de su condición de isla biogeográfica, y variados climas y fisiografía. Una parte importante del territorio chileno es reconocido como uno de los 25 “Hotspots” mundiales de biodiversidad. Esas características del país hacen indispensable la existencia de un conjunto de científicos activos altamente calificados y cohesionados en las distintas disciplinas de las ciencias ambientales, a la vez que ofrece un medio interesante para estudios comparativos y conceptuales. Los desafíos para Chile en el ámbito de las Ciencias Ambientales, en este período de su historia que corresponde a su condición de país emergente, son enormes. Además de contribuir a la ciencia de punta, al conocimiento básico, y publicar trabajos científicos de alta calidad internacional, los científicos de esta disciplina deben contribuir al manejo sustentable de los recursos y a la conservación de la biodiversidad, y proponer soluciones a los múltiples problemas medioambientales del país. Al respecto, aún cuando el último informe OECD (Organization for

Economic Co-operation and Development) (2005)¹ sobre Chile reconoce un avance importante en el medioambiente, entre otras cosas sostiene que *“the protection of nature has so far not been given enough emphasis ... the country’s species, their conservation status and the functioning of Chile’s ecosystems remain insufficiently unknown... government policies do not adequately acknowledge the value of nature as a vital asset to the tourism industry... only limited progress has been made so far in integrating biodiversity considerations in water management”* – todo ello en un momento en el cual el recién completado “Millennium Assessment”², concluye que el mundo experimenta cambios ambientales de magnitudes y tasas nunca antes vistas.

El capítulo de Ciencias Ambientales (Fuentes et al., 1993) del estudio *“Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena”*, publicado por la Academia de Ciencias del Instituto de Chile con el patrocinio de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT), incluyó una síntesis histórica del desarrollo de las Ciencias Ambientales hasta esa fecha. Sin embargo, desde esa fecha, la relevancia de este conjunto disciplinario en el contexto nacional ha crecido notablemente. Esta progresión se refleja tanto en la mayor capacidad profesional de los exponentes de las diferentes disciplinas que imparten formación de posgrado y posdoctorado, una expansión del número de grupos de investigación a lo largo del país, una productividad científica más amplia en cuanto a la complejidad y diversidad de las temáticas abordadas así como rigurosidad del tratamiento experimental y teórico. A ello se suma un creciente protagonismo y reconocimiento internacional de sus miembros. Sin embargo, no existe un análisis crítico de las tendencias de la última década en lo que se refiere a las fortalezas y debilidades de las Ciencias Ambientales.

En el presente documento se desarrolla un análisis cuantitativo y cualitativo del estado actual de las Ciencias Ambientales en Chile. Los objetivos principales del estudio son: (1) analizar la capacidad científica instalada del país; (2) evaluar la productividad científica; (3) estimar los aportes de fondos destinados a esta disciplina y sus necesidades a futuro; (4) presentar el progreso en cuanto a la formación de recursos humanos y el desarrollo de sociedades científicas; (5) evaluar el Directorio de Científicos Activos cuya última versión fue publicada en 1997. Luego de presentar los avances, intentaremos evaluar la situación actual de las ciencias ambientales en el contexto internacional. El trabajo finaliza con un resumen de las principales conclusiones y algunas recomendaciones de índole general. Este estudio se limita a la investigación en ecosistemas terrestres (incluyendo aguas continentales). Quedan excluidas, por decisión de la Academia, las disciplinas Geografía, Geología y Ciencias del Mar, puesto que forman parte de otros capítulos, salvo en algunos donde los investigadores realizan trabajos en más de un disciplina.

2. Metodología

Para conocer las tendencias en la productividad del área de Ciencias Ambientales y la nómina del Directorio de Ciencias Ambientales, se consideró la productividad científica de los años 2000 a 2004. Lógicamente, al considerar solamente estos años, se está subestimando la productividad total acumulada desde el primer análisis en 1993. Sin embargo, se consideró que cinco años eran suficientes como para detectar las grandes tendencias. Respecto al período intermedio, haremos referencia a algunos trabajos claves e iniciativas importantes en el país en la sección sobre productividad.

Para determinar la nómina de los científicos, el Subcomité de Ciencias Ambientales, en abril de 2005, procedió a definir el perfil de “Investigador Activo”. Se optaron por criterios objetivos y aplicables a las bases de datos disponibles (Observatorio de CONICYT, ISI Web of Science) y a la información adicional recopilada por el subcomité de los investigadores durante el proceso.

¹ http://www.oecd.org/document/32/0,2340,en_2649_33713_34856224_1_1_1_1,00.html

² www.millenniumassessment.org/

El Subcomité de Ciencias Ambientales estableció tres modalidades para la inclusión en el Directorio de científicos activos: (1) Haber publicado un mínimo de 3 publicaciones en revistas ISI durante el intervalo 2000-2004; (2) haber publicado 2 trabajos en revistas ISI y tener dos trabajos publicados en revistas incluidas en Scielo (no-ISI); (3) haber publicado 1 trabajo en una revista ISI y 4 trabajos en revistas Scielo. Los trabajos aceptados o en prensa en el período no fueron considerados. Las condiciones básicas podrían modificarse de la siguiente forma. Un capítulo de libro publicado en un editorial internacional se consideró el equivalente a un trabajo ISI, hasta un máximo de 2 del total de 3 trabajos ISI. De la misma forma, un capítulo de libro publicado en una editorial nacional se consideró equivalente a un trabajo publicado en una revista Scielo (no-ISI) hasta un máximo de 2 del total de 3 trabajos ISI. Además, se dio crédito a los libros editados y publicados de acuerdo con su contenido, extensión, y editorial.

Salvo algunas excepciones de investigadores con cargo estable, las personas sin grado de doctor (por ejemplo, los estudiantes de doctorado) no fueron incluidas. Asimismo, las personas que se doctoraron en el año 2004 sin iniciar sus estudios posdoctorales o ganar un cargo académico en dicho año, tampoco fueron incluidas. Con respecto a las personas recientemente doctoradas, el número de trabajos ISI requeridos se ajustaron de acuerdo con el número de años desde la obtención del grado.

En abril de 2005 se confeccionó una lista preliminar de todos los investigadores vinculados con la Ciencias Ambientales apoyándonos en las listas de socios activos de las Sociedad de Biología de Chile, la Sociedad de Ecología de Chile, la Sociedad de Botánica de Chile, la Sociedad de Entomología de Chile, la nómina de personas en Ciencias Ambientales en el Observatorio de CONICYT, y personas adicionales que fueron pesquisadas en páginas Web de instituciones de investigación y universidades a lo largo del país. Finalmente, se revisó la lista de personas incluidas en el Directorio de 1996-1997.

Para cada persona en la lista maestra, se consultó el ISI Web of Science con el objetivo de verificar la acreditación de por lo menos un (1) trabajo ISI publicado en el quinquenio 2000-2004, extrayendo a su vez la referencia completa de la totalidad de los trabajos ISI para cada persona en una base de datos. Concomitantemente, se recuperaron todas las publicaciones de la base de datos Scielo para los integrantes de la lista maestra. Para complementar la información sobre productividad, y obtener información anexa sobre el nivel de formación, edad, etc, se diseñó una encuesta que fue enviada electrónicamente a personas que acreditaron por lo menos 1 trabajo ISI en el período. Se revisó la totalidad de los antecedentes enviados, verificando la información obtenida en el ISI Web of Science para los trabajos ISI, Scielo-no-ISI, e ingresando a la base de datos los capítulos de libros y libros de cada persona. Se excluyeron todas las actas a congresos. Para las personas que no contestaron la encuesta, consultamos las páginas Web de sus respectivas instituciones para obtener información sobre capítulos de libros y libros que no están disponibles en ISI Web of Science y Scielo. Finalmente, la lista preliminar de nombres, junto con los criterios, fueron publicados en la Web por la Academia de Ciencias a finales de Agosto-principios de Septiembre 2005, donde se solicitó a la comunidad que enviara sus antecedentes en los casos justificados, y que hiciera cualquiera otra observación pertinente. Finalizados los chequeos de rigor, se determinó la composición del Directorio al 10 de septiembre de 2005.

Se analizó la productividad del universo total de investigadores, de las áreas de investigación y a nivel individual. Para el análisis de la productividad se obtuvo el número de citas en ISI Web of Science para los trabajos ISI, Scielo No-ISI, capítulos de libro y libros publicados en el quinquenio. Se registraron todas las citas ISI en un período de una semana para asegurar que los datos para cada investigador fuesen comparables y para evitar sesgos. En forma complementaria se obtuvo el Índice de Impacto de cada revista ISI representada en la productividad de los miembros incluidos en el Directorio.

Para establecer el nivel de financiamiento para las actividades de investigación en Ciencias Ambientales en Chile en el quinquenio 2000-2004 se utilizaron las siguientes fuentes de información: (1)

Las bases de datos de FONDECYT, FONDEF y FIA disponibles en Internet; (2) información proporcionada por las direcciones de investigación de las universidades; (3) información proporcionada por los investigadores (en sus currículos, encuestas o por consulta directa telefónica). La base de datos resultante posee 527 registros, de los cuales 452 poseen la información de monto asignado al proyecto. Los campos en esta base de datos contienen la siguiente información: a) investigador en la lista de Ciencias Ambientales; b) institución asociada al proyecto; c) fuente de financiamiento; d) nombre del investigador; e) datos de la fuente de financiamiento (número de proyecto); f) título del proyecto; g) año de inicio y término del proyecto; h) monto total del proyecto; i) monto anual del proyecto; j) montos en los años 2000 al 2004; k) monto total en el período 2000-2004. Para todos los análisis se usó la afiliación de los científicos en el período 2000-2004.

La información sobre pre y posgrado y de las sociedades científicas se obtuvo de diversas fuentes, incluyendo consultas directas y bases de datos electrónicas en la Web (*e.g.*, del Consejo de Rectores³).

3. Características de los investigadores e instituciones

3.1. Formación de posgrado y nacionalidad

El Directorio de Científicos Activos en Ciencias Ambientales para 2004 incluye 170 investigadores, en comparación con 102 en 1997 (Allende y Ureta, 1997). Este número subestima el número real de investigadores que realizan investigación en medioambiente en Chile. Adicionalmente, existen investigadores en las disciplinas de Química, Ciencias de la Tierra, Agronomía y Ciencias Forestales que realizan trabajo con relevancia a las Ciencias Ambientales, quienes por su orientación principal están incluidas en los Directorios respectivos. Más de la mitad de los investigadores son nuevos: corresponden a científicos establecidos que han logrado publicar en revistas ISI en los últimos años, científicos jóvenes de una nueva generación y seguramente algunos que quedaron fuera del Directorio anterior por omisión involuntaria. Hay que señalar que la definición del Directorio de Ciencias Ambientales fue más acotada para este período con respecto al anterior, por lo que varias personas que figuraban en Ciencias Ambientales en el estudio anterior se ubican solamente en otros Directorios (por ejemplo Ciencias del Mar, Ciencias de la Tierra). Cuarenta de los científicos nuevos tienen 40 años o menos, lo que indica una fuerte renovación de la planta de investigadores en Ciencias Ambientales. Considerando un universo de 2.133 científicos activos para todas las disciplinas en el período (Allende et al., este volumen), se llega a la conclusión que las Ciencias Ambientales aportan 8% de los científicos activos de Chile.

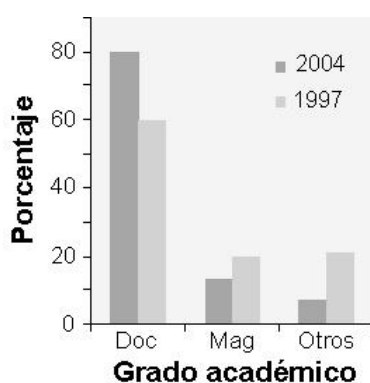


Figura 14.1. Número de investigadores activos en Ciencias Ambientales con grado de Doctor (Doc), Magíster (Mag). N = 170 (2004); N = 96 (1997). Datos para 1997 de Allende & Ureta (eds.) 1997, página 197.

³ <http://www.consejoderectores.cl/>

Entre los 170 científicos del Directorio, 136 investigadores tienen el grado de Doctor (80,0%), 22 el grado de Magíster (13,0%) y 12 (7,1%) poseen una licenciatura o un título profesional (Fig. 14.1), lo que significa un aumento del 20% en los doctores en comparación con 1997. En términos absolutos, se trata de un aumento de 79 doctores en el Directorio de Ciencias Ambientales. Aunque la gran mayoría de los investigadores es chilena, destaca que 11 extranjeros, principalmente de otros países de América Latina, encuentran en Chile un lugar adecuado para desarrollar sus carreras científicas.

Sesenta y siete doctores (49,3%) obtuvieron su grado en Chile, 36 (27,2%) en Europa, 30 (22,1%) en USA, 1 en Argentina (0,7%) y 1 en Nueva Zelanda (0,7%). Esto contrasta con el Directorio de 1997, en donde solamente siete investigadores habían recibido su doctorado en Chile, y muestra que los programas de posgrado en Chile han tenido un fuerte impacto en la formación de investigadores en Ciencias Ambientales. Este efecto es aun más notorio al agregar las maestrías, donde 15 magísteres (68,2%) obtuvieron su grado en Chile y sólo 4 (18,2%) en USA y 3 (13,6%) en Europa. Cuarenta y seis de los doctores tienen además un posdoctorado o están actualmente en el proceso de adquirir entrenamiento posdoctoral (33,8% del total de doctores o 27% del Directorio). Veintiocho investigadores hicieron su posdoctorado en Chile (60,9%), 13 en USA (28,3%) y 5 en Europa (10,9%), lo que implica una gran diversidad de experiencias.

El Subcomité de Ciencias Ambientales reconoce explícitamente a los siguientes investigadores por su dedicación a labores de gran importancia para la disciplina: Alberto Veloso, Universidad de Chile; Jose Yañez, Museo Nacional de Historia Natural y Francisco Saenz, Pontificia Universidad Católica. Asimismo, queremos recordar a quienes dejaron de estar con nosotros en el quinquenio, los destacados científicos, maestros y pioneros: Edmundo Pisano de la Universidad de Magallanes y del Instituto de la Patagonia, Patricio Sánchez de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y Hugo Campos de la Universidad Austral de Chile. Cada uno dejó su vasto legado en la ciencia chilena empírica y teórica.

3.2. Género y distribución por edades de los investigadores

Del universo de 170 investigadores 25,3% (43) son mujeres, lo que se traduce en un aumento con respecto a 1997 (19,6%). Este porcentaje es similar al encontrado para los investigadores de Ciencias del Mar (Castilla et al., este volumen). Respecto a los países desarrollados, Handelsman et al., (2005) indica que para Estados Unidos, 30,2% de los científicos con cargo de profesor asistente en Ciencias Biológicas son mujeres, sin embargo, con reducciones significativas en las categorías superiores. En Europa, 43% de los académicos en las Ciencias Naturales son mujeres⁴.

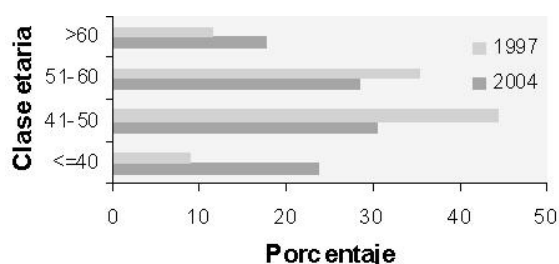


Figura 14.2. Distribución por edades de los investigadores del Directorio de Ciencias Ambientales en 2004 y 1997. N = 166 (2004); N = 79 (1997). Datos para 1997 de Allende & Ureta (eds.) 1997, página 197.

Para el análisis de la estructura por edades se definieron las siguientes clases: <= 40 años, 41-50 años, 51-60 años, > 60 años (Fig. 14.2). Las clases más representadas en la actualidad son entre 41-50 años con 50 investigadores (30,1%) y entre 51-60 años con 47 investigadores (28,3%). De los 39 investigadores en

⁴ http://europa.eu.int/comm/research/science-society/women-science/women-science_en.html.

la clase ≤ 40 años (23,5%), 17 tienen 35 años o menos. Al otro extremo, de los 30 investigadores con más de 60 años (18,1%), 15 tienen 65 años o más y 5 más de 70 años. La distribución por edades de los investigadores femeninos y masculinos es muy parecida, por lo que no se muestra separadamente. La mediana de la edad de los 166 investigadores, para los cuales se dispone de la información pertinente, es 49 años, lo que muestra que en esta disciplina hay un porcentaje bastante importante de gente relativamente joven.

Sin embargo, comparado con el Directorio de 1997 (Fig. 14.2), se observa un aumento notable en la proporción de científicos en el intervalo más joven, y a la vez, proporcionalmente menos científicos en las clases intermedias. Asimismo, en la década en estudio, permanecieron activos proporcionalmente más científicos en el grupo > 60 años.

Tabla 14.1. Número de investigadores del Directorio según institución en Ciencias Ambientales		
Institución	N° de investigadores	Porcentaje
Universidad de Chile	39	23,1
Universidad de Concepción	35	20,7
Universidad Austral de Chile	23	13,5
Pontificia Universidad Católica de Chile	16	9,5
Universidad de La Serena	7	4,1
Universidad de Talca	5	2,9
Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias	4	2,4
Universidad de Valparaíso	4	2,4
Universidad de Magallanes	4	2,4
Museo Nacional de Historia Natural	3	1,8
Universidad Católica de Temuco	3	1,8
Universidad de Los Lagos	3	1,8
Universidad Católica de Norte	3	1,8
Universidad Católica de Valparaíso	3	1,8
Centro de Ecología Aplicada	2	1,2
Fundación Senda Darwin	2	1,2
Universidad Central	2	1,2
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación	2	1,2
Universidad de Santiago	2	1,2
Centro de Investigación Metalúrgica y Minera	1	0,6
Servicio Agrícola Ganadero	1	0,6
Universidad Católica de Concepción	1	0,6
Universidad de la Frontera	1	0,6
Universidad Nacional Andrés Bello	1	0,6
Universidad de Santo Tomás	1	0,6
Universidad de Tarapacá	1	0,6

* 1 investigador adicional actualmente realiza sus estudios de posdoctorado en EEUU

3.3. Instituciones

Los investigadores activos en ciencias ambientales pertenecen a 26 instituciones entre las cuales figuran 20 universidades (Tabla 14.1). En comparación con 1997, hay siete nuevas universidades, indicando una expansión interesante de cobertura. Las nuevas universidades son principalmente

establecimientos privados en Santiago y en regiones (por ejemplo la Universidad de Talca). La Universidad de Chile sigue siendo la que alberga el mayor número de investigadores en ciencias ambientales, seguida por la Universidad de Concepción; luego aparecen dos universidades con dotaciones similares: la Universidad Austral de Chile y la Pontificia Universidad Católica de Chile (Tabla 14.1). Esas cuatro universidades tradicionales (2 del sur y 2 de la Región Metropolitana) hoy día albergan alrededor de dos tercios de los investigadores activos en ciencias ambientales. Dos universidades regionales (Universidad de La Serena y Universidad de Talca) tienen 5 o más, pero menos de 10 investigadores. Todas las otras universidades e institutos estatales y privados representados cuentan con menos de 5 investigadores activos.

Un número reducido de investigadores trabajan en entidades privadas u ONGs: Centro de Investigación Metalúrgica y Minera (CIMM), Centro de Ecología Aplicada (CEA), Fundación Senda Darwin (FSD) y en los Servicios e Institutos del Estado (SAG, INIA). El total de investigadores en los Servicios del Estado, según los criterios empleados en este estudio, no sobrepasan el 3% del universo. La Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) no registra algún científico activo en Ciencias Ambientales.

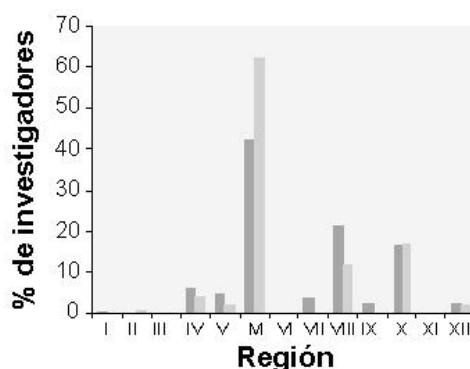


Figura 14.3. Número de investigadores en Ciencias Ambientales por Región administrativa de Chile. N = 170 (2004). Datos para 1997 de Allende & Ureta (eds.) 1997, página 197.

Con dos tercios de los investigadores concentrados en cuatro universidades, no es sorprendente que la distribución de los investigadores por región siga siendo muy desequilibrada. El mayor porcentaje de los investigadores se encuentra en la Región Metropolitana (42,4%), luego están la VIII y X Región con 21,2% y 16,5%, respectivamente. Es decir, en estas tres regiones se concentra más de 80% de todos los investigadores activos en ciencias ambientales. No obstante, la situación ha mejorado ostensiblemente desde 1997 cuando 61% de los investigadores trabajaban en instituciones en Santiago (Fig. 14.3); y es especialmente notable el aumento de investigadores activos de la Universidad de Concepción. Destaca también, que la XII Región en el extremo sur del país cuenta con un pequeño núcleo de investigadores. Por otra parte, es preocupante que en la zona norte del país, sólo una región (IV) registra un número importante de investigadores (10; 5,9%). Más aún, hay cuatro regiones (II, III, VI, y XI) que no cuentan con investigadores activos en ciencias ambientales según los criterios empleados en este estudio.

3.4. Subdisciplinas

La gran heterogeneidad de las ciencias ambientales dificultó mucho el análisis de las subdisciplinas, pues bajo el paraguas Ciencias Ambientales, se encuentran varias *disciplinas* diferentes (acá el equivalente a las subdisciplinas), como las Ciencias Vegetales (incluyendo Fisiología y Ecofisiología, Sistemática, etc.), Ciencias Animales (idem anterior), Ecología, Genética, etc. Las respuestas a las encuestas no

resultaron satisfactorias en cuanto a la definición de subdisciplinas y áreas de investigación, por lo que optamos por asignar cada investigador a una subdisciplina principal, y luego a un área principal de investigación. Para la subdisciplinas se tomó en cuenta el título de posgrado y la orientación del Departamento académico del investigador. Para las áreas de investigación se examinaron las publicaciones ISI de cada investigador, seleccionando el área que más prevalece entre las publicaciones; desde luego ninguna clasificación de esta naturaleza es perfecta. Es decir, los resultados sólo sirven para vislumbrar las tendencias más generales en el universo de investigadores.

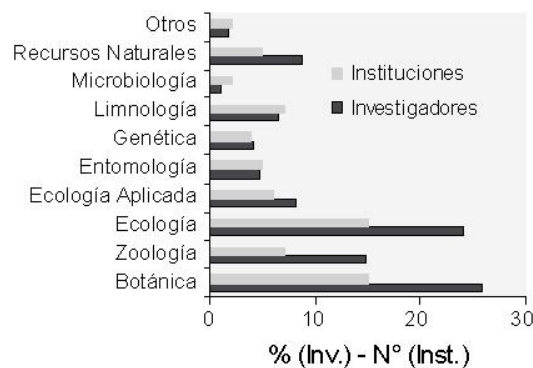


Figura 14.4. Porcentaje del total de investigadores activos en Ciencias Ambientales en cada subdisciplina y número de instituciones que desarrolla investigación en cada subdisciplina. N = 170 investigadores.

La Fig. 14.4 indica que las subdisciplinas de Ciencias Ambientales siguen con un patrón de desarrollo dispar, tal como fue detectado en 1997; además se detectaron diferencias en la formación a nivel de posgrado y representación de las mujeres entre las subdisciplinas. Las Ciencias Vegetales y Ecología son las más desarrolladas en cuanto a investigadores activos (25,9% y 24,1% del universo de los investigadores respectivamente) seguido por Ciencias Animales con 14,7%. Al sumar la Ecología Aplicada (con 8,2% de los investigadores) a la categoría Ecología, la Ecología *sensu lato* sería la subdisciplina con más investigadores en Ciencias Ambientales, al igual que en el estudio de 1997. En cuanto a género, en la subdisciplina de la Ecología el porcentaje de investigadores masculinos alcanza a 82,9%, mientras que en Ciencias Animales es de 88%. En Recursos Naturales no hay representación de investigadoras en este momento. En Ecología Aplicada el porcentaje del sexo masculino es representativo de la tendencia general, en tanto que en las demás subdisciplinas es por sobre 80%. En las demás subdisciplinas estos valores son más equilibrados. En cuanto a formación académica, hay menos doctores en Botánica, Entomología y Limnología (< 60%) respecto a la tendencia general de la disciplina.

En cuanto a distribución en el país, botánicos y ecólogos están repartidos en 15 instituciones respectivamente, que es un número muy superior al observado en las demás subdisciplinas. La Genética, Entomología, y Microbiología son más restringidas en cuanto a cobertura. La gran mayoría de los ecólogos, botánicos y zoólogos trabaja en cuatro instituciones: Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Chile, Universidad Austral de Chile y Universidad de Concepción. Por otra parte, en la subdisciplina de Entomología (4,7% de investigadores) la mayoría pertenece a la Universidad de Concepción y Universidad de Talca. Un número alto de personas que trabaja en Recursos Naturales (8,8% de los investigadores) se encuentra en la Universidad Austral, en tanto que la Universidad de Concepción alberga un gran número de investigadores en Ecología Aplicada, situación que se relaciona con el desarrollo del EULA. En la misma línea, los investigadores de la subdisciplina Genética (4,1% de los investigadores) se reparten en varias instituciones del país, pero la que posee mayor cantidad es la Universidad de Chile. Por otra parte, los investigadores dedicados al estudio de sistemas dulceacuícolas,

como es la Limnología, representan 6,5 % del total de los investigadores en ciencias ambientales; se concentran en tres instituciones, Universidad de Concepción, Universidad de Chile y Universidad Austral. Los microbiólogos (1,2%) se restringen a dos instituciones.

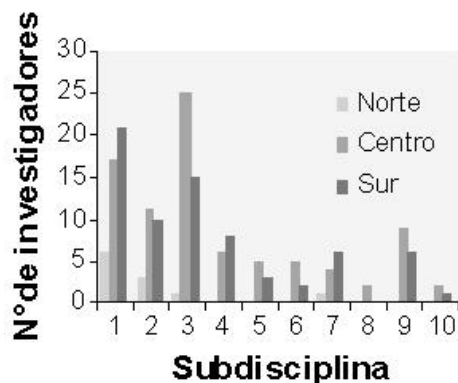


Figura 14.5. Número de investigadores por subdisciplina en el Norte (I-IV Regiones), Centro (V-VI, M Regiones) y Sur (VIII-XII) de Chile. 1) Ciencias Vegetales; 2) Ciencias Animales; 3) Ecología; 4) Ecología Aplicada; 5) Entomología; 6) Genética; 7) Limnología; 8) Microbiología; 9) Recursos Naturales; 9) Otros.

La Fig. 14.5. muestra el panorama actual para el Norte, Centro y Sur del país. Con pocas excepciones (Botánica, Limnología) el número de investigadores por subdisciplina es mayor en el centro del país. En todas las subdisciplinas hay una ausencia total o un número mínimo de investigadores en el Norte en comparación con el Sur del país.

3.5. Áreas de investigación

Para una comunidad científica pequeña, destaca la gran diversidad de áreas de investigación en ciencias ambientales (Fig. 14.6). Sin embargo, el desarrollo de las áreas más aplicadas es claramente inferior en relación con las áreas básicas. La Ecología de Comunidades y Ecosistemas es la línea de investigación preferente, seguida por Sistemática, luego Fisiología y Ecofisiología Vegetal (19 a 31 investigadores). A la vez se nota un moderado desarrollo en las áreas de Contaminación y Toxicología, Paleoecología, Conservación de la Biodiversidad, Genética Evolutiva y Genética de Poblaciones (6-12 investigadores). Son escasos los investigadores cuyas principales líneas de investigación corresponden a las demás áreas de investigación (entre 1 y 5). Hay que destacar que las cifras para cada área son subestimaciones, pues hay un buen número de investigadores en más de un área de Ciencias Ambientales, situación que es típica en comunidades científicas pequeñas en donde los investigadores, junto con sus alumnos, tienden a incursionar constantemente en temas nuevos, no desarrollados en el país, además de trabajar en su propio tema.

Un área emergente para esta década es la ecología evolutiva, estimulada en gran parte por el desarrollo del programa de posgrado “Ecología y Biología Evolutiva” en la Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Otra área en pleno desarrollo que ha logrado aprovechar con mucho éxito los variados climas y geografía de Chile, es la paleoecología. Una tercera área emergente es la genética y la sistemática molecular (repartida entre las áreas de Sistemática y Genética Evolutiva y de Poblaciones). Varios programas en ecología y sistemática han incorporado laboratorios y cursos en genética y filogenia molecular, abriendo con ello paso al conocimiento del patrimonio de recursos genéticos del país y a los estudios de los patrones de variabilidad genética de las poblaciones y sistemática molecular. En este ámbito, los ecosistemas chilenos, con su diversidad de escenarios históricos y ecológicos, representan un laboratorio natural aún escasamente aprovechado para entender la evolución de los linajes. Ecosistemas

nuevos, con incipientes procesos de diversificación biológica, contrastan con ecosistemas antiguos donde se encuentran refugiados linajes ancestrales que han sobrevivido intensos procesos de extinciones.

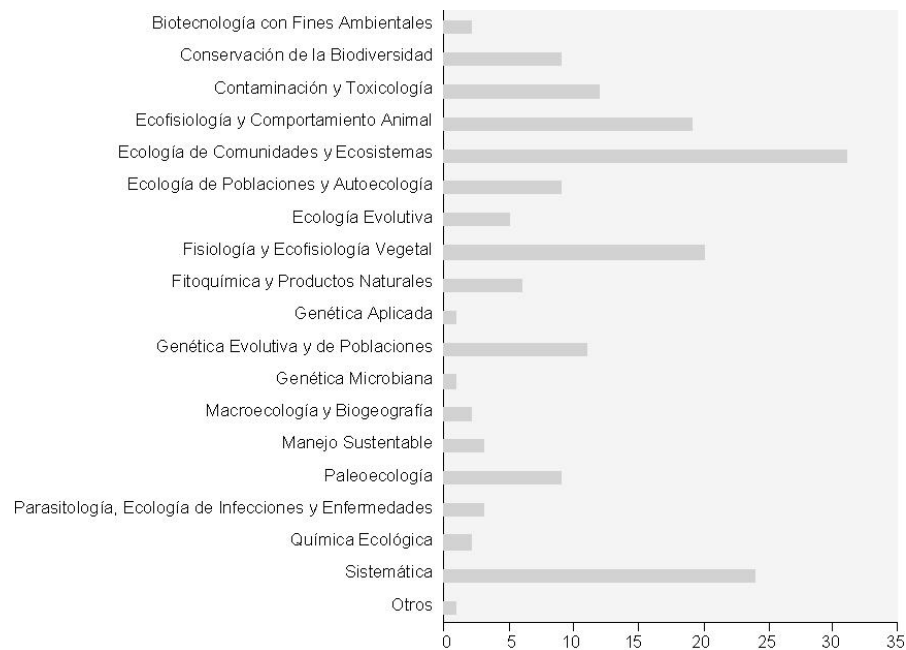


Figura 14.6. Número de investigadores activos en Ciencias Ambientales según el área principal de investigación de cada investigador. N = 170.

4. Productividad

4.1. Productividad global

Para el quinquenio 2000-2004, los 170 investigadores activos en ciencias ambientales publicaron 819 trabajos en revistas ISI, 121 trabajos en revistas Scielo (descontando las revistas Scielo que están en ISI), 99 capítulos en libros editados en el extranjero (cerca de 50% en editoriales de alto prestigio), y 148 capítulos de libros editados en Chile, sin contar trabajos aceptados o en prensa en cada caso. Adicionalmente, se han editado o escrito 50 libros y monografías, dando un total global de 1.237 artículos o libros científicos. La inclusión de trabajos aceptados en prensa habría aumentado considerablemente el número de trabajos ISI. Decidimos no incluir las publicaciones en esas categorías, pues ello obstaculizaría el desarrollo de indicadores objetivos para efectuar comparaciones futuras. A esta productividad principal se suma una buena cantidad de trabajos publicados en revistas internacionales y nacionales no-ISI y no-Scielo con comité editorial, no considerados en esta ocasión. En comparación con el diagnóstico de las Ciencias Ambientales para el sexenio 1987-1992 la productividad medida como publicaciones en revistas, ISI o no-ISI, varió de 492 a 940 mostrando un aumento de 90,4%. Los trabajos ISI de Ciencias Ambientales representan una contribución de 52,6 trabajos por millón de habitantes de Chile. El total de trabajos ISI publicados con dirección de Chile para los años 2000-2004 es de 13.038 (ISI Web of Science SCI Data base, September 2005). Consecuentemente, las ciencias ambientales, para el quinquenio, contribuyeron con el 6,3% de los trabajos ISI del país. Esta cifra subestima el aporte real de nuestra subdisciplina pues no toma en cuenta trabajos ISI adicionales publicados por nuestros alumnos de posgrado quienes, por los criterios de la Academia, no son elegibles para integrar el Directorio. Considerando que la investigación en Ciencias Ambientales depende fuertemente del trabajo en terreno y muestreos que frecuentemente deben repetirse a lo largo de varios años, naturalmente la tasa de maduración de los trabajos es más lenta que en las ciencias experimentales. Por, ello pensamos que la contribución de 6,3% de los artículos ISI es buena.

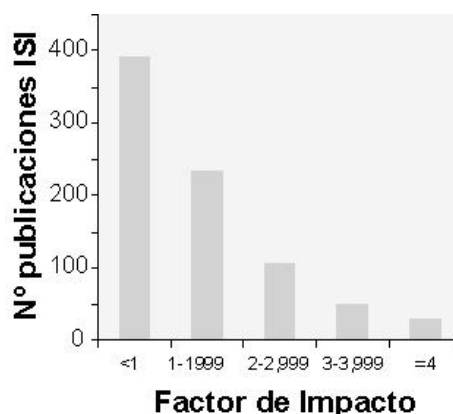


Figura 14.7. Distribución del Factor de Impacto (FI) de los trabajos publicados en revistas ISI en Ciencias Ambientales, 2000-2004. Basado en 810 trabajos ISI para los cuales el Factor de Impacto está construido.

La Fig. 14.7 presenta la distribución del Factor de Impacto (FI) para 810 de los 819 trabajos publicados en revistas ISI (restando 9 trabajos ISI para los cuales no se ha construido un índice de impacto a la fecha.). Sin considerar *Nature* y *Science*, con un FI que varió entre 29 y 31 en el momento del estudio, se publicaron trabajos en revistas en el rango 0,066 a 12,449. El valor de la mediana para el quinquenio es 1,013. Para comparación, el FI de la *Revista Chilena de Historia Natural* para 2002 fue 0,504, indicando que los científicos en Ciencias Ambientales logran publicar sus trabajos en revistas de buen nivel.

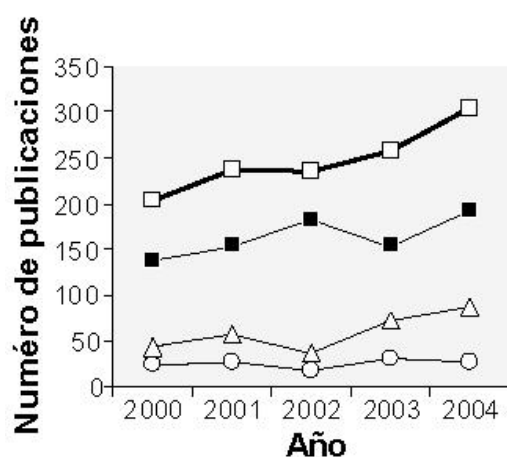


Figura 14.8. Tendencias en la productividad por categoría de publicación en Ciencias Ambientales 2000-2004. Cuadrados negros: trabajos ISI (N= 819); círculos: trabajos Scielo (no-ISI) (N = 121) ; triángulos: capítulos de libros, libros y monografías (N = 297); Cuadrados blancos: total de las tres fuentes de publicaciones (N = 1.237).

Con respecto al comportamiento dentro del quinquenio, las Ciencias Ambientales, ha mostrado una evolución positiva respecto a su productividad científica en los últimos 5 años, lo que sugiere un futuro alentador para la disciplina. Considerando las tres fuentes principales de productividad, se observa un aumento notable y constante en la productividad total de 203 trabajos en 2000 a 304 en 2004, y aumentos quinquenales en los trabajos ISI y capítulos de libros/libros (Fig. 14.8). El número de trabajos publicados en las revistas Scielo-No ISI se ha mantenido relativamente constante por el período, mostrando que estas revistas se mantienen estables y tienen su lugar a pesar de la preferencia creciente por las revistas ISI entre los científicos activos de Ciencias Ambientales.

Remitiéndonos ahora a indicadores más cualitativos, los trabajos ISI en Ciencias Ambientales han sido publicados en una gran variedad de revistas ISI, sumando 284, los que cubren desde taxonomía,

evolución, sistemática molecular, ecología vegetal, ecología animal, paleobotánica, palaeoclima, genética de poblaciones, entomología aplicada, invasiones biológicas, contaminación biológica, hasta la biotecnología, para nombrar algunas áreas. Para el quinquenio, 7 trabajos en ciencias ambientales han aparecido en la revista *Science* y otros 7 en la revista *Nature*, constituyendo estos 31,8% del total de 46 trabajos publicados en el país en estas revistas. Seis de los trabajos en *Science* y *Nature* pertenecen a un investigador (Pablo Marquet). Por otra parte alrededor de 50% de los capítulos de libros se encuentran en libros publicados por editoriales de alto prestigio, como Springer-Verlag, Oxford University Press, Island Press, y han aparecido libros⁵ editados por la comunidad medioambiental en dichas editoriales. En el ámbito nacional, para el quinquenio, también han aparecido publicaciones muy valiosas.⁶

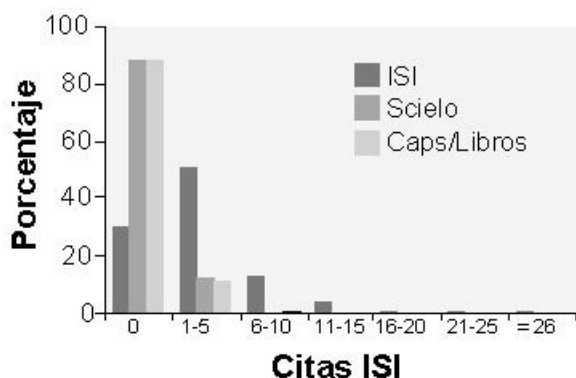


Figura 14.9. Porcentaje de publicaciones (años 2000-2004) de acuerdo con el número de citas en ISI y tipo de publicación. Trabajos ISI: N= 819; Trabajos Scielo (no-ISI): N = 121; Capítulos de libros, y libros y monografías: N = 297.

El mejor índice de impacto de un artículo científico lo constituye las citas ISI. Se puede observar que la distribución de citas (Fig. 14.9) para trabajos en revistas ISI es más favorable que para los capítulos/libros y trabajos publicados en revistas no-ISI; estos últimos son parecidos. El número de citas ISI por trabajo para los 819 trabajos ISI publicados en el lapso 2000-2004 fluctúa entre 0 y 268, con el valor de la mediana igual a 1, y con un total de citas para los 819 trabajos publicados en el quinquenio de 2.922. A éstos hay que sumar 109 citas adicionales provenientes de las dos otras categorías de publicaciones consideradas en el estudio, dando un total de 3.031. Para trabajos publicados en revistas

⁵ Ceballos & Simonetti (eds.) *Diversidad y conservación de los mamíferos neotropicales*. CONABIO-UNAM, México D.F.; Marquet & Bradshaw (eds.) (2003) *How landscapes change. Human disturbance and ecosystem fragmentation in the Americas*. Springer-Verlag, New York; Primack et al. (eds.) (2001) *Fundamentos de Conservación Biológica: Perspectivas Latinoamericanas*. Fondo de Cultura Económica, México (coeditores: Ricardo Rozzi, Francisca Massardo); Veblen et al. (eds.) (2002) *Fire and Climate Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas*. Springer Verlag, New York (coeditor: Gloria Montenegro).

⁶ Donoso (ed.) (2004). *Variación específicas en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina*. Editorial Universitaria, Santiago; Marticorena & Rodríguez (eds.) (2001) *Flora de Chile* Vol. 2. (1). Ediciones Universidad de Concepción, Concepción; Marticorena & Rodríguez (eds.) (2003) *Flora de Chile* Vol. 2 (2). Ediciones Universidad de Concepción, Concepción; Muñoz-Pedreros et al. (eds.) *Aves Rapaces de Chile*. Ediciones CEA, Santiago (coeditores: Jaime Rau, Joré Yañez); Muñoz-Pedreros & Yañez (eds.) (2000) *Mamíferos de Chile*. Ediciones CEA, Santiago; Squeo et al. (eds.) (2001) *Libro rojo de la flora nativa de la Región de Coquimbo y de los sitios prioritarios para su conservación*. Ediciones de la Universidad de La Serena, La Serena (coeditores: Julio Gutiérrez, Gina Arrancio); Rozzi et al. (eds.) (2004) *The Cape Horn Biosphere Reserve. A proposal for conservation and tourism to achieve sustainable development at the southern end of the Americas*. Ediciones Universidad de Magallanes, Punta Arenas (coeditor: Francisca Massardo); Villagrán & Castro (eds.) (2004) *Ciencia indígena de los Andes del norte de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago. También se puede mencionar aquí: Alberdi et al. (eds.) (2001) *Métodos de ecología vegetal*. Editorial Universitaria, Santiago (coeditor: Roberto Godoy); Bozinovic (ed.) (2003) *Fisiología ecológica y evolutiva. Teoría y casos de estudio en animales*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago; Cabrera et al. (eds.) *Fisiología ecológica en plantas. Mecanismos y respuestas a estrés en los ecosistemas*. Ediciones Universitarias de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso. Jaksic (2001). *Ecología de comunidades*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.

Scielo (no-ISI) el intervalo es 0 y 3 y para los capítulos/libros 0 y 14, con medianas de 0, indicando tasas de cita mucho más bajas que en las revistas ISI. Desde luego, es importante que muchos de los trabajos del quinquenio fueron publicados recientemente, por lo que no es sorprendente que aún no hayan sido citados. En particular, los capítulos de libros y libros son generalmente menos accesibles, especialmente en la era internet, y, si van a ser citados, tienden a adquirir citas más tarde. Es urgente que CONICYT actualice las bases de datos de publicaciones ISI en un formato amigable, y que los investigadores del país colaboren en completar los antecedentes solicitados por CONICYT. De esta forma, en el presente tipo de estudio, se podría incorporar un análisis de las citas de los trabajos que corresponden al quinquenio anterior. También en esa materia, es bueno recordar que el número esperado de citas ISI en Ciencias Ambientales es mucho menor que en los campos experimentales de la Biología. Según *ISI Essential Science Indicators* (2004) habría que multiplicar el número de citas en Ciencias Ambientales por 2,6 con respecto a Bioquímica, y por 4,2 con respecto a Biología Molecular para evitar comparaciones odiosas.

En general los trabajos con altas citas ISI corresponden a trabajos con investigadores extranjeros o por redes internacionales de investigadores.⁷ Aquí llama la atención el alto número de trabajos que tienen relación con el cambio climático y conservación de la biodiversidad. Es especialmente notable que los trabajos más citados tienden a considerar aspectos básicos de la ecología, pero empleando la biodiversidad y el cambio climático del presente o pasado como trasfondo para desarrollar estudios empíricos y teoría.

4.2. Productividad individual

El subcomité estimó conveniente determinar el aporte individual de los científicos a la productividad, con el fin de establecer valores de referencia para la comunidad científica. Se constató un rango muy amplio en cuanto al número de trabajos publicados por autor (incluyendo las coautorías) (Fig. 14.10). Para los trabajos ISI el número máximo alcanzado por un autor particular es 61, en tanto para trabajos en las tres categorías es 66. El premio en ambos casos para el quinquenio 2000-2004 va a Francisco Bozinovic de la Pontificia Universidad Católica. El valor de la mediana para trabajos ISI para el quinquenio es 5, ascendiendo a 9 cuando se consideran las tres fuentes principales de trabajos científicos.⁸

⁷ Los diez trabajos publicados en el quinquenio con el mayor número de citas acumulados (se indican los coautores del Directorio de Ciencias Ambientales donde corresponde) son: Sala et al. (2000): Biodiversity -Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* **287**: 1770-1774 (Juan Armesto coautor); Berryman et al. (2002): Ecological effects of climate fluctuations. *Science* **297**: 1292-1296 (Mauricio Lima coautor); Holmgren et al. (2001): El Niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* **16**(2): 89-94 (Julio Gutiérrez coautor); Betancourt et al. (2000): A 22,000-year record of monsoonal precipitation from Northern Chile's Atacama Desert. *Science* **289**: 1542-1546 (Claudio Latorre coautor); Keymer et al. (2000): Extinction thresholds and metapopulation persistence in dynamic landscapes. *American Naturalist* **156**: 478-494 (Pablo Marquet coautor); Wright et al. (2004): The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* **428**: 821-827 (Christopher Lusk coautor); Jaksic (2001): Ecological effects of El Niño in terrestrial ecosystems of western South America. *Ecography* **24**: 241-250; Stenseth et al. (2003) Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences* **270**: 2067-2096 (Mauricio Lima coautor); Marquet et al. (2000): Effects of habitat fragmentation on bird species in a relict temperate forest in semiarid Chile. *Conservation Biology* **14**: 534-543; Pérez et al. (2000): Prediction of PM2.5 concentrations several hours in advance using neural networks in Santiago, Chile. *Atmospheric Environment* **24**: 1189-1196 (Alex Trier coautor).

⁸ Los autores (orden alfabético) que publicaron los diez mayores números (14-61) de trabajos ISI para el quinquenio son: Juan Armesto, Ricardo Barra, José Becerra, Francisco Bozinovic, Lohengrin Cavieres, Luis Corcuera, Ernesto Gianoli, Fabian Jaksic, Mary K. Arroyo, Mauricio Lima, Christopher Lusk, Pablo Marquet, Gloria Montenegro, Oscar Parra, Roberto Nespolo, Hermann Niemeyer, Mario Silva, Javier Simonetti, Gladys Vidal, y Steffan Woelfl. Los autores que acreditan los diez mayores números de trabajos totales publicados por el quinquenio (23-72) son: Juan Armesto, Francisco Bozinovic, Lohengrin Cavieres, Lionel Gil, Fabian Jaksic, Mary K. Arroyo, Antonio Lara, Christopher Lusk, Gloria Montenegro, Pablo Marquet, Hermann Niemeyer, Javier Simonetti, Francisco Squeo.

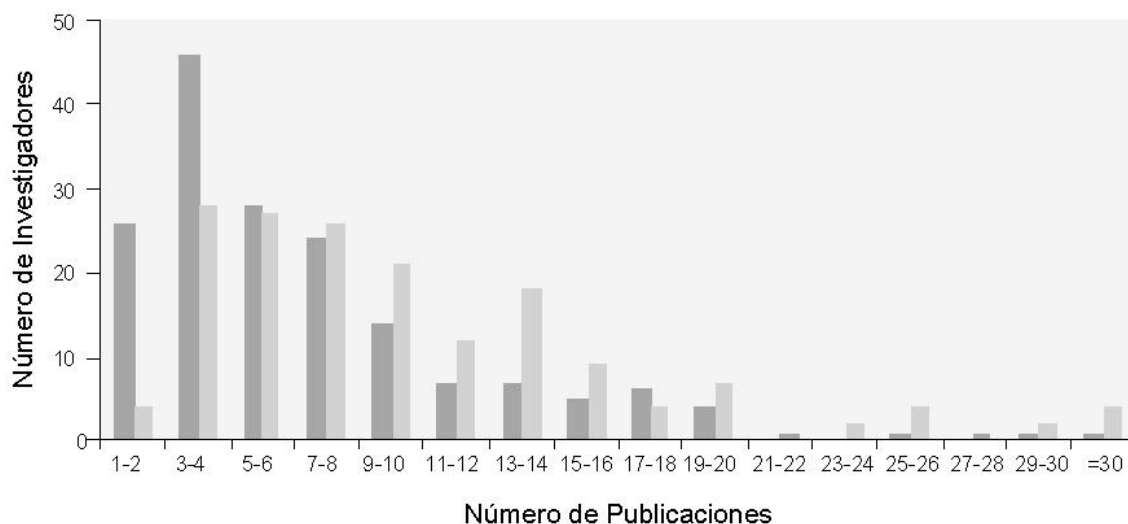


Figura 14.10. Distribución de investigadores activos con diferentes números de publicaciones para los años 2000-2004. Barras oscuras: publicaciones en revistas ISI; barras gris claro: total de publicaciones ISI, capítulos de libro/libro y publicaciones en revistas Scielo-no ISI. Ver texto para tamaño de la muestra.

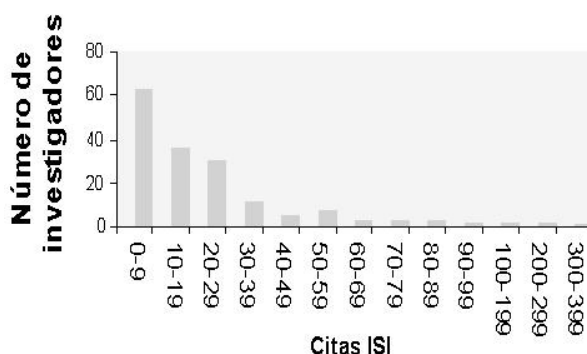


Figura 14.11. Distribución de investigadores activos con diferentes números acumulados de citas ISI para trabajos publicados entre 2000 y 2004.

Tal como en el caso del número de trabajos publicados por investigador, el número acumulado de citas ISI por los trabajos publicados entre 2000-2004 cubre un intervalo amplio (Fig. 14.11) (0-346), con un valor de 13 para la mediana de citas acumuladas por investigador. Los diez investigadores activos en Ciencias Ambientales con mayor número de citas ISI para las tres fuentes principales de publicaciones consideradas en el estudio para el quinquenio son: Juan Armesto, Francisco Bozinovic, Julio Gutiérrez, Fabian Jaksic, Mary Kalin (Arroyo), Mauricio Lima, Pablo Marquet, Roberto Nespolo, Christopher Lusk, Hermann Niemeyer, todos con 80 o más citas a comienzos de agosto 2005. El mayor número de citas acumuladas para trabajos publicados en el quinquenio recae en el Dr. Juan Armesto de la P. Universidad Católica-Universidad de Chile. Es notable la escasez de mujeres entre los científicos más citados de Ciencias Ambientales (N=1) en relación a su presencia en la muestra total de científicos.

4.3. Productividad según área de investigación

En forma paralela, el comité estimó interesante examinar el aporte de cada área de investigación a la productividad global para determinar la heterogeneidad en la distribución de los científicos al respecto. Para ello, cada trabajo ISI se clasificó en las mismas áreas de investigación usadas previamente (Fig. 14.12). Las áreas con mayor productividad para el quinquenio 2000-2004 fueron: Ecología de Comunidades y Ecosistemas, Ecología de Poblaciones y Autoecología, Ecofisiología y Comportamiento Animal, Sistemática, Fisiología y Ecofisiología Vegetal, Contaminación y Toxicología (52 a 99 trabajos ISI). Las áreas de representatividad intermedia incluyen Conservación de la Biodiversidad, Manejo

Sustentable, Palaeoecología, Genética Evolutiva y de Poblaciones, y Fitoquímica y Productos Naturales (33 a 44 trabajos). Las áreas con menor representación son Macroecología y Biogeografía, Parasitología, Ecología de Infecciones y Enfermedades, Química Ecológica, Genética Aplicada, Biotecnología con Fines Ambientales y Genética Microbiana (3 a 27 trabajos). En general las áreas de ciencia básica son mucho más representadas en la productividad que las áreas aplicadas. Una excepción a esta regla lo constituye Contaminación y Toxicología con 51 trabajos. Con pocas excepciones el volumen de productividad de cada área guarda relación con la abundancia de investigadores del área. El “exceso” de trabajos en la categoría de Ecología de Poblaciones y Autoecología respecto al número de investigadores en dicha área (Fig. 14.6) se debe al hecho que muchos investigadores en otras áreas logran escribir algunos trabajos de índole autoecológico en el curso de sus investigaciones principales.

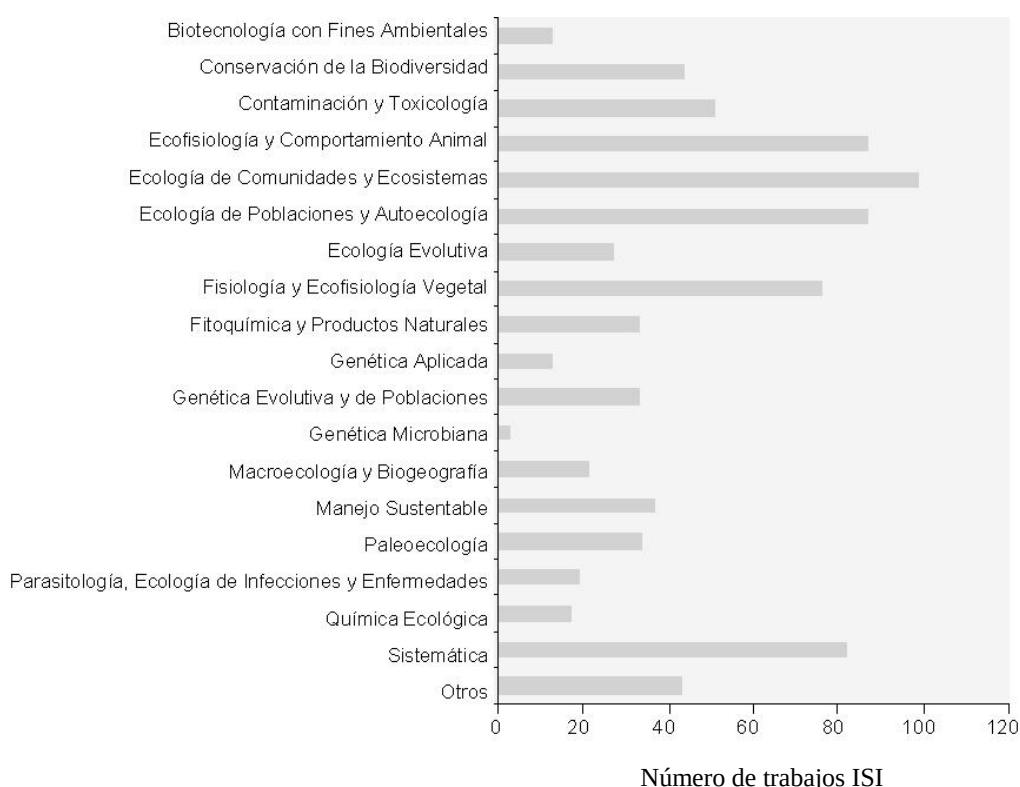


Figura 14.12. Comparación del número de trabajos ISI según las áreas de investigación representada en el universo de 816 trabajos ISI publicados entre 2000-2004. La categoría de “Otros” incluye trabajos teóricos, metodológicos, etc.

4.4. Patentes

La obtención de patentes refleja una interacción positiva entre la ciencia y el desarrollo tecnológico. Es ampliamente reconocido que Chile tiene un gran desafío en esta materia en todas las disciplinas de la ciencia. Al parecer sólo cuatro patentes fueron concedidas a investigadores del Directorio para la década. Entre ellos, está la patente del proceso de clonación de la flor nacional de Chile, el copihue, concedida a investigadores en la Universidad de La Frontera en 2002. En el año 2002⁹ se concedieron un total de 763 patentes en Chile. Por lo tanto la contribución de las Ciencias Ambientales no es destacable.

⁹ www.conicyt.cl

4.5. Otros logros de la década

En el período transcurrido desde el análisis de 2003, gracias al apoyo de CONICYT, se logró un primer diagnóstico nacional de la biodiversidad chilena a nivel de grandes grupos taxonómicos (Simonetti et al., 1995) que puso de manifiesto los enormes vacíos de conocimiento y los futuros desafíos para la comunidad nacional. Asimismo, se puso en marcha un Programa Sectorial de CONICYT en la II Región en el cual participaron investigadores de muchas instituciones nacionales. La Comisión de Diversidad Biológica de CONICYT que impulsó estas importantes acciones no fue reactivada en la administración actual, aspecto que consideramos desafortunado. En el período analizado, CONAF introdujo la noción de los Libros Rojos sobre la Flora y Fauna de Chile a nivel de las regiones administrativas de país, en donde los científicos nacionales tuvieron un papel importante al realizar el primer libro regional (Squeo et al., 2000), estableciendo a su vez una pauta de estudios y análisis para los futuros libros de esta naturaleza. El país debe velar para que los futuros libros mantengan el mismo nivel científico de este primer libro. Por otra parte, Chile central es reconocido hoy día como una región del mundo destacada por la gran diversidad y alto endemismo de su biota, constituyendo uno de los 25 “Hotspots” de Biodiversidad Mundial con prioridad para la conservación, gracias al trabajo de científicos del país (Arroyo et al., 1999; Myers et al., 2000). La inclusión de Chile en el rango “top 25” de biodiversidad está teniendo una influencia importante en proyectos de conservación nacional, como por ejemplo, en el nuevo Jardín Botánico Chagual en Santiago que se dedicará a la flora mediterránea de Chile central. La realización del Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile (CONAF-CONAMA-BIRF 1999), con participación de investigadores de la Universidad Austral de Chile, marcó otro hito importante, así como también, la puesta en marcha del Proyecto “Nueva Flora de Chile” llevado a cabo por un equipo de la Universidad de Concepción. Asimismo, en este intervalo se ha puesto de manifiesto en la literatura internacional las características únicas de los bosques templados de Chile y las grandes amenazas enfrentadas por estos valiosos ecosistemas (Armesto et al., 1998). El Comité Científico Independiente (CCI) del Proyecto Río Cóndor, establecido a petición del entonces Presidente de la Academia de Ciencias, y apoyado por el trabajo de 100 científicos, consiguió un importante logro de conservación de 68,000 ha en Tierra del Fuego (Arroyo et al., 1997). En la década pasada, los científicos nacionales también participaron en una iniciativa impulsada por ONGs extranjeras que llevó a la conservación de un tramo importante del bosque lluvioso de la Cordillera de la Costa. Adicionalmente se debe mencionar la participación en discusiones sobre el Ley de Bosque Nativo en el congreso nacional, donde se ha presentado un libro que reúne los aspectos científicos técnicos que debe considerar el proyecto de ley (Lara et al., 2004) y en el grupo de trabajo de la Iniciativa Chilena de Certificación Independiente (ICEFI) que desarrolla los indicadores para el proceso de la certificación forestal de acuerdo con los principios del “Forestry Stewardship Council”, una institución de gran prestigio internacional. Otro aspecto muy relevante, es la introducción del tema de las invasiones biológicas (Arroyo et al., 2000; Jaksic et al., 2002), considerando que las especies invasoras se consideran hoy día un amenaza a la biodiversidad local.

De mucha relevancia para las Ciencias Ambientales ha sido la creación de cuatro nuevas estaciones de campo en la década: (1) el Centro Internacional de Estudios Andinos (INCAS) de la Universidad de Chile, Putre, I Región - si bien esta estación no fue establecida por miembros del Directorio, está disponible para su uso; (2) Estación de Investigaciones Mediterráneas (EDIEM) de la Pontificia Universidad Católica, Región Metropolitana; (3) Estación de Campo Fundación “Senda Darwin” (FSD), Chiloé, X Región; (4) Parque Etnobotánica “Omora” (JBO), Isla Navarino, XII Región. Es de notar que dos de estas estaciones de campo contaron con aportes importantes de la Fundación A.W. Mellon Foundation, N.Y. Tres de estas nuevas estaciones (Senda Darwin, Parque Etnobotánico Omora, Estación de Investigaciones Mediterráneas) poseen sus propios terrenos experimentales.

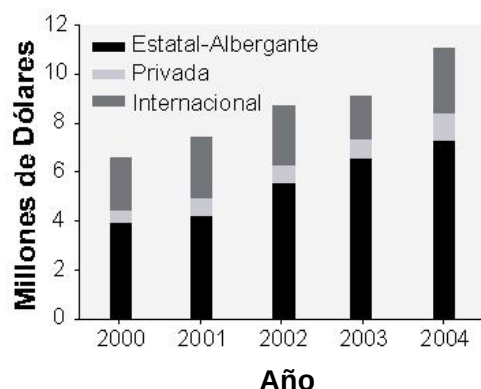


Figura 14.13. Inversión en Ciencias Ambientales en Chile en el período 2000-2004 independientemente del destino de los fondos.

5. Financiamiento y colaboración internacional

5.1. Financiamiento global

Globalmente, el financiamiento al área de Ciencias Ambientales (independiente de la inclusión en el Directorio) en el período 2000-2004, ascendió a 42,9 millones de dólares. El Estado de Chile y las instituciones albergantes de los proyectos fueron la principal fuente de financiamiento (US M\$ 27,7; 64,6%), seguida por fuentes internacionales (US M\$ 11,4; 26,7%) y fuentes privadas nacionales (US M\$ 3,8; 8,8%) (Fig. 14.13).

Si se consideran sólo los proyectos de científicos activos del Directorio en Ciencias Ambientales, estos montos se reducen a US M\$ 35,9 (340 registros), lo que significa un promedio de US M\$ 7,2 por año. Indudablemente una fracción significativa de los demás fondos totales se emplea en proyectos más tecnológicos y productivos, no resultando en productividad científica convencional. En el subconjunto de proyectos de miembros del Directorio, la proporción de fondos aportados por el Estado e instituciones albergantes es idéntica al total de los proyectos (US M\$ 23,1; 64,4%), sin embargo disminuye la proporción de fondos privados nacionales (US M\$ 1,9; 5,3%) y aumentan los fondos provenientes de fuentes internacionales (US M\$ 10,8; 30,1%). Entre las fuentes de financiamiento más importantes para los proyectos que no involucran a investigadores activos en Ciencias Ambientales están los fondos privados nacionales (US\$ 1,8; 26,2%), FONDEF (US M\$ 1,7; 24,4%) y FONDECYT (US M\$ 1,4; 23,3%) y FIA (US\$ 1,0; 14,5%). En general, es notable la baja presencia del sector privado en el financiamiento de investigación en Ciencias Ambientales en Chile en un período cuando el medio ambiente es un tema de alta importancia para las exportaciones, desarrollo del turismo, y uso sustentable de los recursos. Llama la atención, por ejemplo, que los inmobiliarios que se dedican a desarrollar grandes proyectos en los sectores costeros, no incorporen estudios de la rica y endémica biodiversidad costera con fines establecer pequeñas reservas dentro de los proyectos, y así contribuir a la conservación del patrimonio biológico.

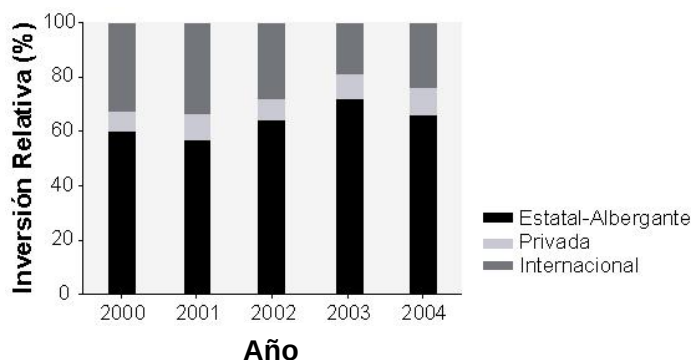


Figura 14.14. Variación temporal en la contribución relativa de las fuentes de financiamiento de las Ciencias Ambientales en Chile, 2000-2004.

Los aportes del Estado a las Ciencias Ambientales aumentaron desde US M\$ 4,0 en el 2000 a US M\$ 7,3 en el 2004. En términos relativos, en el año 2000 estas instancias aportaban el 60,2% del financiamiento, llegando al 66,3% en el 2004 (el máximo ocurrió el año 2003, con un 72,2%) (Fig. 14.14). En el caso de las fuentes de financiamiento privadas, estas se han elevado levemente en términos relativos desde 7,4% a 8,8%, aunque se han más que duplicado en términos absolutos (US M\$ 0,5 en 2000 a US M\$ 1,1 en 2004). El financiamiento internacional se ha mantenido entre US M\$ 2,1 y 2,6, salvo para el año 2003 donde los aportes disminuyeron a US M\$ 1,7.

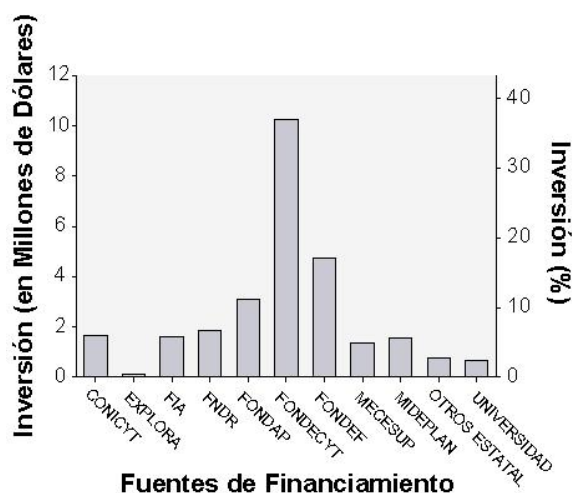


Figura 14.15. Distribución de los fondos de investigación según fuente de financiamiento estatal y de instituciones albergantes.

Un tercio del financiamiento nacional, excluida las fuentes privadas nacionales, lo proporciona FONDECYT (US M\$ 10,3; 37%). Le siguen en importancia FONDEF (US M\$ 4,7; 17%), FONDAP (US M\$ 3,1; 11,2%), FNDR (US M\$ 1,9; 6,7%), y CONICYT (US M\$ 1,7) (Fig. 14.15). En el caso de FONDECYT se trata principalmente de proyectos de investigación regulares y de formación de recursos humanos (Doctorado, Posdoctorado), los cuales corresponden a 159 proyectos. En el caso de FONDEF se trata de 25 proyectos, con un monto promedio anual aportado por este fondo cercano a US\$ 82.000; estos proyectos tienen una contraparte privada (mínimo del 20% del monto total) y de aportes valorados de las instituciones albergantes. FONDAP está relacionado sólo al proyecto “Center for Advanced Studies in Ecology and Biodiversity” (CASEB) de la P. Universidad Católica de Chile que concentran 11,2% de los fondos nacionales estatales. En el caso de los aportes FNDR y CONICYT, estos corresponden principalmente al financiamiento de dos Centros de Investigación Regionales: “Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas” (CEAZA) en la IV Región, y “Centro de Estudios del Cuaternario de Fuego-Patagonia y Antártica” (CEQUA) en la XII Región. Por otra parte, Ciencias Ambientales actualmente cuenta con dos Núcleos Milenios: “Servicios Ecosistémicos de Bosques Nativos bajo Fluctuaciones Climáticas” (FORECOS), Universidad Austral de Chile, y el “Centro Milenio de Estudios Avanzados en Ecología e Investigación en Biodiversidad” (CMEB). Aunque los fondos asignados a los núcleos milenios son relativamente modestos (aprox. \$US 250.000 al año) y de corta duración (3 años, renovable una vez hasta 6 años), dichos núcleos son relevantes por su novedosa estructura, que además de incluir investigación científica de frontera, fomenta la dedicación a la difusión, el establecimiento de redes de colaboración nacional e internacional al interior del Núcleo y contactos con los sectores privados y públicos, todo esto dentro del contexto del mismo proyecto.

5.2. Comparación de las instituciones

Dadas las enormes diferencias de tamaño entre los grupos de investigación, no es sorprendente que cuatro universidades tradicionales capitalizan 71,9% de los recursos financieros en Ciencias Ambientales en Chile. Estas son: Pontificia Universidad Católica de Chile (US M\$ 9,8; 22,9%), Universidad de Chile

(US M\$ 8,8; 20,6%), Universidad Austral de Chile (US M\$ 6,2; 14,5%) y Universidad de Concepción (US M\$ 6,0; 14,0%) (Fig. 14.16). Le siguen dos universidades derivadas que son las instituciones representantes de dos proyectos de Centros Regionales: Universidad de la Serena (US M\$ 3,2; 7,5%) y de Magallanes (US M\$ 2,3; 5,4%).

Por último, se destaca que 91 proyectos han sido financiados por las propias universidades, con montos cercanos a US\$ 2.000 anuales, y duraciones entre uno y tres años. Si bien en términos económicos estos proyectos sólo corresponden a cerca de US\$ 450.000, permiten preparar a sus investigadores para enfrentar concursos más competitivos como son FONDECYT y FONDEF.

Destaca en el financiamiento con fondos propios la Universidad de Concepción (US\$ 255.200), seguido muy de lejos por las Universidades de La Serena (US\$ 40.200), Pontificia Universidad Católica de Chile (US\$ 39.500), Universidad de Talca (US\$ 28.700), Universidad Austral de Chile (US\$ 26.300) y Universidad de Chile (US\$ 20.700) (Fig. 14.17). Nos parece muy meritorio que las universidades regionales estén dispuestas a invertir fondos en Ciencias Ambientales.

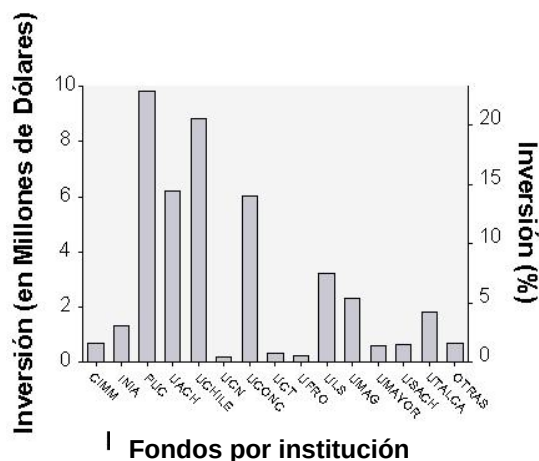


Figura 14.16. Distribución de la inversión en Ciencias Ambientales según institución.

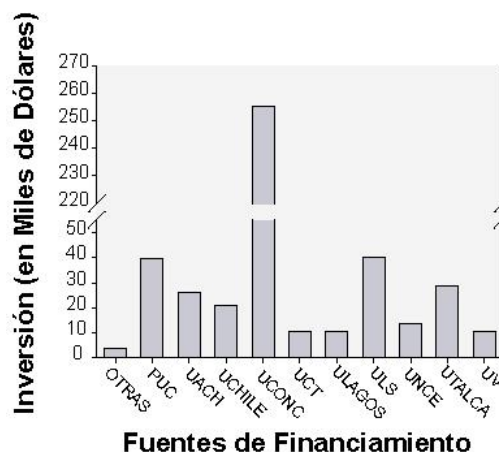


Figura 14.17. Distribución de la inversión con fondos propios de las instituciones en Ciencias Ambientales.

Finalmente, en esta sección, interesa saber la proporción de los fondos totales de investigación que Chile invierte en Ciencias Ambientales y que resulta en productividad científica convencional. Según información en la página Web de CONICYT¹⁰ en 2002, considerando todas las áreas de la ciencia, Chile destinó US M\$ 464 a investigación y desarrollo tecnológico. El Estado aportó US M\$ 238 de esos fondos. En 2002, los laboratorios de miembros del Directorio de Ciencias Ambientales recibieron de fuentes estatales aproximadamente US M\$ 4,8 millones, es decir apenas 2% del total disponible. No existen datos desglosados de esta manera para los demás años, pero seguramente las proporciones son similares. Con un Hotspot de Biodiversidad y ecosistemas de bosques únicos que han sufrido un alto grado de degradación y sobreexplotación, es impresionante que Chile destine tan poco financiamiento a las ciencias encargadas del estudio y cuidado del medio ambiente.

¹⁰ www.conicyt.cl

6. Programas de pre y posgrado

6.1. Pregrado

Entre las 25 universidades pertenecientes al Consejo de Rectores, 11 de ellas dictan en la actualidad 1 o 2 carreras científicas de pregrado vinculadas directamente a las Ciencias Ambientales (Tabla 14.2), con un total de 13 carreras. Por lo menos 3 de ellas partieron después de la fecha de diagnóstico de 1993.

Tabla 14.2. Carreras científicas de Ciencias Ambientales (2002-2004). Se proporciona el número de titulados para los años 2002 y 2003. Fuentes de información: 2002-2003: Honorable Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas*, Anuarios estadísticos 2002-2003; 2004- información suministrada por las unidades académicas o tomada de sus páginas Web. VAC = vacantes; TIT = Titulado; e = egresados; s/i = información no disponible. No se dispone de información sobre titulados para 2004.							
Institución y Carrera	Región	Inicio	VAC 2002	TIT 2002	VAC 2003	TIT 2003	VAC 2004
Pontificia Universidad Católica de Chile <i>Lic. En Ciencias Biológicas</i>	M	1970	89	8	80	6	80
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso <i>Biología</i> <i>Lic. en Biología</i>	V V	1996 s/i	40 ...	15 13	40	19	40 30
Universidad Arturo Prat <i>Biología</i>	I	s/i	30	0 (14 e)	30	0 (2 e)	30
Universidad Austral <i>Lic. en Ciencias Biológicas</i>	X	1981	50	3	50	6	50
Universidad Católica de Temuco <i>Biología en Gestión de Recursos Naturales</i>	IX	1992	40	3	40	8	40
Universidad de Chile <i>Lic. en Ciencias c/m Biología</i> <i>Biología c/m en Medio Ambiente</i>	M M	1965 1996	25 20	10 0	25 20	18 9	30 30
Universidad de Concepción <i>Biología</i>	VIII	s/i	75	16	75	16	75
Universidad de la Frontera <i>Ing. Ambiental</i>	IX	s/i	30	12	30	14	30
Universidad de Magallanes <i>Lic. en Ciencias Biológicas</i>	XII	s/i	25	3	25	2	20
Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación <i>Ing. Ambiental</i>	V	1996	35	2	35	10	30
Universidad de Valparaíso <i>Ing. Ambiental</i>	V	s/i	67	0	80	4	56
Totales			526	85+14e	530	112+2e	541

* <http://www.consejodirectores.cl/>

Las carreras más comunes son las Licenciaturas (5), seguidas por los títulos profesionales en Biología (5) e Ingenierías Ambientales (3). Según los datos disponibles para 2002 al 2004, el total de cupos fluctuó entre 526 y 541, con un total de 1.597 para los tres años, es decir un promedio de 532 nuevos por año. El número de titulados para 2002 y 2003 fue 213, es decir poco más de 100 por año, lo que es mucho más bajo que los cupos disponibles. No es claro por qué tantos alumnos no terminan su pregrado en Ciencias Ambientales. Quizás el limitado campo ocupacional es un factor importante.

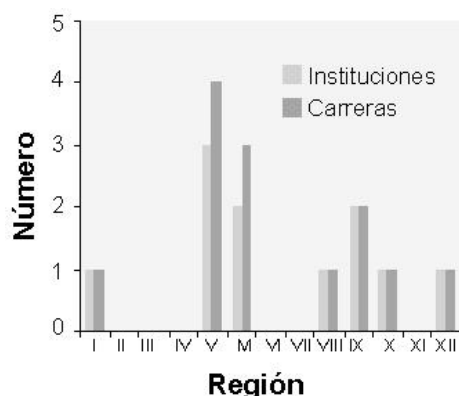


Figura 14.18. Número de universidades y carreras científicas de pregrado en Ciencias Ambientales según las regiones del país.

Si bien las carreras se concentran en el centro del país (Fig. 14.18), el grado de descentralización es mayor en relación a la distribución de los científicos, principalmente por el desarrollo de varias carreras en este ámbito en la V Región. Un aspecto curioso es la falta de concordancia entre el número de científicos en cada región y el número de carreras de pregrado. Desde luego, hay regiones que no acreditan ninguna carrera científica en la disciplina. Basado en datos de 2002, 2003, y 2004, las regiones con mayores cupos son la V (453), M (399), VIII (225) y IX (210).

Sumado a estas carreras de corte científico, existen 9 carreras de pedagogía en Biología y Ciencias Naturales, y 6 carreras de Ingeniería Civil Ambiental que guarda relación con el área. En particular, las Pedagogías serían una fuente de alumnos de posgrado en algunas partes del país (por ejemplo la IV Región) donde no existen Licenciaturas.

6.2. Posgrado

Catorce programas de posgrado activos impartidos por diez universidades del Consejo de Rectores se vinculan estrechamente a las Ciencias Ambientales (Tabla 14.3). Siete programas (50%) son nuevos para la década, mientras uno (Doctorado en Ciencias m/Ecología y Biología Evolutiva, Universidad de Chile) constituye una amalgamación de tres menciones previas; lo que significa no solamente una expansión grande en la oferta de posgrados, sino que en cuanto a subdisciplina y orientación. Adicionalmente, existe un programa de posgrado que se inició en 1996 pero se cerró en 2003 (Doctorado en Ciencias Área Zoología, Universidad de Concepción) (Tabla 14.3). Los programas de Doctorado y Magíster vigentes son siete en cada caso, distribuidos en 6 universidades y 6 regiones del país en el caso del Doctorado, y 6 universidades y 5 regiones en el caso del Magíster. Hasta la fecha, 5 programas de doctorado han sido acreditados por CONAP. Con respecto a los Magísteres, sólo 3 programas se encuentran acreditados. La gran mayoría de estos programas corresponde a ciencia básica. Una notable excepción es el programa de Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad de Concepción con fuerte ímpetu del EULA. Sumado a esos programas, hay programas adicionales (Ingenierías Ambientales) que tienen relación colateral con las Ciencias Ambientales, como se entiende en este documento.

La población de alumnos ingresada a los programas de posgrado en Ciencias Ambientales ha aumentado progresivamente en los tres años para las cuales se cuentan con datos (Fig. 14.19) de 62 en 2002 a 64 en 2003 y finalmente 74 en 2004, con 47,7% de los alumnos en los programas de doctorado. No existen cifras confiables para la década anterior para comparación, pero evidentemente esos números son mucho mayores. Hay que señalar que en Ciencias Ambientales siempre ha existido una gran demanda para los programas de magíster, principalmente porque alumnos de muchos programas de pregrado en el país no están preparados para enfrentar las exigencias de los principales programas de doctorado y porque algunos alumnos prefieren realizar su doctorado en el extranjero, y en preparación para ello, entran en un

programa de magíster para obtener experiencia en investigación y antecedentes antes de postular a una beca de doctorado para estudiar afuera del país.

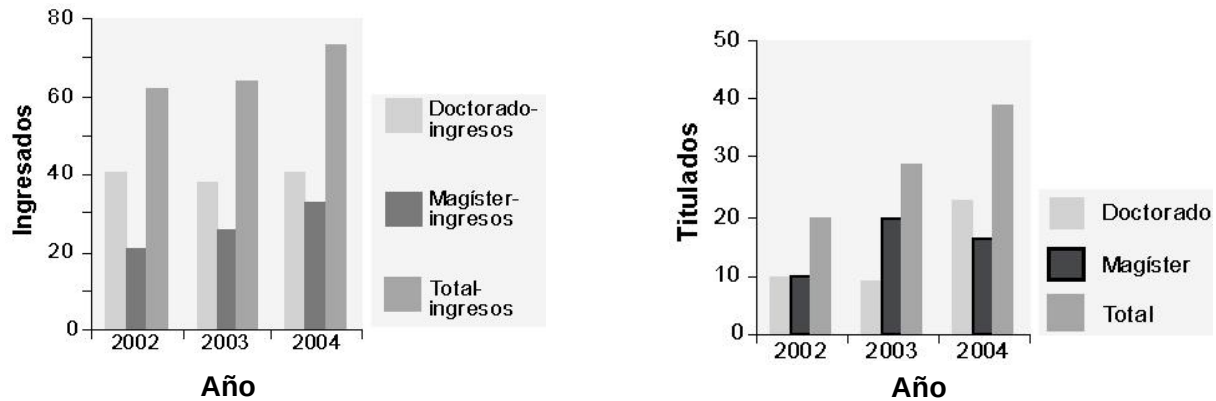


Figura 14.19. Tendencia en alumnos ingresados y titulados en programas de posgrado vinculados a Ciencias Ambientales entre 2002 y 2004. Los datos para ingresados incluyen un estimado 25% de alumnos que eventualmente desarrollarán sus tesis en Ciencias del Mar. Los datos para los titulados excluyen tesis en Ciencias del Mar. Datos originales en la Tabla 14.3.

Si bien la orientación de los programas en la Tabla 14.3 es Ecología y Ciencias Ambientales, al llegar a la etapa de tesis, algunos alumnos derivan hacia Ciencias del Mar. Por lo tanto, el número de ingresados en la Tabla 14.3 sobreestima el número de alumnos que eventualmente harían una tesis en Ciencias Ambientales (como lo ha definido la Academia de Ciencias) en alrededor de un 15-20%. Esta situación se manifiesta en particular en el Programa de Doctorado en Ciencias Biológicas m/Ecología de la Pontificia Universidad Católica, el Doctorado en Ciencias m/Sistemática y Ecología de la Universidad Austral de Chile, el Magíster en Ciencias m/Conservación y Manejo de Recursos Naturales de la Universidad de Los Lagos, y en el Magíster de Manejo y Cultivo de Recursos en Ambientes Marinos Subantárticos de la Universidad de Magallanes.

En cuanto al número de titulados en Ciencias Ambientales los programas más activos en la formación de alumnos de doctorado son el Doctorado en Ciencias m/Ecología y Biología Evolutiva, Universidad de Chile, el Doctorado en Ciencias Biológicas m/ Ecología, P. Universidad Católica de Chile, y el Doctorado en Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción. Para los magísteres son el Magíster en Ciencias Biológicas m/Ecología, Zoología, Botánica, Universidad de Chile, Magíster en Ciencias m/Zoología, Universidad de Concepción, y Magíster en Ciencias m/Botánica, Universidad de Concepción. Para los 3 años analizados, la labor de enseñanza de posgrado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile es muy destacada (35,4 % de los alumnos titulados).

La Fig. 14.19 muestra que el número de titulados prácticamente se ha duplicado entre 2000 (20) y 2004 (39), con un total de 42 doctores y 46 magísteres, vale decir, promedios de 14 y 15 al año, respectivamente. El total de doctorados conferidos en universidades chilenas para los años 2002 al 2004 fue alrededor de 592 (Hervé et al., en este volumen). Por lo tanto se puede decir que Ciencias Ambientales forma 7,1% de los doctores en el país, una cifra que es aproximadamente 1% menos con respecto al porcentaje de investigadores activos. Sin embargo, si se considera que los integrantes del Directorio también forman un número equivalente de alumnos de magíster, el aporte del Directorio a la formación de posgrado es bastante extenso. De todas, maneras, el número de titulados es bajo (< 0,2 por científico del Directorio por año).

Tabla 14.3. Programas de posgrado en Ciencias Ambientales en Chile y número de alumnos que ingresaron y se graduaron en los años 2002, a 2004. El primer número en paréntesis se refiere al total de alumnos graduados en el programa, y el segundo al número de graduados en Ciencias Ambientales. Fuentes: Memorias Honorable Consejo de Rectores³, año 2002-2003 y autoridades universitarias. En negrita: programas nuevos para la década.

Universidad	Inicio	Región	Acreditación CONAP*	2002	2003	2004
Universidad de Chile						
- Magíster en Ciencias Biológicas m/ Ecología, Zoología, Botánica	1978	M	No	8 (3-3)	5 (9-9)	14 (7-7)
- Doctorado en Ciencias m/ en Ecología y Biología Evolutiva *	1968 (2000)	M	Si	7 (4-4)	8 (5-3)	8 (6-6)
Pontificia Universidad Católica de Chile						
- Doctorado en Ciencias Biológicas m/ Ecología	1982	M	Si	5 (3-2)	8 (2-1)	5 (6-3)
Universidad de Concepción						
- Doctorado en Ciencias Ambientales	1989	VIII	Si	5 (3-3)	1 (3-3)	4 (4-4)
- Doctorado en Ciencias Área Botánica	1995	VIII	Si	10 (1-1)	3(0-0)	4 (3-3)
- Doctorado en Ciencias Área Zoología*	1996-	VIII	No	0 (0)	0(3-2)	0 (2-1)
- Magíster en Ciencias m/ Botánica	2002	VIII	Si	3 (3-3)	5(5-5)	5 (0-0)
- Magíster en Ciencias m/ Zoología	1993 1982	VIII	Si	7 (5-4)	4(5-4)	4 (2-1)
Universidad Austral de Chile						
- Doctorado en Ciencias m/ Sistemática y Ecología	1999	X	Si	5 (0-0)	7 (0-0)	7 (0-0)
Universidad de La Serena						
- Magíster en Ciencias m/ Ecología de Zonas Áridas	1998	IV	No	1 (0-0)	2 (2-2)	2 (1-1)
Universidad de La Frontera						
- Doctorado y Magíster en Ciencias de Recursos Naturales	2001	IX	No	5 (0-0)	8 (0-0)	6 (3-3)
Universidad de Talca						
- Doctorado en Ciencias m/ Ingeniería Genética Vegetal	2001	VII	No	4 (0-0)	3 (0-0)	7 (0-0)
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación						
- Magíster en Ciencias m/ Entomología	1993	M	No	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (1-1)
Universidad de Magallanes						
- Magíster de Manejo y Cultivo de Recursos en Ambientes Marinos Subantárticos***	2003	XII	No	0 (0-0)	6 (0-0)	5 (0-0)
Universidad de Los Lagos						
- Magíster en Ciencias m/ Producción, Manejo y Conservación de Recursos Naturales****	1996	X	Si	2 (0-0)	4 (1-0)	3 (4-0)

* antes Doctorado en Ciencias m/ Ecología, Zoología, Botánica

** cerrado en el período

*** recibe alumnos de Ciencias del Mar y Ciencias Ambientales

**** en general 30% de los alumnos ingresados son de Ciencias Ambientales

La Tabla 14.4 entrega información con respecto a las tres fuentes principales de becas: CONICYT y MECESUP. Para el quinquenio las becas CONICYT suman 67, constituyendo 9,7% de las becas otorgadas por CONICYT para este período (699²) a las que se suman 42 becas MECESUP. Considerando

las dos fuentes, el número de becas ha sufrido variación en el tiempo (Tabla 14.4). Nuestros alumnos adicionalmente tienen acceso de becas (parciales o completas) de Doctorado proporcionadas por dos Núcleos Milenio, y de fuentes como DIPUC y AGCI de la Pontificia Universidad Católica, entre otras.

Tabla 14.4. Becas de doctorado de CONICYT Y MECESUP obtenidas por alumnos vinculados a los programas de posgrado en Ciencias Ambientales. Fuentes: Páginas Web de CONICYT, y autoridades universitarias.					
Fuente de beca de doctorado	2000	2001	2002	2003	2004
CONICYT					
Universidad de Chile	2	1	8	4	6
P. Universidad de Católica	2	4	5	3	4
Universidad de Concepción	0	3	9	1	5
Universidad Austral de Chile	3	2	1	2	2
Subtotales	7	10	23	10	17
MECESUP					
Universidad de La Frontera	0	0	0	0	4
Universidad de Chile	0	0	0	2	2
P.Universidad Católica de Chile	0	0	0	0	3
Universidad Austral de Chile	0	0	3	6	4
Universidad de Concepción	0	2	1	1	2
Universidad de Talca	s/i	s/i	s/i	s/i	12
Subtotales	0	2	4	9	27
Totales	7	12	27	19	44

Con respecto a los programas de magíster, la situación es distinta. Los dos Núcleos Milenio han proporcionado 27 becas para el quinquenio. Otras fuentes incluyen las “Ayudas Tesistas” de los proyectos de FONDECYT que necesariamente deben complementarse con otras fuentes de ingresos, y una serie de becas ofrecidas por las mismas universidades.

Tabla 14.5. Proyectos posdoctorales nacionales (incluyendo un estipendio) otorgados en Ciencias entre 2000 y 2004. Fuentes: Páginas Web CONICYT, y comunicación personal con investigadores de los centros de investigación.					
Fuente	2000	2001	2002	2003	2004
FONDECYT	4	0	1	2	3
Núcleos Milenio	1	2	3	1	2
FONDAP	0	0	4	3	0
MECESUP	0	0	1	1	1
Fundación Mellon, USA	0	1	0	0	0
CEAZA	0	0	0	2	2
Total	5	3	9	9	8

6.3 Posdoctorados

Las oportunidades de formación posdoctoral en el país en Ciencias Ambientales aún son muy limitadas, debido a la falta de financiamiento. Sin embargo, este tipo de entrenamiento es fundamental, dado la progresiva reducción en la duración de los doctorados que da como resultado, cada día, tesis más

acotadas y menos elaboradas. Para el quinquenio, Ciencias Ambientales logró captar 10 (8,8%) de los 114 proyectos posdoctorales de FONDECYT muy competitivos (Tabla 14.5), que, si bien es un buen porcentaje, en la práctica constituye un número muy pequeño. A los proyectos FONDECYT se suman oportunidades proporcionadas por los nuevos Centros regionales de CONICYT, un FONDAP, dos Núcleos Milenio, y los proyectos MECESUP (Tabla 14.5), dando un total de 34 oportunidades. Finalmente, 4 personas del Directorio realizaron una estadía posdoctoral en el extranjero en los últimos 5 años.

7. Sociedades científicas

Las sociedades chilenas actualmente más relevantes para los miembros del Directorio de Ciencias Ambientales son la Sociedad de Biología, la Sociedad de Botánica de Chile, la Sociedad de Ecología de Chile y la Sociedad Chilena de Entomología (Tabla 14.6).

Tabla 14.6. Principales Sociedades Científicas a las que pertenecen los miembros del Directorio de Ciencias Ambientales ordenadas según año de fundación.			
Nombre Sociedad	Año fundacion	N° socios activos*	Publicaciones regulares
Sociedad Chilena de Entomología	1922	91	<i>Revista Chilena de Entomología</i>
Sociedad de Biología de Chile	1928	492	<i>Revista Chilena de Historia Natural; Biological Research; Noticiero Mensual de Actividades</i>
Sociedad de Botánica de Chile	1977	109	<i>Gayana Botánica</i>
Sociedad de Ecología de Chile	1992	114	No tiene

*Socios activos a principios de 2005

Todas estas sociedades son muy activas, celebran reuniones regularmente y poseen publicaciones propias (Tabla 14.6), salvo la Sociedad de Ecología de Chile. Además de estas sociedades, miembros del Directorio (< 10 en cada caso) pertenecen a: Sociedad de Genética de Chile, Sociedad de Limnología de Chile, Unión de Ornitólogos de Chile, Sociedad de Vida Silvestre de Chile, Sociedad Chilena de Parasitología, Sociedad Chilena de Historia Natural, Asociación de Física y Química Ambiental de Chile, Sociedad de Microbiología de Chile. Cabe señalar que la Unión de Ornitólogos se considera una sociedad profesional y amateur. A la fecha cuenta con más de 100 socios activos.

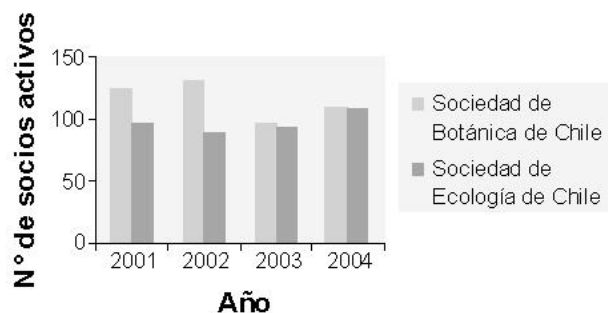


Figura 14.20. Socios activos durante el último quinquenio para dos principales sociedades científicas chilenas asociadas a las Ciencias Ambientales.

La membresía de las sociedades principales ha sufrido fluctuaciones durante el quinquenio 2001-2005. Por ejemplo, la Sociedad de Botánica de Chile y la Sociedad de Ecología de Chile exhiben cantidades similares de socios a partir de 2003 (Fig. 14.20), año en que la Sociedad de Botánica, por estatuto, pasó 34 socios al estado inactivo, seguido por un repunte. La Sociedad de Ecología de Chile ha

tenido un crecimiento sostenido a partir de 2002. El número actual de socios en ambas sociedades es similar.

Adicionalmente, y reflejando la amplitud de las Ciencias Ambientales, los investigadores del Directorio pertenecen a más de cien sociedades internacionales. De ellas, la más importante es la *Ecological Society of America* (USA) con doce miembros, es decir 6,7% del total de las membresías internacionales (Fig. 14.21). Otras sociedades importantes son la *American Society of Mammalogists* y la *Species Survival Commission*, una entidad internacional con más de 7.000 miembros creada directamente por la *International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN) para evaluar los catastros de especies catalogados como en peligro de extinción además de implementar políticas de conservación. El resto de las sociedades (son 96 sociedades con menos de cuatro membresías cada una) ocupa 81,1% del total de las membresías (Fig. 14.21). De estas, destacan las sociedades ornitológicas como la *American Ornithological Society* y la *Cooper Ornithological Society* con cuatro membresías cada una. Otras sociedades con membresías son la *American Botanical Society*, *International Society for Behavioral Ecology*, *Sociedad Argentina para el Estudio de las Mamíferos*, *Society for Conservation Biology* y *Society for the Study of Evolution* y la *American Society of Limnology and Oceanography*.

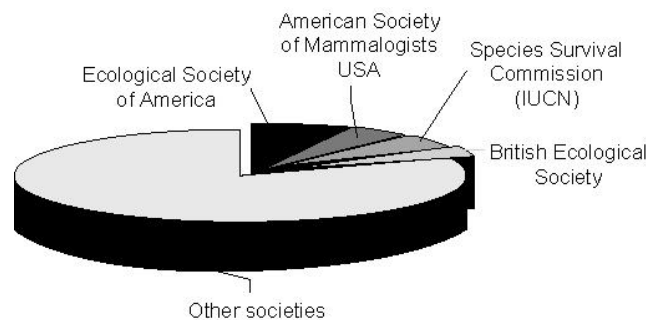


Figura 14.21. Porcentaje de distribución de membresías en Sociedades Científicas Internacionales por parte de investigadores incluidos en el Directorio de Ciencias Ambientales.

Finalmente, en 2004, cinco científicos jóvenes de Ciencias Ambientales, de un total de 44 en el país, recibieron nombramientos para dos años en el nuevo programa “Ciencias de Frontera” de la Academia de Ciencias del Instituto de Chile. También, para el período, entre sus filas está un Presidente de la Red Latinoamericana de Botánica (RLB) (Gloria Montenegro de la Universidad Católica de Chile).

8. La inserción de las Ciencias Ambientales en el mundo científico internacional

Actualmente los países desarrollados aportan 72% de los investigadores y producen 88% de todos los trabajos científicos y publicaciones técnicas (Holmgren & Schnitzer, 2004). Durante los últimos 10 años Chile ha experimentado un crecimiento económico notable, junto con experimentar un proceso de profunda modernización a nivel del aparato estatal e infraestructura del país. La estabilidad del país contrasta fuertemente con la década anterior. La información que arroja este estudio mostró que, para el quinquenio 2000-2004, las Ciencias Ambientales publicaron un amplio conjunto de trabajos en revistas ISI de buen impacto para la disciplina; a la vez han abierto un espacio interesante en cuanto a la publicación de libros y capítulos en libros de editoriales de gran prestigio, junto con sintetizar sus conocimientos e ideas en varios libros editados en el país. Cabe preguntarse entonces, cómo se comparan las Ciencias Ambientales en Chile con otros países del mundo, y cómo la disciplina es percibida internacionalmente. A modo de ejemplo, se puede preguntar ¿refleja la productividad su condición dentro de un marco de país emergente? De la misma manera interesa saber cómo está evolucionando Chile en el escenario latinoamericano.

Con el objeto de estudiar estas preguntas, efectuamos primero un análisis comparativo de la productividad científica en relación al número de habitantes por país y al PIB per cápita de 142 países con más de un millón de habitantes (en 2002). En segundo lugar nos focalizamos en las citas ISI. Para el primer análisis, se obtuvo el número de trabajos publicados entre los años 2000-2004 del ISI Web of Science para 142 países en 49 revistas ISI representadas en la productividad chilena (Apéndice 1).¹¹ El conjunto de revistas no incluye la *Revista Chilena de Historia Natural*, y revistas equivalentes de otros países pues su inclusión conllevaría a sobrestimaciones artificiales en la productividad. Asimismo, se descartó *Science* y *Nature* (por tener artículos de muchas disciplinas), las revistas marginales al área, y las revistas poco representadas. Aunque se hizo una selección cuidadosa de las revistas ISI, inevitablemente algunos trabajos del ámbito marino estarían incluidos en los números entregados por *ISI Web of Knowledge* para cada país. Lo anterior tiene poca consecuencia para los propósitos del análisis, pues el error es sistemático, y por lo tanto no debería afectar materialmente el lugar relativo de los países analizados en cuanto al indicador.

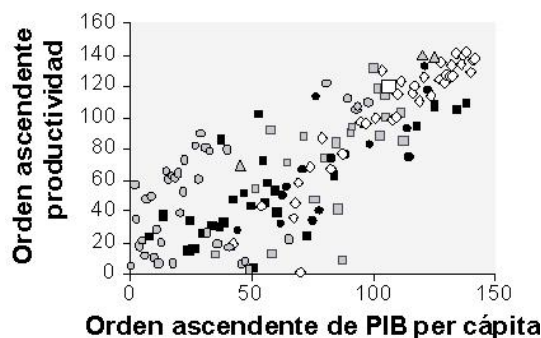


Figura 14.22. Comparación de los valores de rango del número de artículos por millón de habitantes publicados en 49 revistas ISI en 142 países graficados en relación a sus valores de rango para PIB per cápita. Valores altos de rango para PIB indican elevados niveles de PIB. Valores alto de rango para artículos indican mayor números de artículos en relación al número de habitantes. Cuadrado blanco grande: Chile; Cuadrados negros pequeños: Asia; Diamantes blancos: América del Norte y Europa. Círculos negros: Medio Oriente y África del Norte; Círculos gris: África Sub-Sahara; Cuadrados achurados: América Latina; Triángulos gris: Oceanía.

La Figura 14.22 compara los valores del rango del número de artículos/millón de habitantes versus valores del rango del PIB per cápita. En primer término, la productividad en Ciencias Ambientales está correlacionada con el PIB. La productividad chilena en Ciencias Ambientales cae dentro de lo esperado para su nivel de PIB. Sin embargo, en términos relativos, es más alta de lo esperado con respecto al PIB del país. En cuanto a PIB, Chile ocupa el lugar 36 entre los 142 países, en tanto que para artículos científicos el análisis ubica a las Ciencias Ambientales en el lugar 24.

Para las revistas consideradas, el número de artículos por un millón de habitantes fluctúa entre 0 (15 países; no se muestran) y 197,8 (Dinamarca) (Tabla 14.7), siendo la mediana mundial 1,29 artículos por millón de habitantes. Las Ciencias Ambientales chilenas producen 17,51 artículos por millón de habitantes, lo que representa un orden de magnitud mayor que la mediana.

¹¹ Revistas ISI analizadas: *American Journal of Botany*; *American Naturalist*; *Annals of the Missouri Botanical Garden*; *Behavioral Ecology*; *Biodiversity and Conservation*; *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*; *Conservation Biology*; *Ecology*; *Ecology Letters*; *Ecoscience*; *European Journal of Entomology*; *Evolution*; *Heredity*; *Hereditas*; *Journal of Chemical Ecology*; *Journal of Arid Environments*; *Journal of Ecology*; *Journal of Mammalogy*; *Journal of Vegetation Science*; *Molecular Phylogeny and Evolution*; *Oecologia*; *Oikos*; *Quaternary Research*; *Plant Ecology*; *Systematic Botany*; *Journal of Quaternary Science*; *Journal of Chemical Ecology*; *Functional Plant Biology*; *Forest Ecology and Management*; *Comparative Biochemistry and Physiology A-Molecular & Integrative Physiology*; *Condor*; *Biological Invasions*; *Diversity and Distributions*; *Ecography*; *Journal of Biogeography*; *Entomologia Experimentalis et Applicata*; *Evolutionary Ecology Research*; *Journal of Natural History*; *Molecular Ecology*; *Proceedings of The Royal Society of London Series B-Biological Sciences*; *Journal of The Linnean Society*; *Toxicology Letters*; *Trends in Ecology & Evolution*; *Theoretical Population Biology*; *Australian Journal of Botany*; *Austral Ecology*; *Biogeochemistry*; *Acta Theriologica*; *Integrative and Comparative Biology*.

Tabla 14.7. Los cincuenta países del mundo que publicaron los mayores números de artículos por millón de habitantes en 50 revistas ISI de la especialidad de Ciencias Ambientales entre los años 2000-2004. También se proporciona información del PIB per cápita de los países (año 2002). Se eligió 2002, por representar el punto central del período del estudio. Fuente de datos demográficos y económicos: World Bank, Washington DC*.

Nº	País	PIB/cápita US\$ (2002)	Artículos/ millón de habitantes	Nº	País	PIB/cápita US\$ (2002)	Artículos/ millón de habitantes
1	Dinamarca	30260	197,18	26	Kuwait	16340	15,32
2	Finlandia	23890	169,59	27	Eslovenia	10200	13,62
3	Suecia	25970	168,88	28	Hungría	5240	12,67
4	Nueva Zelanda	13250	152,98	29	Argentina	4220	12,25
5	Australia	19530	126,05	30	Italia	19080	11,94
6	Noruega	38730	120,75	31	Jordania	1760	11,93
7	Suiza	36170	118,32	32	Sud Africa	2630	10,95
8	Canadá	22390	85,81	33	Grecia	11660	10,63
9	Reino Unido	25490	78,57	34	Mauritius	3860	9,17
10	Holanda	23390	66,85	35	Japón	34010	9,07
11	Israel	16020	58,38	36	Singapur	21180	8,83
12	Panamá	4020	58,12	37	Gabon	3060	8,51
13	Estonia	4190	52,17	38	Hong Kong	24500	8,33
14	Estados Unidos	35400	49,86	39	Botswana	2990	8,31
15	Bélgica	22940	40,29	40	México	5940	8,07
16	Irlanda	23030	39,71	41	Georgia	720	7,86
17	Austria	23860	34,08	42	Polonia	4670	6,67
18	España	14580	31,91	43	Uruguay	4350	5,91
19	Francia	22240	29,90	44	Eslovaquia	4050	5,55
20	República Checa	5490	24,98	45	Croacia	4620	5,15
21	Alemania	22740	22,93	46	Latvia	3490	5,02
22	Namibia	1830	18,14	47	Lituania	3730	4,89
23	Portugal	10720	17,61	48	Malasia	3550	3,95
24	Chile	4350	17,51	49	Corea, Rep.	11280	3,88
25	Costa Rica	4070	17,38	50	Brasil	2860	3,70

* http://unstats.un.org/unsd/cdb/cdb_source_xrxx.asp?source_code=45

La productividad por habitante de Chile en Ciencias Ambientales es más alta que la de algunos países europeos, por ejemplo, Italia con un PIB más de 4 veces mayor y no muy distinta a Alemania con un PIB aún mayor. Los países más prolíficos en cuanto a publicaciones *per capita* en las revistas estudiadas son los países escandinavos, Suiza, Australia y Nueva Zelanda (Tabla 14.7). No deja de ser interesante el hecho que esos países superen con creces a países fuertemente industrializados como EEUU, Japón e Inglaterra. Cabe señalar que el turismo basado en la biodiversidad y bellezas naturales, la agricultura y la silvicultura son componentes importantes de las economías de todos los países con alta productividad en Ciencias Ambientales. A modo de ejemplo, 8,6% del PIB en Australia se deriva del turismo, y esta industria constituye una contribución mayor a la economía que la agricultura y comunicaciones¹².

En comparación a los demás países de América Latina (Tabla 14.7), las Ciencias Ambientales de Chile se encuentran en muy buen pie. Para el conjunto de las revistas ISI estudiadas, Chile supera (muy

¹² http://www.tourismvictoria.com.au/strategicplan/plan2002_2006/2_significance_tourism/section2_index.htm

marginalmente) a Costa Rica y a todos los países de América Latina, con excepción de Panamá. Sin embargo, hay que recordar que Panamá representa una situación bastante particular; su alta productividad refleja la presencia de un importante instituto extranjero (Smithsonian Tropical Research Institute – STRI) en la Isla Barro Colorado. STRI cuenta con 40 científicos permanentes de alto nivel, muchos estudiantes posdoctorales y 200 científicos y estudiantes visitantes por año. Asimismo, en Costa Rica la “Organization for Tropical Studies” (OTS), consorcio de universidades norteamericanas, ha dado un impulso importante al desarrollo de la Ecología en las últimas 3 décadas. Desde luego, STRI es un buen ejemplo de lo que se puede lograr, cuando existen institutos bien equipados y con financiamiento a largo plazo. Por otra parte, los logros de Costa Rica muestran el valor de una política abierta en cuanto al desarrollo de las ciencias.

Para evaluar las citas ISI del Directorio nos apoyamos en tablas entregadas por *ISI Essential Science Indicators*, donde se pueden encontrar los números de citas esperados al final de 2004 para trabajos publicados en los años particulares del estudio, según los diferentes campos de la ciencia. Estimamos que cerca de 100 de los 819 trabajos ISI (12%) cuentan con citas suficientes como para ubicarlos en el percentil correspondiente al 10% de trabajos más citados. Dado que nosotros registramos las citas de los investigadores a mediados de 2005, se tomó la precaución de aumentar los números esperados para el tiempo de exposición (mayor) basado en proyecciones de 2003. Teniendo en cuenta que la gran mayoría de los trabajos científicos son publicados por países de alto nivel de desarrollo, lograr esta cantidad de trabajos en el primer 10% parece loable, aunque cuando sea evidentemente mejorable.

Finalmente, existen elementos cualitativos que indicarían que las Ciencias Ambientales en Chile son bien percibidas en el escenario internacional. Hay numerosos casos de membresías en comités editoriales de prestigiosas revistas internacionales en el Directorio. Para el quinquenio, aumentó el protagonismo expresado en integrar comités científicos internacionales de alto nivel, como DIVERSITAS, GTOS, GMBA; sus miembros han recibido premios de gran prestigio (por ejemplo: Mercer Award, Ecological Society of America – 1996; Premio IFS/King Baudouin – 1996; Premio L’Oreal-UNESCO-1998; “Outstanding paper in the discipline of Landscape Ecology” -2001; Premio BBVA de Investigación Científica en Biología de Conservación- 2004), así también altos honores internacionales (Academia de Ciencias –EEUU– 1 miembro, TWAS- 2 miembros) y becas prestigiosas (Beca Guggenheim– 3 miembros). En resumen, es razonable concluir que las Ciencias Ambientales en Chile han evolucionado en forma satisfactoria durante el último quinquenio, tanto en América Latina, como en el mundo.

9. Conclusiones y recomendaciones

Las principales conclusiones de este análisis son:

- 1) El Directorio de Científicos Activos de Ciencias Ambientales está constituido por 170 investigadores, lo que representa un aumento neto de 68 personas en comparación con la década anterior, y 8% del total de científicos activos de Chile. Sus integrantes son generalmente más jóvenes que en la década anterior, con una representación femenina proporcionalmente creciente (25%), valor similar a los EEUU, pero considerablemente más bajo que el de Europa donde es más de 40%.
- 2) El 80% de los científicos incluidos en el Directorio posee doctorado, lo que significa un aumento de 20% con respecto al período anterior; 49% de los doctorados fueron conferidos por instituciones académicas chilenas. El 27% de los miembros del Directorio tiene además estudios de posdoctorado en Chile o el extranjero.
- 3) La Ecología y las Ciencias Vegetales son las subdisciplinas con mayor número de investigadores en Ciencias Ambientales. Aunque existe un cierto progreso hacia la descentralización, reflejado en la distribución de los científicos activos en 26 instituciones del país, aún existen grandes desequilibrios en la dotación de científicos de las distintas subdisciplinas y áreas de investigación

en las regiones administrativas del país. Las subdisciplinas y áreas de investigación más aplicadas no han experimentado la misma tasa de desarrollo que las subdisciplinas y áreas de ciencia básica. Todavía 80% de investigadores se concentran sólo en tres regiones del país. Las regiones del norte de Chile son las más desprovistas en cuanto a científicos calificados en la disciplina. Las principales áreas emergentes durante esta década son la Ecología Evolutiva, la Palaeoecología y la Sistemática y Genética Molecular, aunque aún limitadas por el número de sus practicantes.

- 4) La productividad de Ciencias Ambientales para el quinquenio 2000-2004 (sin contar trabajos en prensa y aceptados) consiste en 819 trabajos ISI publicados en 272 revistas, lo que significa un aumento de 98% respecto al período anterior. Esta cifra se traduce en 52,5 trabajos ISI por millón de habitantes y representa 6,3% del total de trabajos ISI publicados en el país. A esta productividad se suma una gran diversidad de libros, capítulos de libros, y trabajos en Scielo, con un total de 1.237 publicaciones sin contar otros trabajos no-Scielo con comité editorial. El 31,8 % de trabajos en *Science* y *Nature* con autores chilenos corresponden a científicos del área de Ciencias Ambientales. El número de trabajos ISI por investigador fluctúa entre 1 y 61, con un valor de la mediana de 5, cifra que sube a 9 al incluir capítulos de libros, libros y trabajos Scielo. Las citas ISI acumuladas por investigador varían entre 0-366, con un valor de la mediana de 13, dando un total de citas de 3.030 para el Directorio completo. Los trabajos más citados generalmente tienen múltiples autores y son el producto del trabajo de colaboración entre científicos de varios países.
- 5) Entre 2000 y 2004, los científicos activos en Ciencias Ambientales financiaron su trabajo de investigación con un promedio de US\$ 7,2 millones al año, lo que incluyó unos US\$ 4,6 millones de fondos estatales. La tasa de publicaciones ISI entonces, es 22,8 por millón de dólares asignados a nuestros laboratorios. Para 2002, año para el cual existen datos desglosados, los fondos asignados a la disciplina representan apenas 2% del total de fondos estatales dedicados a investigación y desarrollo. Estos montos apoyaron, además de proyectos de investigación y becas, el establecimiento de dos Centros Regionales de Investigación, un Centro Fondap, y dos Núcleos Milenio, cuya misión es apoyar la formación científica de alto nivel en ecología y ciencias ambientales, tanto como generar conocimientos relevantes para la resolución de problemas asociados al creciente impacto sobre los recursos biológicos y los ecosistemas.
- 6) En el quinquenio, el número de programas de posgrado se duplicó y los ingresos a los programas de pre y posgrado crecieron notablemente. Sin embargo, e incluyendo los magísters, solamente unos 30 alumnos al año reciben un título de posgrado en Ciencias Ambientales. Los doctorados conferidos (48% de los titulados en posgrado) corresponden a 7% para el total en Chile.
- 7) Los científicos de Ciencias Ambientales pertenecen a 12 sociedades nacionales y más de 100 sociedades científicas internacionales. Integran varios comités internacionales de alto nivel (DIVERSITAS, GTOS, GMBA) y han sido recipientes de tres Cátedras Presidenciales. Varios de ellos han recibido premios y altos honores internacionales en el período (Academia de Ciencias de Estados Unidos, Academia de Ciencias del Tercer Mundo).
- 8) Con respecto a la inserción internacional, para un número grande de revistas ISI de corriente principal de la disciplina, se llega a la conclusión que las Ciencias Ambientales de Chile se ubican en el lugar 24 entre 142 países del mundo en relación al número de artículos *per capita*, una posición cercana a algunos países desarrollados de Europa. Según la tendencia general mundial, la productividad en Ciencias Ambientales para el período está por sobre lo esperado en relación al PIB per cápita. Aproximadamente 12% de los trabajos ISI caen en el rango del 10% superior en la disciplina con respecto a citas ISI recibidas.
- 9) Respecto a otros logros del período destacan los siguientes: a) ecólogos chilenos lograron conseguir la conservación de 68,000 ha de ecosistemas subantárticos en Tierra del Fuego en una propiedad privada; b) se puso en marcha un Programa Sectorial en la II Región para avanzar el

conocimiento de ecosistemas y biodiversidad regional; c) hubo una participación activa de científicos del área ambiental en la realización del Catastro Vegetacional de Chile de CONAMA-CONAF-BIRF; d) se publicó el Libro Rojo de la flora de la IV Región; d) se llevó a cabo el primer diagnóstico de la biodiversidad chilena; e) se establecieron tres nuevas estaciones de campo para apoyar la investigación; f) una proporción grande de territorio chileno ha sido reconocido como un Hotspot Mundial de la Biodiversidad por la comunidad científica internacional; g) Se puede afirmar, además que las Ciencias Ambientales han tenido una creciente participación en la educación ambiental a lo largo del país y un protagonismo científico a nivel nacional e internacional.

Cabe preguntarse entonces ¿qué pasos deberían darse para que la pendiente positiva de la productividad científica en Ciencias Ambientales en el período examinado continúe durante la próxima década? y ¿qué es lo que falta para que las Ciencias Ambientales contribuyan de una manera más decidida al desarrollo del país? Es muy claro que la investigación básica es necesariamente el primer eslabón de la cadena, pero esta cadena no debería terminar allí.

A nuestro modo de ver, para enfrentar esos desafíos se requiere tanto medidas “top down”, vale decir, visión y acción por parte de las autoridades responsables del desarrollo de las ciencias en Chile, como “bottom up”, es decir esfuerzos innovadores desde el interior de la comunidad científica. Todo ello, ojalá en el contexto de un “proyecto país” cuyo objetivos duales serían realzar las bondades de los ecosistemas y la biota del país mediante la práctica de ciencia de primer nivel, y a la vez canalizar los resultados científicos para el bienestar del medio ambiente y desarrollo socio-económico de Chile.

En cuanto a medidas “top down” se requiere mayor reconocimiento por parte del Estado de que *las ciencias ambientales y en particular la conservación de la biodiversidad, son fundamentales para el desarrollo socio-económico del país, en particular el fortalecimiento de la industria del turismo, el manejo ecológico de las plantaciones agro-forestales, la mantención de servicios ecosistémicos críticos en un país montañoso como son la protección de las cuencas y el abastecimiento hidrológico, y la certificación ecológica de los productos derivados del uso de recursos biológicos.* De acuerdo con los indicadores cuantitativos presentados, para alcanzar el nivel de productividad científica per cápita de países desarrollados de similar tamaño y nivel de dependencia de recursos biológicos y servicios ecosistémicos, como Nueva Zelanda, Australia o Dinamarca, por ejemplo, se requiere una infusión estimada en becas de posgrado y fondos de apoyo para la investigación científica básica y aplicada que en términos monetarios representa 3 a 4 veces más que la inversión actual, es decir unos 25 millones de dólares anuales (comparado con un promedio de 7,1 millones de dólares anuales para el período analizado). Una inyección de por lo menos 50% de ese presupuesto durante los próximos cinco años constituiría un paso significativo para elevar las disciplinas ambientales cerca del nivel de España, por ejemplo. Una proporción importante de nuevos fondos deben dedicarse a la formación de científicos jóvenes, y tal vez, a apoyar su inserción laboral. El modelo MECESUP que exige la incorporación gradual de los posdoctorantes a la planta académica, nos parece muy valioso.

Al mismo tiempo, pensamos que se requiere una cartera de instrumentos, modalidades y prioridades más amplia para distribuir los fondos de investigación del país. En primer lugar, aunque valoramos el apoyo de los proyectos específicos de FONDECYT, el excesivo apego a esta modalidad podría ser insuficiente a largo plazo. En las Ciencias Ambientales hay etapas básicas cuyo cumplimiento es fundamental para el desarrollo equilibrado y eficiente de las etapas más avanzadas. A modo de ejemplo, si bien el catastro y conocimiento de la posición taxonómica y distribución de plantas y animales terrestres han avanzado en la década precedente, el progreso ha sido muy lento. La fauna acuática continental tampoco ha tenido un esfuerzo de estudio coordinado y concertado a lo largo del país siendo en estos momentos más detallado el conocimiento asociado a las universidades y centros de estudio regionales, por ejemplo en la región de los Lagos con los esfuerzos de la Universidad Austral y en la VIII Región gracias

a la presencia de la Universidad de Concepción. Sin embargo esfuerzos notables de investigadores de la Universidad de Chile, Universidad Católica de Valparaíso, entre otras del centro del país, también han permitido evaluar al menos parcialmente el estado ambiental de cuerpos de agua de la región Metropolitana. En resumidas cuentas, la puesta al día del conocimiento biológico básico de los diferentes grupos de organismos, representa un difícil desafío para la ciencia nacional, principalmente por la ausencia de incentivos, falta de especialistas y porque los criterios para acceder a las fuentes de fondos en el país excluyen actualmente la práctica de la taxonomía básica y el desarrollo de inventarios biológicos. Esto ha conducido a la gradual extinción de este tipo de destrezas y limitan fuertemente el aporte de los científicos nacionales al desarrollo de la estrategia nacional y regionales de la Biodiversidad, elaboradas por la CONAMA, que carecen por lo tanto de fundamentos sólidos sobre el estado de la biodiversidad en Chile. En ese mismo contexto se lamenta la ausencia de un estudio comprensivo y actualizado del estado de conservación de las especies de plantas y animales del país. Constatamos así que los esfuerzos para completar el inventario de la biodiversidad de las áreas protegidas del país, que según las recomendaciones del reciente informe OECD-2005, debería constituir una prioridad nacional, se desarrollan en forma lenta y con capacidades técnicas limitadas. Es notable, como se pone de manifiesto en la publicación reciente de catálogos completos y actualizados de la flora vascular, que el conocimiento de la biodiversidad en otros países latinoamericanos cuyo nivel de desarrollo es similar o menor a Chile, como Argentina, Perú y Ecuador, ha progresado en forma mucho más rápida que en Chile. De acuerdo con el informe OECD-2003, nos parece que el inventario biológico del país, que es la base fundamental para prácticamente todas las áreas de investigación avanzada en Ecología y Ciencias Ambientales, así como para el cumplimiento de las metas ambientales del país, debe constituir una prioridad nacional. Es ilusorio pensar que se pueda completar el inventario y la redacción de monografías, a través de proyectos de investigación específicos. Nos parece fundamental que el país trace un plan de acción que asegure que las etapas más básicas, iniciadas con mucho esfuerzo y entrega por los grandes naturalistas del siglo pasado, y llevados a cabo con dedicación y seriedad por la presente generación, lleguen a un feliz término dentro de la próxima década.

Un punto estrechamente relacionado con lo dicho en el párrafo anterior se refiere a la limitada visión y entendimiento de la relevancia de las Ciencias Ambientales para el desarrollo socio-económico de Chile. Si bien son deseables los avances tecnológicos convencionales y la biotecnología, las Ciencias Ecológicas también puedan hacer importantes contribuciones a la economía y en este sentido, deben tener un desarrollo equilibrado con las demás disciplinas. Una de las áreas destacables es la relación de la ecología con la industria del turismo, que en la última década ha estado creciendo a una tasa de 10% anual en Chile¹³. Fortalecer el turismo realzando la biodiversidad chilena traería además beneficios para el medio ambiente, la reputación internacional de Chile y el desarrollo de los pueblos locales. Ojalá que los programas Chile Innova y el nuevo Fondo del Cobre dedicados al desarrollo tecnológico y económico reconocieran este punto de modo tal que se amplíe el concepto de innovación que se está manejando en el país en estos momentos.

Un aspecto crítico para el desarrollo y fortalecimiento de la investigación y entrenamiento en Ecología y Ciencias Ambientales es la ausencia de un programa de fondos para mantener sitios de estudio permanentes en el campo (estaciones biológicas), incluyendo la infraestructura y equipamiento de laboratorios en terreno. En el diagnóstico de las publicaciones, se puede constatar que el tema de cambio climático, ya sea con respecto a las tendencias futuras asociadas al calentamiento atmosférico, o a la predicción de los ciclos del Niño, son de alto interés en la comunidad científica y el público en general en la actualidad. El conocimiento de las tendencias y variaciones climáticas tiene además consecuencias económicas importantes para un país sujeto a periódicas catástrofes ambientales (sequías e inundaciones) y dependiente de recursos hidroeléctricos y agro-forestales. Para que estudios del clima pasado y futuro y sus consecuencias ambientales tengan máxima relevancia, es fundamental implementar estudios de largo

¹³ http://www.chile.com/tpl/articulo/detalle/ver.tpl?cod_articulo=68368.

plazo, y concentrar los esfuerzos en sitios dotados de infraestructura mínima para la continuidad de los registros y mediciones y que reúnan las capacidades de científicos de varias disciplinas. El impacto de estaciones biológicas bien equipadas ha sido especialmente notable en el desarrollo de las Ciencias del Mar en el país. Por razones diversas, una inversión de este tipo no se ha concretado en Ecología y Ciencias Ambientales, a pesar del hecho que existe un programa internacional LTER (Long Term Ecological Research) que funciona ya por más de una década y que ha manifestado en varias oportunidades a los científicos chilenos su interés por integrar a la red sitios de estudio en Chile. Tales sitios permitirían cubrir un enorme rango latitudinal que no está presente en otros territorios del hemisferio sur, facilitando las comparaciones de tendencias inter-hemisféricas. En Ecología en particular, es cada día más evidente la necesidad de realizar estudios comparativos de gran escala, basados en redes de sitios experimentales en ecosistemas representativos en distintos países. Ello permite contrastar tendencias climáticas generales de efectos locales, reconocer interconexiones biológicas y físicas entre ecosistemas, y monitorear las tendencias de largo plazo a nivel poblacional y ecosistémico (Armesto, 1990). Las estaciones constituyen además centros de discusión inter-disciplinarios y valiosos espacios de diálogo entre los investigadores y la comunidad local (Rozzi et al., 2000), así facilitando la transferencia del conocimiento científico.

En el estudio que hemos presentado, es evidente que la descentralización sigue siendo un problema serio en Ecología y Ciencias Ambientales. El establecimiento de Centros Regionales por CONICYT y la promoción de redes de colaboración inter-institucional bajo el marco de la Iniciativa Científica Milenio indudablemente constituyen grandes avances hacia descentralización y consolidación de las disciplinas ambientales. Sin embargo, en lo que se refiere al impacto y planificación del desarrollo en relación al medioambiente y calidad de vida hay vacíos notables. La casi ausencia de científicos en ciencias ambientales en las regiones I, II y III es grave puesto que estas áreas del país albergan floras, faunas y ecosistemas distintos a los de Chile central-sur. Son éstas las regiones del país donde se desarrollan grandes proyectos mineros que requieren la vigilancia de las acciones de mitigación, control de contaminación, y restauración de vegetación y ecosistemas acuáticos. Hasta ahora, las necesidades de información y control se traducen en contratos privados con consultoras de dudosa capacidad técnica. Es necesario que el país enfrente esos desafíos en forma orgánica, a través de consorcios entre empresas e instituciones académicas sólidas y permanentes, bajo objetivos de largo plazo establecidos en forma colectiva. En particular necesitamos saber los umbrales sobre los cuales los ecosistemas que sufren grandes perturbaciones debido al desarrollo, empezarían a desestructurarse. La Palaeoecología y la Ecología de Comunidades y Ecosistemas son áreas de investigación críticas para responder esas preguntas. Durante el período examinado, hemos podido percibir una emergencia paulatina y parcial de áreas temáticas aplicadas, así como también de temas relevantes al manejo sustentable de los ecosistemas. La incorporación de esas temáticas en los centros académicos sin duda reportará beneficios y consolidación de líneas de investigación relevantes al desarrollo regional.

Remitiéndonos ahora, a las acciones tipo “bottom-up”, es evidente que corresponde a cada científico reflexionar sobre sus futuras contribuciones de una manera más efectiva para el desarrollo de las ciencias ambientales en Chile. En este trabajo hemos establecido varios indicadores cuantitativos que esperamos sean de utilidad para las instituciones del país y sus investigadores, así también para detectar los avances en futuros estudios de la naturaleza del presente. Cerrar la brecha entre la productividad individual y las metas de investigación y desarrollo institucionales, nos parecen objetivos importantes para las ciencias ambientales. Equilibrar la producción de libros, capítulos de libros y trabajos ISI es otro punto relevante, teniendo en cuenta, que los capítulos de libros son leídos con menor frecuencia, y consecuentemente, mucho menos citados. Aumentar la fracción de trabajos que caen en los rangos superiores de citas es un desafío importante para una mejor inserción de las ciencias ambientales en el escenario internacional. Al respecto, los trabajos ISI más citados tienden a ser el producto de redes de colaboración nacional e internacional. De allí se concluye que son fundamentales las oportunidades que permiten a investigadores nacionales, especialmente los jóvenes, establecer contactos internacionales. Los concursos FONDECYT actualmente no financian viajes a laboratorios fuera de Chile.

Es axiomático que los científicos han sido exitosos globalmente en desarrollar indicadores para medir el impacto de sus publicaciones científicas, los que tienden a dominar cuando se trata de evaluar el rendimiento de un científico. Sin embargo, se han descuidado las maneras de evaluar los llamados “Otros Logros”, es decir los impactos en la sociedad. El mero hecho que dichos logros tienden a clasificarse como “Otros” es muy revelador. Nos parece muy importante contar con mediciones del impacto de las publicaciones de utilidad para los encargados de la conservación, manejo y uso de los recursos naturales, las acciones de “outreach”, y los logros concretos en el ámbito de la conservación. Si bien los libros no son ampliamente citados en ISI, los textos que sintetizan la investigación y conocimiento de los ecosistemas chilenos, así como las propuestas de teorías y modelos innovadores derivados del trabajo de los científicos nacionales son fundamentales como instrumentos para llegar al público en general. En este sentido, hace falta crear un fondo para apoyar este tipo de publicaciones (por ejemplo FONDECYT no financia libros). En esta misma línea, un impacto difícil de evaluar es aquel que tendrían los miembros incluidos en el Directorio sobre la toma de decisiones, el manejo de los recursos naturales en Chile y los procesos productivos. Es decir cuál es el retorno efectivo para el gobierno chileno a partir de la inversión en ciencias ambientales. Son numerosos los investigadores y grupos de investigación de las universidades y otras instituciones que se involucran en estudios de factibilidad, líneas de base para el desarrollo de proyectos, etc. Es también relevante la información que es a menudo requerida por instituciones estatales para la toma de decisión en cuanto al uso de recursos naturales por ejemplo, el recurso agua por parte de la DGA (Dirección General de Aguas), la Subsecretaría de Pesca para implementar la legislación de pesca recreativa en aguas continentales, la CONAMA para el desarrollo de un catastro de áreas prioritarias para la conservación, etc. En resumen, será necesario que Chile desarrolle indicadores apropiados para determinar el rol de las ciencias ambientales en esos aspectos y así estimular la valoración de esta área científica en el desarrollo social y económico directo del país.

Basándonos en el contenido de las publicaciones hemos constatado una limitada integración de áreas de investigación complementarias al interior de los centros de investigación, y también entre distintos centros académicos del país. La integración disciplinaria es fundamental para abordar problemas del medio ambiente. La incomunicación es tal vez una consecuencia de la característica parcializada de la formación universitaria en el siglo 20 a la que se suma la prominencia del sistema de financiamiento de proyectos individuales de CONICYT que tiende a fomentar la atomización del conocimiento en lugar de integrar especialidades. En particular, los programas FONDAP, centros Milenios, Anillos de Investigación y otras iniciativas afines son buenas oportunidades para equilibrar la situación, pero ello, evidentemente requiere la voluntad de los actores, en este caso nosotros los científicos. Debido a la falta de integración entre especialistas, y a pesar que la inversión en el conocimiento de los ecosistemas terrestres chilenos se ha incrementado, es aún incipiente nuestra capacidad de manejar sistemas ecológicos complejos y nuestro poder de recuperar ecosistemas fuertemente degradados por el impacto humano, especialmente en regiones semiáridas y mediterráneas. De la misma forma, la interfase entre ecólogos terrestres y acuáticos (marinos y de agua dulce), que reviste especial significado en un país con las características ecológicas de Chile, sólo recientemente ha comenzado a explorarse en un pequeño número de centros académicos. En el país hacen falta más mecanismos para fomentar las interacciones mediante talleres de trabajo periódico y la formación de redes interinstitucionales surgidas de temáticas de interés común.

En otro ámbito, nos parece que ha llegado el momento para abrir en Chile un diálogo franco sobre la interacción entre científicos y empresas, de modo de contribuir positivamente a la resolución de los conflictos ambientales, que suelen ser recurrentes en los países en desarrollo. Este tema representa un desafío importante para la ecología y las ciencias ambientales en el país. En relación a la inserción armoniosa de los científicos en el quehacer nacional, dado que las expectativas de los ciudadanos del país y de los mercados internacionales en materia del medio ambiente son cada vez más exigentes, es notable que las sociedades científicas chilenas no hayan considerado el desarrollo de mecanismos de certificación de la capacidad técnica de los investigadores y de las numerosas consultoras privadas que existen. Esta

modalidad iría en directo beneficio del sector privado pues aseguraría un “control de calidad” de los estudios de impacto ambiental y menos conflictos ambientales.

Las proyecciones futuras indican que las ciencias ambientales adquirirán en las décadas venideras aún más relevancia nacional y mundial, tanto científica como ecológica y económica. Holmgren & Schnitzer (2004), en su trabajo reciente sobre el desarrollo de las ciencias en los países en desarrollo, afirma que “*climate change and biodiversity research urgently need the scientific input from those developing countries that are so important for global processes*”. También dicen que “*there are now examples in which research on priority areas for developing nations can actually become pioneering work in areas neglected in the research agenda of the industrialized world*”. Western (2001) sostiene que las Ciencias Ambientales serán determinantes de la evolución de nuestra relación, como sociedad, con el entorno biótico, incluyendo plantas, animales y sistemas ecológicos, y hace ya tiempo que Lubchenco (1998) pidió un “*new contract between science and society*”. Los profundos cambios en el paisaje, la constitución química de la atmósfera y las pérdidas de diversidad que derivan de la creciente demanda por energía y recursos naturales en países emergentes y pujantes, son problemas que deberemos resolver como sociedad. Los científicos de ciencias ambientales debemos estar preparados para contribuir a esta tarea colectiva generando conocimiento científico del más alto nivel, a la vez encontrando los caminos para que dicho conocimiento sea útil.

Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin la ayuda desinteresada de Carolina Henríquez, Ana María Humaña, Soledad Muñoz, Daniela Domínguez y Paola Jara, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. También extendemos nuestros agradecimientos a Jorge Tomasevic, Marco Figueroa, Constanza Celedón, Paulina González y Bárbara Saavedra por la ayuda profesional prestada en diferentes etapas del del trabajo.

Bibliografía

- Allende J & Ureta T (eds). (1997) *Directorio 1997-1997*. Academia Chilena de Ciencias, Santiago. 286 páginas.
- Armesto JJ (1990) Estudios a largo plazo: una prioridad para la investigación ecológica de hoy. *Revista Chilena de Historia Natural* **63**: 7-9.
- Armesto JJ, Rozzi R, Smith-Ramirez C & Arroyo MTK (1998) Conservation targets in South American temperate forests. *Science* **282**: 1271-1272.
- Arroyo MTK (1997) Sustainable forestry and biodiversity conservation in the Río Cóndor Project. En (Raven PH, ed) *Nature and Human Society. The Quest for a Sustainable World*, Páginas 530-542. US National Academy of Sciences Press, Washington DC.
- Arroyo MTK, Rozzi R, Simonetti JA, Salaberry M (1999) Central Chile. En Mittermeier RA, Myers N, Mittermeier CG (eds) *Hotspots. Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. Páginas 161-171. Mexico City, CEMEX.
- Arroyo MT, Marticorena C, Matthei O, Cavieres L (2000) Plant invasions in Chile: present patterns and future predictions. En Mooney HA & Hobbs R (eds) “*Invasive Species in a Changing World*”, Páginas 385-421, Island Press, New York.
- CONAF-CONAMA-BIRF (1999) Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. CONAF-CONAMA, Santiago.
- Fuentes E, Fuenzalida H, Gross P, Maldonado P, Ormazábal C, Sancha A, Trier A (1993) Ciencias Ambientales en Chile: Diagnóstico y Proyecciones. En Allende J & Ureta T (eds.) *Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena*. Academia Chilena de Ciencias, Santiago.

- Jaksic FM., Iriarte JA, Jiménez JE, Martínez R (2002) Invaders without frontiers: cross-border invasions of exotic mammals. *Biological Invasions* **4** (1-2): 157-173.
- Handelsman J, Cantor N, Carnes M, Denton D, Fine E, Grosz B, Hinshaw V, Marrett C, Rosser C, Shalala D, Sheridan J. (2005) More Women in Science. *Science* **309** (5738): 1190-1191.
- Holmgren M, Schnitzer SA (2004) Science on the rise in developing countries. *PloS Biology* **2** (1): 10-13.
- Lara A, Soto D, Armesto JJ, Donoso P, Wernli C, Nahuelhual L, Squeo FA (2003) *Componentes Científicos Clave para una Política Nacional Sobre Usos, Servicios y Conservación de los Bosques Nativos Chilenos*. Universidad Austral de Chile, Iniciativa Científica Milenio de Mideplan, Valdivia. 134 pp.
- Lubchenco J (1998). Entering the century of the environment: a new social contract for science. *Science* **279**: 491-497.
- Myers N, Mittermeier RA, Fonseca G, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* **403**: 853-858.
- Rozzi R, Silander J, Armesto JJ, Feinsinger P, Massardo F (2000) Three levels of integrating ecology with the conservation of South American temperate forests: the initiative of the Institute of Ecological Research Chiloé, Chile. *Biodiversity and Conservation* **9**: 1199-1217.
- Simonetti JA, Arroyo MTK, Spotorno AE, Lozada E (eds) (1995) *Diversidad Biológica de Chile*. CONICYT, Santiago, xii + 364 pp.
- Squeo FA, Arancio G, Gutierrez F (eds) (2000) “*Libro Rojo de la Flora Nativa de la región de Coquimbo y de los sitios prioritarios para su conservación*”, Ediciones de la Universidad de La Serena. 388 páginas.
- Western D (2001) Human-modified ecosystems and future evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **98**: 5458-5465.

Francisco Brieva (*Coordinador*), Javier Ruiz del Solar (*Co-coordinador*),
Nancy Hitschfeld, Aldo Cipriano, Alfredo Gordon, Hector Kaschel, José Rodríguez,
Richard Weber y Andrés Weintraub

Este trabajo constituye un primer intento por cuantificar el recurso humano calificado que sustenta, en Chile, el desarrollo presente de las Ciencias de la Ingeniería. Además, permite identificar las áreas con mayor nivel de actividad relativa entre las disciplinas y las instituciones en donde esta actividad se realiza.

La falta de estándares nacionales o internacionales fuerza el establecimiento de criterios mínimos de actividad que sirvan para contabilizar, objetivamente, a los investigadores activos en las Ciencias de la Ingeniería en el último lustro. Esos criterios, que serán explicitados oportunamente en este capítulo, enfatizan principalmente los aportes que desde el país se hace al conocimiento mundial y soslayan, por diseño, los aspectos relacionados a la práctica profesional de la ingeniería. Consecuentemente, el énfasis se centra en las publicaciones, entendidas como información validada por pares y de divulgación general.

A pesar de la existencia de reglas de selección, la transversalidad del conocimiento está generando cada vez más obstáculos para su clasificación detallada. En realidad, la distinción entre Ciencia e Ingeniería aparece cada vez más difusa en algunas áreas, con la consiguiente incertidumbre al momento de recopilar datos y construir las estadísticas. Es una tendencia presente y, con la mayor probabilidad, parte de las características de cómo se construirá el conocimiento durante el siglo 21. Por ello, el tipo de análisis grueso que este estudio presenta debe considerarse sólo como una guía a lo que ocurre, en el país, en las Ciencias de la Ingeniería.

Un aspecto que ha resultado difícil de cuantificar es la presencia de investigadores en empresas (públicas y privadas) e institutos estatales de fomento. Dos hechos podrían explicar esta ausencia: la falta de un producto publicable internacionalmente o la investigación en temas de valor estratégico para la empresa o institución que lo sostiene. Para estos casos, la métrica sugerida no es aplicable.

1. Contexto de las Ciencias de la Ingeniería en Chile

La ingeniería inició su desarrollo en Chile con la llegada, entre los siglos 16 y 18, de 50 ingenieros españoles. A ellos se agregaron profesionales de otros países contratados por la corona, como Ambrosio O'Higgins y Joaquín Toesca. Pedro de Gamboa, designado Alarife de la Ciudad por el Cabildo de Santiago en 1541, es considerado el primer ingeniero que ejerce la profesión.

Las primeras clases de ingeniería se dictaron en la Academia de San Luis, fundada por Manuel de Salas en 1796. Las dictó el ingeniero militar español Agustín Caballero y versaron sobre Estática, Hidráulica, Agrimensura, Arquitectura y Máquinas. La primera especialidad que se desarrolló en el país fue la de Ingeniería de Minas, con la llegada en 1821 del ingeniero francés

Carlos Lambert, quien formó el Colegio de Coquimbo y en 1837 el Curso de Minas, para lo cual se contrató al polaco Ignacio Domeyko. En 1842 el Presidente Manuel Bulnes creó la Universidad de Chile y el Cuerpo de Ingenieros en el Ministerio del Interior, embrión de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile, hasta la formación en 1852 de su Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Décadas más tarde se fundaron la Pontificia Universidad Católica en 1888, la Universidad de Concepción en 1919 y, en 1931, la Universidad Técnica Federico Santa María. Estas nuevas universidades consolidaron una amplia oferta de formación profesional en ingeniería. En 1888 se creó también el Instituto de Ingenieros de Chile, el que en 1935 impulsó el Plan Nacional de Electrificación y en 1939 gestó la creación de la Corporación de Fomento de la Producción, CORFO, la que desempeñó un papel fundamental en la industrialización del país.

El desarrollo de las bases conceptuales de la ingeniería, las llamadas Ciencias de la Ingeniería, toman forma tardíamente en el país. Más allá de algunos singulares aportes ocurridos en la primera mitad del siglo 20, principalmente en ingeniería hidráulica y control y ensayos de materiales, no se detectan desarrollos conducentes a participar en la creación del conocimiento universal que sirviera de fundamento a las diferentes disciplinas de la ingeniería. Los nuevos espacios se abren a partir de alrededor de 1960, cuando las universidades adoptan las tendencias internacionalmente presentes y se reorganizan, con grupos académicos estables, en un amplio espectro de actividades alrededor de la docencia, la investigación y la extensión. Corresponde a esa época, por ejemplo, la idea de enviar los primeros académicos chilenos al extranjero para adquirir una formación más elaborada a través de la obtención de grados académicos de Master o Doctorado. Parte importante de los esfuerzos formativos de los años sesenta se perdieron durante los setenta debido a la escasez de oportunidades en las universidades y el clima de inestabilidad que se vivió en los primeros años del régimen militar. Este impacto fue particularmente importante en la incipiente actividad de las Ciencias de la Ingeniería, con un número importante de profesionales de alto calibre abandonando la investigación para concentrar sus actividades en la práctica profesional.

En la última década del siglo 20 se empieza a consolidar la presencia de un número significativo de investigadores activos en las diferentes universidades nacionales. La mayoría con formación doctoral en el extranjero, con una clara percepción de las 3 demandas en investigación, su medida de éxito y su carácter internacional. Así, por ejemplo, no es extraño detectar una oferta de los primeros programas de doctorado en ingeniería, por parte de universidades nacionales a principios de los años 90. Sin embargo, cabe recordar la iniciativa de la Universidad Técnica Federico Santa María que culminó con un programa de doctorado, de corta duración, en Ingeniería Electrónica en 1962. Otra excepción la constituye la Ingeniería Química, presente tempranamente (~1970) en el país a través de su éxito en investigación y la calidad de sus programas académicos.

Resulta difícil cuantificar el impacto que el desarrollo de las Ciencias de la Ingeniería han tenido en el país. Desde el punto de vista educativo, la presencia de investigadores con oficio, con un entrenamiento excelente, garantiza la formación de profesionales idóneos en las pocas universidades que los tienen. El impacto económico es complejo de medir, en especial, en un contexto de falta de incentivos y prioridades de desarrollo nacionales. Por ello, es probablemente necesario reconocer que las Ciencias de la Ingeniería constituyen un área del conocimiento que, a pesar de su esperado impacto en el desarrollo nacional, han sufrido un incomprensible atraso y falta de oportunidades en su desarrollo.

2. Análisis global

Para simplificar en parte el estudio de las Ciencias de la Ingeniería, las disciplinas que la componen se han agrupado en la siguiente forma:

- ELECT : Eléctrica, Electrónica, Electricidad;
- COMP : Informática, Computación;
- QUIM : Ingeniería Química, Ingeniería Bioquímica, Biotecnología, Materiales y Procesos Químicos;
- MAT : Ingeniería Matemática, Modelación;
- CIVIL : Ingeniería Civil, Construcción, Estructuras, Geotecnia, Hidráulica y Transportes;
- MMM : Ingeniería de Minas, Ingeniería Metalúrgica e Ingeniería Mecánica;
- INDUS : Ingeniería Industrial, Industrias y Sistemas;
- OTROS : Unidades de Desarrollo Tecnológico, Tecnologías Ambientales, Transferencia Tecnológica, Educación en Ingeniería, etc.

En el área de la Ingeniería Matemática se incluyen sólo los investigadores que realizan investigación aplicada a problemas de la ingeniería. Por otra parte, no se han contabilizado en este estudio a investigadores del área de la economía.

La clasificación sugerida se aparta considerablemente de los ordenamientos habituales en Ciencias de la Ingeniería. El enfoque propuesto pretende facilitar la identificación y agrupación de lo realizado en el país y las prácticas seguidas en diversas fuentes de financiamiento de la actividad.

2.1. Número y características de los investigadores

Criterios de selección utilizados

Un investigador activo en las Ciencias de la Ingeniería es la persona que, en el período 2000 – 2004, satisface uno de los siguientes criterios:

- tener 2 publicaciones en revistas indexadas ISI (Institute for Scientific Information) y haber participado como investigador responsable en un proyecto FONDECYT, o como investigador principal o co-investigador en algún proyecto FONDEF, FONDAP o Milenio;
- tener 3 publicaciones ISI.

Investigadores activos

Usando los criterios de selección se han identificado 254 investigadores activos quienes desarrollan principalmente sus actividades en 5 universidades (Fig. 15.1). En particular, la Universidad de Chile concentra 30% de los investigadores activos, la Pontificia Universidad Católica de Chile el 20%, la Universidad de Concepción el 15%, la Universidad de Santiago de Chile el 13% y la Universidad Federico Santa María el 10%. De todos los investigadores activos, 33 corresponden a mujeres (13%).

La Fig. 15.2 indica la distribución de los investigadores activos por disciplina, en el contexto de la clasificación de disciplinas descrita previamente. Se observa que la mayor concentración se produce en las disciplinas relacionadas a la Ingeniería Química, con 31% de los investigadores activos dedicados a esa actividad. Por otro lado, sorprende la carencia de investigadores activos en las áreas relacionadas a la Ingeniería Industrial y Sistemas. En particular, cuando corresponde a disciplinas de alta demanda profesional en el país.

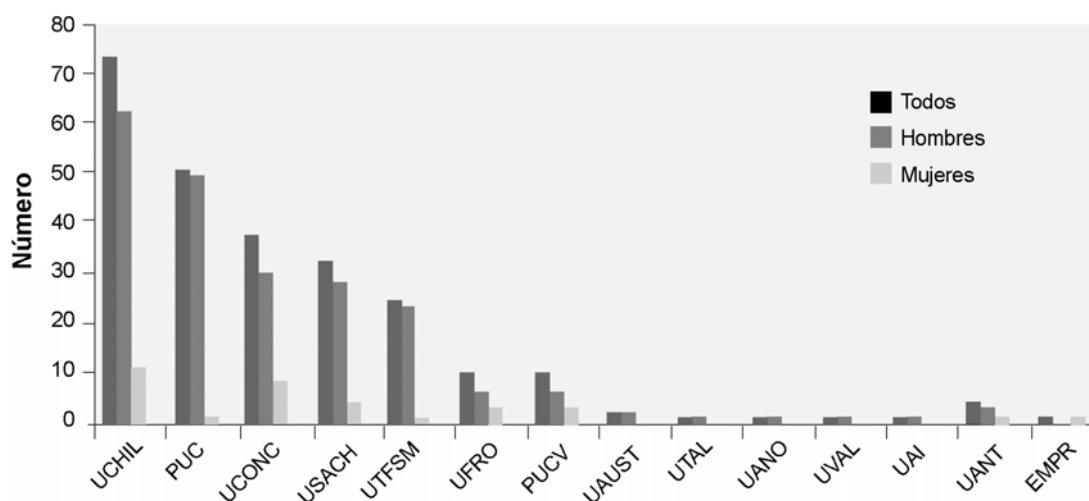


Figura 15.1. Investigadores activos por institución.

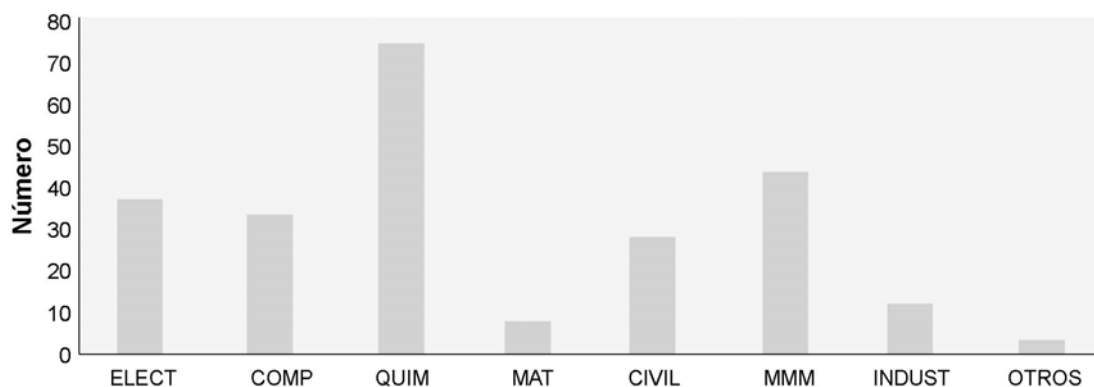


Figura 15.2. Investigadores activos por disciplina.

Llama la atención asimismo que, en áreas de gran actividad a nivel mundial como Ingeniería Eléctrica y Computación, exista en el país un número muy bajo de investigadores activos, 39 (16%) y 34 (14%), respectivamente. Estas cifras corresponden a las de una universidad del primer mundo.

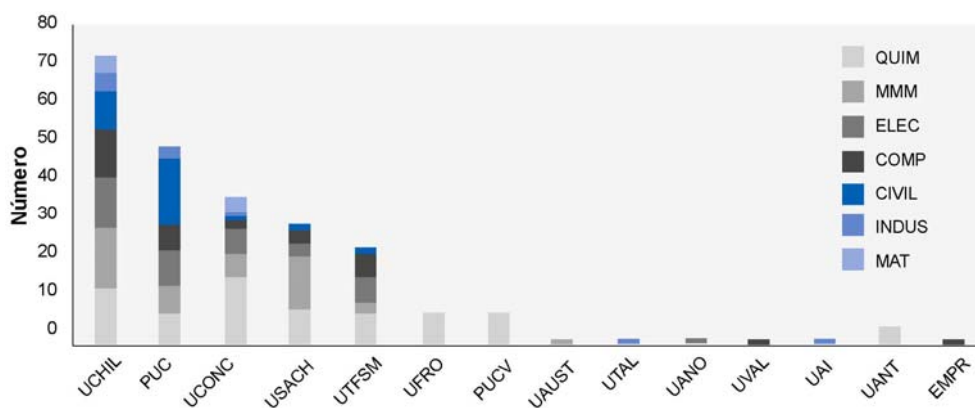


Figura 15.3. Investigadores activos por disciplina e institución.

La Fig. 15.3 muestra el número de investigadores por disciplina e institución. Sólo cinco universidades realizan investigación en parte importante o todas las disciplinas analizadas. El resto cultiva, usualmente, una de éstas. En cada disciplina la mayor parte de los investigadores se concentra en algunas de las cinco universidades.

2.2. Productividad y Características de las Investigaciones

Durante el periodo analizado los investigadores activos participaron en un total de 1.828 publicaciones ISI, las que se distribuyen por institución como se indica en la Fig.15.4. El número de publicaciones está sobreestimado ya que se sumaron las publicaciones por investigador. Luego, una misma publicación puede estar declarada por más de un investigador en el caso de tener varios coautores. Las instituciones que concentran casi 70 % de las publicaciones corresponden a la Universidad de Chile, la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad de Concepción.

El promedio de publicaciones ISI por investigador por año es 1,49. Este indicador muestra relativamente poca variación en las principales instituciones (Fig. 15.5). Resulta claro que quienes publican, lo hacen a una buena tasa anual.

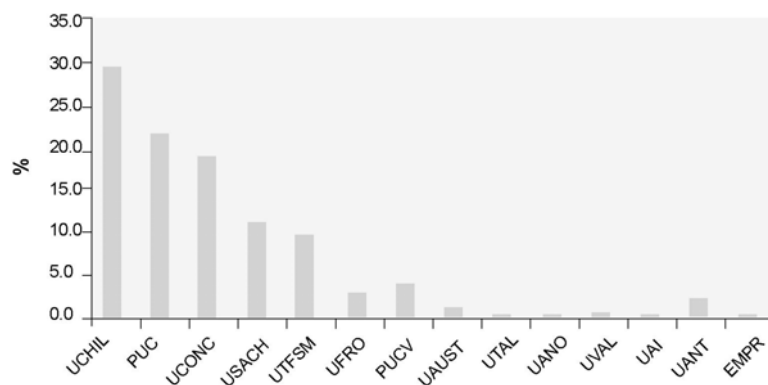


Figura 15.4. Porcentaje de publicaciones ISI por institución.

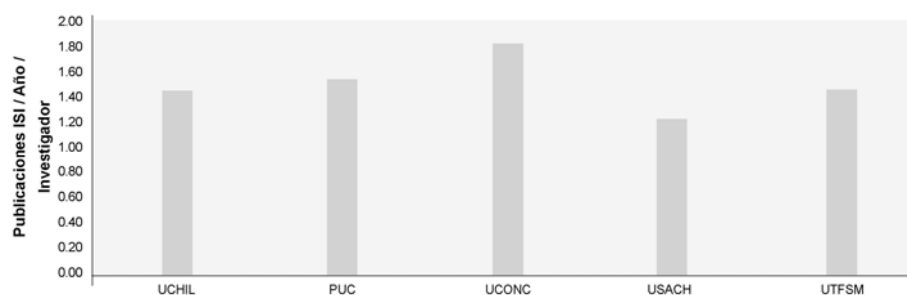


Figura 15.5. Productividad anual por investigador.

2.3 Financiamiento Nacional

El financiamiento para las Ciencias de la Ingeniería proviene, principalmente, de fuentes estatales concursables: FONDECYT, FONDEF, Núcleos Milenio y Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología. Las estadísticas indican, en el período 2000-2004, las asignaciones siguientes:

- Proyectos FONDECYT: 335;
- Proyectos FONDEF: 64;
- Núcleos Milenio: 3;
- Anillos en C&T: 2 (en 2005).

Considerando que mayoritariamente los investigadores activos están en la universidades, la Fig. 15.6 muestra la participación porcentual que las diferentes instituciones tienen en FONDECYT. Cabe destacar que las 6 universidades que obtienen una mayor cantidad de proyectos aprobados corresponden a las que mantienen más investigadores activos. Al mismo tiempo hay un número interesante (10) de universidades cuyos investigadores obtienen proyectos FONDECYT sin satisfacer los criterios mínimos de actividad establecidos para este catastro.

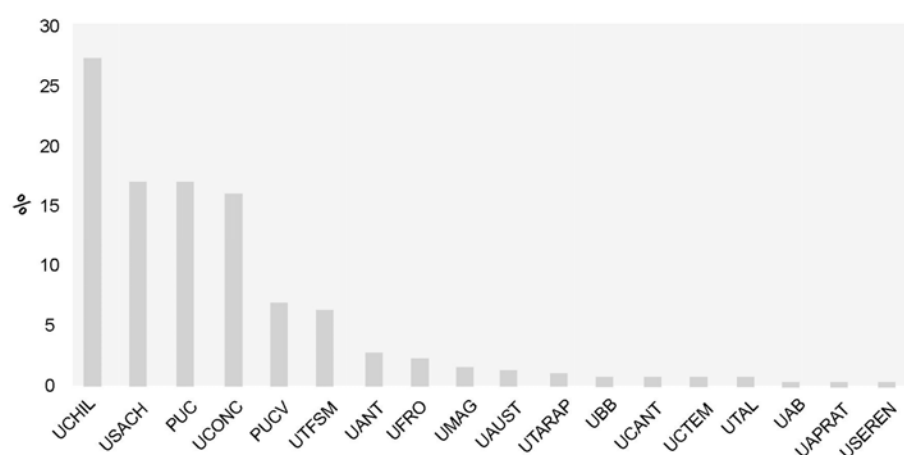


Figura 15.6. Participación en proyectos FONDECYT por universidad.

En el periodo analizado se asignaron en total 11.261 millones de pesos, monto que se distribuye por año según muestra la Fig. 15.7. Se observa un estancamiento del monto asignado durante los últimos cuatro años del periodo de análisis.

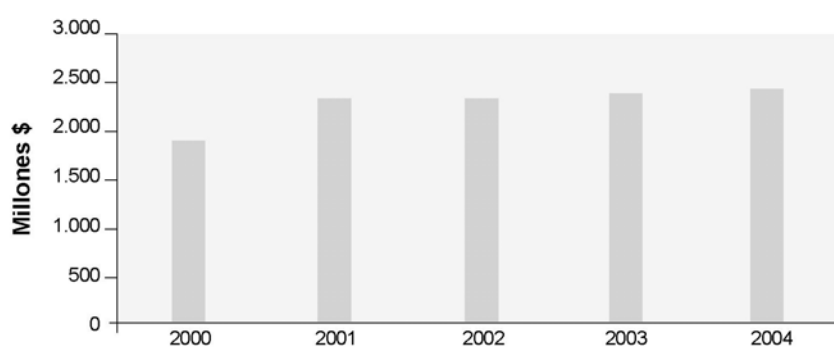


Figura 15.7. Recursos anuales provenientes de FONDECYT.

La Fig. 15.8 muestra el número de proyectos FONDEF por institución. Se observa una distribución más homogénea del porcentaje de proyectos FONDEF ganados por organizaciones en comparación con los proyectos FONDECYT (ver arriba). Cabe destacar que no solamente universidades ganan proyectos FONDEF lo cual significa que los fondos no van sólo a

investigadores activos. El monto total adjudicado en proyectos FONDEF durante el periodo 2000-2004 es de 15.027 millones de pesos.

De los ocho Núcleos Milenio existentes en el país, tres son conducidos por investigadores activos en ingeniería. Estos son:

- Centro de Investigación de la Web, encabezado por la Universidad de Chile;
- Sistemas Complejos de Ingeniería, Universidad de Chile;
- Electrónica Industrial y Mecatrónica, encabezado por la Universidad Técnica Federico Santa María.

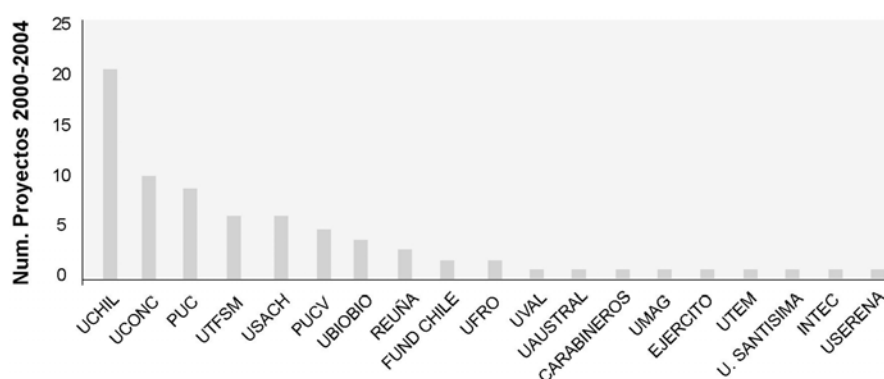


Figura 15.8. Participación en Proyectos FONDEF por universidad.

De los 14 anillos en C&T, dos corresponden al área de ingeniería (2005). Estos son:

- Análisis, modelado y optimización de la aplicación de tecnologías inalámbricas, Universidad Técnica Federico Santa María;
- Diseño de un sensor electroquímico para sulfito y determinación electroquímica de la capacidad antioxidante de fenoles en vino, Universidad de Santiago.

3. Posgrado

La Fig. 15.9 muestra la distribución de programas de posgrado, Magíster y Doctorado, acreditados por institución. Ellos corresponden a 17 programas de Doctorado y 20 de Magíster.

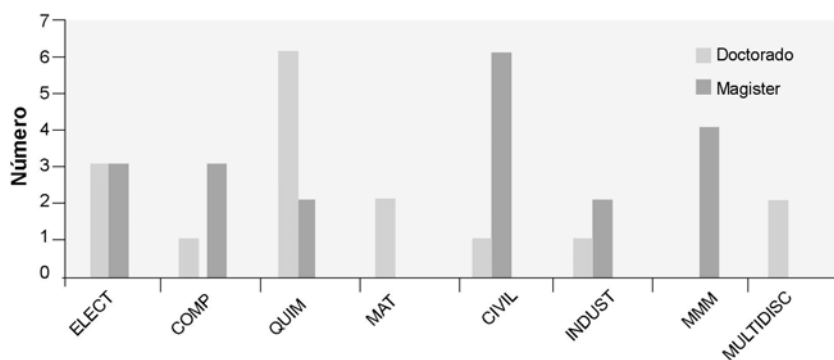


Figura 15.9. Programas acreditados de posgrado por institución.

La cantidad de programas de magíster que han sido acreditados es baja cuando se le compara con el total de programas ofrecidos por las diferentes universidades. Se estima que se requiere un estudio más detallado del tipo de oferta y demanda existente para este grado académico.

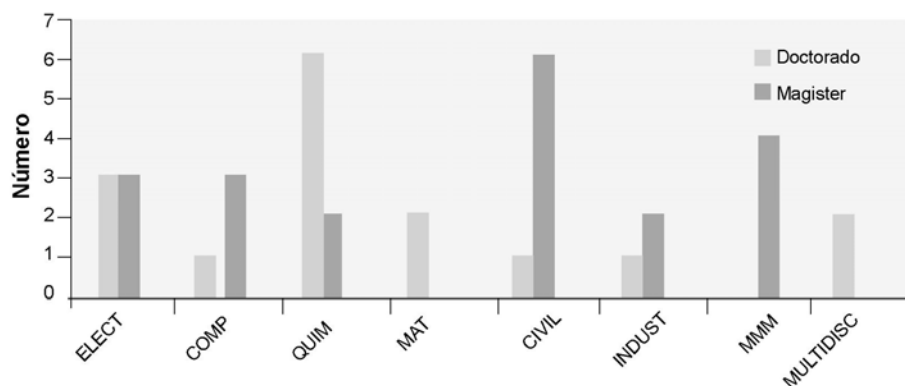


Figura 15.10. Programas acreditados por disciplina.

Ingeniería Química es la disciplina que tiene más programas de doctorado acreditados (6) y a su vez tiene la mayor cantidad de investigadores activos (Fig. 15.10). Un análisis de correlación entre el número de investigadores activos por área y el número de programas acreditados de doctorados entrega un valor de 0,87 si se excluye las disciplinas asociadas a MMM (con MMM, la correlación es 0,71). Llama la atención que MMM, con 44 investigadores activos, no tiene programa de doctorado acreditado. Sin embargo, algunos de estos investigadores participan en programas de Doctorado multidisciplinarios.

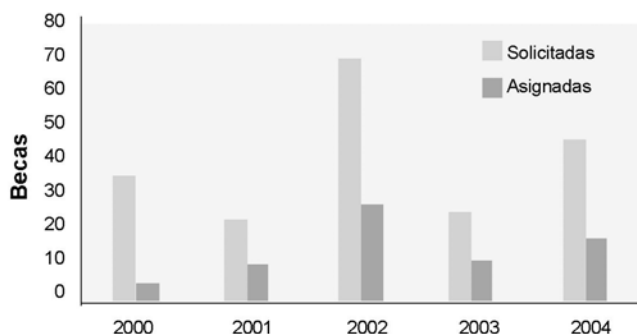


Figura 15.11. Asignación de Becas en Ingeniería.

La Fig. 15.11 muestra la distribución de las becas CONICYT solicitadas y asignadas por año. Podemos ver que el número de becas asignadas a ingeniería es claramente insuficiente, considerando la existencia de 17 programas de doctorado acreditados en el área (en el 2004 en promedio un alumno de cada programa recibió una beca).

La tasa de aceptación en Ciencias de la Ingeniería y su comparación a aquélla del sistema en general se expone en la Fig. 15.12.

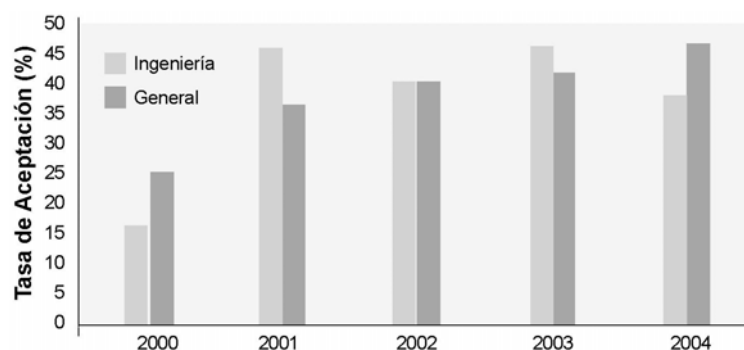


Figura 15.12. Tasas de aceptación en becas para las Ciencias de la Ingeniería y comparación con el sistema general.

Mientras el porcentaje de aceptación general creció en el periodo 2000 a 2004, el mismo indicador se ha saturado alrededor de 40% con tendencia a la baja para las Ciencias de la Ingeniería. No hay explicaciones obvias para este fenómeno, salvo inestabilidades propias a un sistema en crecimiento.

La participación de Ingeniería en total de becas asignadas por CONICYT en el período se muestra en la Fig. 15.13.

La tasa de participación se mueve alrededor de un 9% durante el periodo analizado, con la excepción del año 2002 cuando se solicitaron un número de becas mucho mayor (ver Fig. 15.12). Este número es bastante bajo, si tenemos en cuenta la cantidad de disciplinas agrupadas bajo Ciencias de la Ingeniería, la cantidad de investigación que se realiza en estas áreas en el primer mundo, y que el desarrollo tecnológico del país pasa en gran parte por tener investigadores formados en ingeniería.

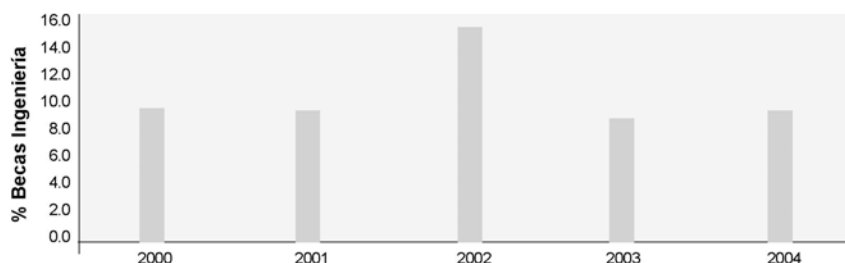


Figura 15.13. Participación de las Ciencias de la Ingeniería en el total de becas otorgadas por CONICYT.

4. Conclusiones

El desarrollo de las Ciencias de la Ingeniería recién empieza a consolidarse en el país. La última década ha visto un aumento sostenido de la calidad y cantidad de investigadores activos, es decir, de aquéllos cuyo trabajo satisface los más altos estándares de exigencia internacional. Pero, desgraciadamente, los datos y las políticas de desarrollo y fomento no parecen estar lo suficientemente focalizados como para esperar cambios significativos en los próximos años.

En efecto, un país de 15 millones de habitantes difícilmente puede aspirar a un crecimiento económico importante, alejándose paulatinamente de las materias primas como pilar básico de nuestras exportaciones, con un grupo del orden de 250 investigadores calificados en el área de las Ciencias de la Ingeniería y una inversión del orden de 40 mil dólares americanos, anualmente, por investigador activo. Más dramática es aún la situación al considerar la obvia relación entre estas disciplinas, la tecnología y su impacto económico.

Entre los elementos que parecen caracterizar actualmente a las Ciencias de la Ingeniería interesa mencionar: pocos investigadores, recursos escasos, razonable nivel de publicaciones pero de impacto relativamente bajo, modesta interacción con la investigación aplicada y baja participación en la generación de productos. Efectivamente, estas últimas características equivalen al bajo nivel observado en la producción de patentes y su impacto en los procesos económicos.

Pocas son las instituciones que sostienen, con gran esfuerzo, la base del esquema tecnológico en el país. Ellas son universidades. El financiamiento básicamente del Estado. No hay evidencia pública que permita dimensionar el esfuerzo privado en el tema de generación de conocimiento, más allá del directamente relacionado con sus operaciones inmediatas. Por la lógica propia de la academia, las apuestas son conservadoras y condicionadas en parte importante por la demanda de formación profesional. Ello genera un país pobremente preparado para reaccionar a las nuevas demandas tecnológicas, con un espectro acotado de oportunidades, frecuentemente atrasado en los nuevos conocimientos e innovaciones.

La distribución de áreas y su peso relativo corresponde más a un patrón histórico de desarrollo que a una visión de futuro. Este modelo pone barreras naturales al desarrollo por su incapacidad de reorientarse en plazos breves. Un ejemplo, entre otros, que ilustra este fenómeno son las políticas gubernamentales que impulsan la inversión, el desarrollo y la innovación en TIC (Tecnologías de Información y Comunicación) sin existir una masa crítica en el área que genere la explosión de oportunidades buscada.

La tasa de formación de recurso humano calificado es definitivamente insuficiente. El número de estudiantes de doctorado en Ciencias de la Ingeniería es apenas suficiente para sostener, en el tiempo, las necesidades de la academia. Se requieren políticas radicales para generar un nuevo escenario de oportunidades, atraer a jóvenes talentos para estudios de posgrado e introducirlos como agentes de cambio tanto en la academia como en la industria. Actividades, como la ingeniería, que generan gran atractivo profesional entre los mejores estudiantes del país no han desarrollado una contraparte de tamaño coherente en el ámbito de las ciencias aplicadas, la tecnología y la innovación. Nuevamente, la falta de una visión limita muchas oportunidades para nuestra sociedad.

El desafío principal en la fase siguiente del desarrollo de la ciencia e investigación tecnológica en Chile se vislumbra principalmente ligado a la creación, promoción y valoración de su demanda en el mercado laboral. En esa proyección, es posible estimar el papel central que los investigadores tendrán en nuevos sectores de la economía, creando y fomentando el espíritu innovador que tomará forma en nuevas tecnologías patentables y comerciables.

Luis Aguirre (Coordinador), René Garreaud, Francisco Hervé, Edgar Kausel, Patricio Moreno, María Victoria Soto, Irene Tapia y Gonzalo Yáñez

Resumen- Se analiza el tema Ciencias de la Tierra (CT) centrado en tres sub-disciplinas: Geología, Geofísica y Geografía. En Geofísica se cubren las áreas de Tierra Sólida y Ciencias Atmosféricas y, en Geografía, la Geografía Física. El análisis comprende el período de 5 años entre 2000 y 2004.

Según las condiciones establecidas por el Comité (esencialmente 2 publicaciones ISI en el período) se registran 155 investigadores activos. De éstos 22% corresponde a mujeres y 78% a hombres; el promedio de edad es de 46 años. El 80% de esos investigadores posee el grado de doctor. Las universidades concentran el 75% de estos científicos mientras que 25% labora en empresas estatales. La Geología, con un 52% de ellos, es la disciplina mayoritaria.

Un total de 680 publicaciones en el período indica una productividad de *ca.* 1,0 publicación/investigador/año. Las CT han recibido fondos provenientes de FONDECYT Regular por un total de \$ 2.700 millones y se han adjudicado 7 proyectos FONDEF por \$ 1.409 millones en el período. En el ámbito internacional se mantiene una sólida colaboración con universidades y centros de investigación, particularmente con países de Europa, Norte y Sud América y Asia.

El Capítulo analiza detalladamente las sub-disciplinas en lo referente a sus principales líneas de trabajo, los grupos de investigación existentes y la infraestructura disponible.

Existen programas acreditados de Doctorado en Ciencias, mención Geología, en la Universidad de Chile y en la Universidad Católica del Norte, Antofagasta. El total de estudiantes en estos programas es actualmente de 32 habiéndose graduado 8 en el período. Existen además programas de Magíster en varias universidades.

El diagnóstico global de las CT señala fortalezas y debilidades destacando entre las primeras el carácter de “laboratorio natural” de nuestro territorio, el impacto de la disciplina en la prospección de recursos minerales y la existencia de investigadores de nivel internacional y, entre las segundas, el escaso reconocimiento de las CT por parte de la comunidad nacional, la baja masa crítica de investigadores y la falta de recursos para investigaciones de punta. Pese a lo anterior, se destacan ejemplos de investigaciones con gran potencial social y económico realizadas en el marco del descubrimiento de reservas minerales y del riesgo sísmico.

El Capítulo concluye con proposiciones específicas acerca de políticas y acciones a realizar a nivel nacional destacando aquellas referentes a la formación e incorporación de jóvenes investigadores a las labores académicas; a la interacción de centros de investigación universitarios con empresas nacionales; al incremento de presupuestos para proyectos concursables, en especial FONDECYT y al fortalecimiento de instituciones técnicas, *e.g.* Servicio Geológico Nacional, Servicio Sismológico.

Introducción

El capítulo analiza el tema Ciencias de la Tierra centrado en tres sub-disciplinas mayores: la Geología, la Geofísica y la Geografía. El tratamiento de la Geofísica ha considerado la división entre las áreas de Tierra Sólida y de Ciencias Atmosféricas. En el caso de la Geografía el estudio contempla sólo los aspectos relacionados con la Geografía Física. Esta estructura del tema Ciencias

de la Tierra difiere de la adoptada en el estudio *Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena* (Academia Chilena de Ciencias, 1993) donde las especialidades de Geoquímica, Geología Aplicada a la Ingeniería, Hidrogeología y Geología/Geofísica Marina fueron tratadas en forma separada.

1. Historia Reciente de las Ciencias de la Tierra en Chile

Chile se ubica a lo largo del contacto convergente de las placas de Nazca, Antártica y Sudamérica. La interacción de ellas formó la Cordillera de los Andes, el segundo orógeno de la Tierra en altura y extensión después de los Himalayas, y el único obstáculo al flujo atmosférico en el Hemisferio Sur. Esta circunstancia determina muchas de las características geológicas, geofísicas y geográficas esenciales del territorio tales como la sismicidad, el volcanismo, el clima, y la abundancia y variedad de sus depósitos minerales entre otras. Por la misma razón, el territorio de Chile es un “laboratorio natural”, altamente reputado internacionalmente para el estudio de los fenómenos geológicos y geofísicos que tienen lugar en zonas de subducción a lo largo de márgenes continentales activos y de los fenómenos oceanográficos y meteorológicos relacionados con la ubicación de Chile dentro de los sistemas anticiclónicos-ciclónicos del Pacífico y con los efectos atmosféricos de la Cordillera de los Andes.

El desarrollo de la Geología en Chile se inició durante la primera mitad del siglo 19 con la llegada de naturalistas como Claudio Gay, Ignacio Domeyko, Amado Pissis y otros. Los trabajos de Charles Darwin durante la expedición del Beagle constituyeron un hito mayor en este desarrollo. A comienzos del siglo 20 la Geología y la Geofísica progresaron gracias a la valiosa contribución del Dr. Juan Brügger en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y de Fernando Montessus de Ballore en el Servicio Sismológico de Chile. Posteriormente, los profesores de la Universidad de Chile Humberto Fuenzalida Villegas y Jorge Muñoz Cristi promovieron el desarrollo de la Paleontología y Petrología respectivamente. Un hito trascendente fue la creación del Servicio Sismológico de Chile con el cual se sientan las bases para el desarrollo de la Geofísica en el país. En 1957 se crearon la Escuela de Geología de la Universidad de Chile y el Instituto de Investigaciones Geológicas, encargado del levantamiento de la Carta Geológica básica y temática del país. Esas instituciones se transformaron posteriormente en el Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile (1965) y el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) (1981), respectivamente. La enseñanza de la geología se amplió más tarde con la creación de los Departamentos de Geociencias de las universidades Católica del Norte de Antofagasta (1971) y de Concepción (1972), que confieren el título profesional de geólogo, y con el desarrollo de actividades geológicas en las universidades de Atacama, La Serena, Santiago y Valdivia. La enseñanza de posgrado en Geología se inicia en 1968 en la Universidad de Chile con la creación del Programa de Doctorado en Ciencias, mención Geología y se amplía en 1975 con el establecimiento de un Magister en Ciencias con mención en Geología. Paralelamente, en el Instituto de Geofísica de la Universidad de Chile, aproximadamente a partir de 1956, se impulsan las actividades de investigación consolidándose el grupo de Sismología. La fundación de la Sociedad Geológica de Chile en 1962, institución dedicada al cultivo y a la promoción del conocimiento de las Ciencias de la Tierra, constituye otro hito en el desarrollo de la geología en el país. El Colegio de Geólogos de Chile, creado por Ley N°17628, data de 1972.

En 1993, con ocasión del Congreso Internacional de ICSU efectuado en Chile, la Academia de Ciencias del Instituto de Chile trabajó en la preparación de un estudio acerca del estado de las ciencias en el país el cual se publicó en forma de un libro titulado “*Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena*”. Uno de sus capítulos se refiere a las Ciencias de la Tierra y contiene un detallado bosquejo histórico. Desde esa fecha hasta el presente el desarrollo de la Geología ha experimentado notorios avances que se resumen a continuación.

En lo referente a la infraestructura analítica, el Departamento de Geología de la Universidad de Chile ha incorporado, con la cooperación del Institut pour la Recherche et le Développement (IRD), un Laboratorio de Paleomagnetismo y uno de Modelamiento Analógico. Por otra parte, se ha incorporado a ese departamento una microsonda electrónica CAMECA Semprob a la que se sumará un microscopio electrónico de transmisión (TEM) recientemente adquirido por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas para constituir un Laboratorio de Microscopía Electrónica y Microsonda. Recientemente se instaló un Laboratorio Analógico de Procesos Geoquímicos Supérgeos en el Departamento de Geología. La Universidad Católica del Norte, Antofagasta, ha recibido un fuerte apoyo en equipamiento a través de los programas MECESUP. El SERNAGEOMIN cuenta además, desde 2000, con un Laboratorio de análisis geocronológico por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ que ha venido a completar las facilidades del método K-Ar que ya existían en ese Servicio. A ello se suma la adquisición reciente de un moderno equipo de difracción de rayos X (XRD). También en lo referente a infraestructura debe mencionarse la gran expansión de las facilidades informáticas y su aprovechamiento específico en los temas relativos a las Ciencias de Tierra tanto en las universidades como en las empresas. La publicación por parte del SERNAGEOMIN en 2002 del nuevo mapa geológico de Chile 1 : 1.000.000 en versión digital que reemplaza a la versión de 1982, es una valiosa contribución al conocimiento del territorio.

En el campo de la docencia cabe destacar el auge alcanzado en los últimos años por los programas de posgrado en Ciencias con mención en Geología de la Universidad de Chile. Luego de un largo período de sequía, el doctorado, acreditado sucesivamente en 2000 y 2002, cuenta en la actualidad (2005) con 25 estudiantes activos en tanto que 8 estudiantes se han graduado desde 2000 al presente. De ellos, tres han efectuado un doctorado en co-tutela entre la Universidad de Chile y las universidades de Toulouse y Rennes en Francia. A ellos hay que agregar un número importante de estudiantes nacionales que han obtenido su grado en diversas universidades del extranjero. El Programa de Magister en Ciencias, mención Geología, ha experimentado también un fuerte crecimiento con un total de 27 estudiantes graduados durante el período 2000-2004 y una matrícula actual (2005) de 24 alumnos. Un Programa de Doctorado en Geología fue creado en la Universidad Católica del Norte de Antofagasta en 2000 y cuenta en la actualidad con la acreditación de la CONAP y 9 estudiantes inscritos. En esa misma universidad se estableció en 1996 un Programa de Magister en Geología Económica, mención Exploración.

El interés por los estudios andinos se ha visto reflejado en el éxito creciente de los Congresos Geológicos Chilenos que congregan gran número de científicos y profesionales nacionales y extranjeros. Con posterioridad a 1993 se han efectuado cuatro de estos congresos con una asistencia media cercana a las 800 personas. A ello se suma, en el plano internacional, la celebración trienal del Simposio Internacional de Geodinámica Andina (ISAG) y del Simposio Sudamericano de Geología Isotópica que se han constituido en foros de alto nivel científico. Las investigaciones antárticas se han ampliado en los últimos años hacia regiones interiores del continente.

Desde 1993, nuevas orientaciones y líneas de investigación han aparecido en Ciencias de la Tierra a nivel mundial. La Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) ha señalado recientemente las siguientes orientaciones prioritarias a desarrollar en este campo:

Entender y mantener intacto para futuras generaciones el registro de la historia de nuestro planeta, el conocimiento de su estructura y funcionamiento y del equilibrio de sus sistemas dinámicos.

Hacer un uso sustentable de la riqueza y diversidad de la Tierra para el beneficio y prosperidad de la humanidad.

Para ello, según la IUGS, se debería focalizar la investigación en ocho temas principales:

- El agua subterránea, un reservorio para un planeta sediento
- Peligros geológicos; cómo minimizar el riesgo y maximizar el conocimiento público
- La Tierra y la Salud, creando un ambiente más sano
- El Clima y su registro geológico
- Los recursos naturales no renovables, su uso inteligente y la búsqueda de maneras más limpias de recuperarlos
- Megaciudades, construcciones más seguras edificando en profundidad
- La Tierra profunda, del núcleo a la corteza
- Los océanos: su uso en beneficio de la humanidad y la prevención de interrupciones en los márgenes continentales

En Chile esas orientaciones aparecen fuertemente ligadas a líneas de investigación relacionadas con los problemas ambientales y de riesgos, lo que les confiere un marcado carácter transversal vinculado a disciplinas como las Ciencias Atmosféricas, la Biomedicina, la Ingeniería Civil, la Hidráulica y otras. Esas líneas de investigación comienzan a desarrollarse en el país por parte de los geólogos y geofísicos. Se constata, sin embargo, la existencia de áreas netamente deficitarias tales como la Hidrogeología, la Paleontología y la Volcanología Física.

En el campo de la cooperación internacional destaca el importante aporte a la investigación y docencia representado por el convenio entre el Departamento de Geología de la Universidad de Chile y el IRD iniciado en 1992 y que ha continuado renovándose cada cuatro años.

El desarrollo de la *Geofísica de la Tierra Sólida* tiene larga data en Chile, especialmente en lo relacionado con geofísica de prospección minera y sismología. Ya en 1822, María Graham, con ocasión de su visita a Valparaíso, describió con extraordinario detalle los efectos del terremoto de Valparaíso de 1822 y sus réplicas, información que ha permitido estimar las características y la magnitud de dicho evento. En forma similar Charles Darwin realizó interesantísimas observaciones del terremoto de 1835 de Valdivia y detalló los sollevamientos costeros ocurridos a raíz del gran terremoto de Concepción de 1830. Desde el descubrimiento de Chile por Almagro y Valdivia se cuenta con descripciones de los grandes terremotos del período de la Colonia, realizadas por autoridades civiles y religiosas.

Desde la fundación de la Universidad de Chile en 1842, la preocupación por las Ciencias de la Tierra se acrecentó con motivo de la creación de la carrera de Ingeniería de Minas. Cursos de Mineralogía y Prospección Minera fueron incorporados a los planes de estudio. Un papel predominante en aquella época lo marcó la llegada al país de don Ignacio Domeyko. A mediados del siglo 19, don Luis Troncoso, corresponsal de la Universidad de Chile en La Serena, construyó un sismógrafo muy ingenioso, el que junto al equipo traído desde EE.UU. por el Lugarteniente Gillis en 1850, constituyen los primeros equipos capaces de registrar sismos de envergadura en nuestro país. En la misma época Paulino del Barrio, primer Ingeniero de Minas egresado de la Universidad de Chile, se dedicó con entusiasmo y rigurosidad a reunir información científica sobre la sismicidad del territorio, constituyendo su trabajo la base de la historia sísmica de Chile.

A raíz del gran terremoto de Valparaíso de 1906, el gobierno decidió crear en 1908 el Servicio Sismológico Nacional con el sismólogo francés Montessus de Ballore como su primer Director. El Servicio pasó a ser el Instituto de Sismología y posteriormente el actual Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, desarrollando docencia e investigación en esta disciplina.

Allí se ha acumulado cuantiosa información sobre los sismos históricos chilenos lo que ha permitido realizar investigaciones en forma sistemática para explicar las causas y efectos de estos fenómenos. Actualmente este Departamento es el único en el país que ofrece un Magíster en Geofísica de la Tierra Sólida, con un número de estudiantes del orden de 5 por año. Otras instituciones como el SERNAGEOMIN, la Universidad de Concepción y la Universidad de Tarapacá, mantienen pequeños grupos de investigación, dedicados principalmente a la prospección geofísica, peligros naturales y a la sismología. El grupo de Tierra Sólida del Departamento de Geofísica está constituido por 6 académicos de jornada completa y tres de jornada parcial, todos con un grado de doctor obtenido en prestigiosas universidades de EE.UU, Europa y México. Si bien la investigación en geofísica del interior de la Tierra se concentra principalmente en ésta y algunas otras universidades, es importante destacar que hay organismos estatales como el Servicio Nacional de Geología y Minería, la Empresa Nacional del Petróleo y la Corporación del Cobre de Chile, y aún empresas privadas del ámbito minero, que contribuyen generando conocimientos en esta área. Un número importante de profesionales egresados del Magíster del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile trabaja precisamente en estas instituciones y empresas nacionales.

El establecimiento, desde la década del 60, de programas de colaboración con centros de investigación extranjeros, principalmente de Estados Unidos, Alemania, Francia, Inglaterra, Japón y Canadá, ha significado no sólo el trabajo conjunto de geólogos y geofísicos nacionales con extranjeros de alto nivel, sino también y muy importantemente, la venida de investigadores en distintas disciplinas que además colaboran intensamente en la docencia.

Durante el último decenio la evidente relación de la sismología con la ingeniería sismorresistente ha producido un fuerte acercamiento de sismólogos e ingenieros. En el pasado se estimaba que los sismos de subducción eran los que marcaban las características principales que debían ser consideradas en las normas sismorresistentes. Acelerogramas registrados principalmente con ocasión del terremoto de Valparaíso de 1985, son ampliamente utilizados por los especialistas para estimar las solicitaciones sísmicas esperadas en un sitio dado. En años recientes se ha llegado a establecer que los sismos intraplaca de profundidad intermedia, deben ser considerados con especial cuidado, pues su poder destructivo a igual magnitud y distancia parece ser mayor que los sismos clásicos de subducción. Su origen aún no es claro y la causa de la aparente mayor destructividad es un tema abierto. Hay planteamientos e ideas al respecto, pero la situación es aún confusa y para nada concluyente. Sismólogos e ingenieros con la colaboración de un elevado número de estudiantes de los departamentos de Ingeniería Civil y de Geofísica de la Universidad de Chile han abordado temas de Tesis relacionados con este problema, lo que permitirá en el futuro cercano resolver estas incógnitas que preocupan a geofísicos e ingenieros. ACHISINA (Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica), está especialmente preocupada de este tema. Completados estos trabajos, es probable que se propongan modificaciones a la norma chilena vigente. Esos y otros estudios interdisciplinarios promueven la incorporación de académicos de variadas disciplinas, enriqueciendo y estimulando la investigación en Ciencias de la Tierra.

En los últimos cinco años, con la incorporación de geofísicos franceses, se han abierto nuevas líneas de investigación en el campo de la geodinámica, lo que permitirá ligar procesos de distintas escalas temporales.

El interés por las *Ciencias Atmosféricas* en el país data de mediados del siglo 19 cuando se instalan las primeras estaciones de observación y se crea el Observatorio Nacional ubicado en el Cerro Santa Lucía y las primeras estaciones de observación en La Serena, Valdivia y Punta Arenas. Estas observaciones permitieron visualizar los rasgos más sobresalientes en el comportamiento atmosférico en lugares específicos. Dentro de ese período destaca la publicación, en 1861, de la *Meteorología de Chile*, de don Ignacio Domeyko.

En una segunda etapa, que se desarrolla entre comienzos de siglo y la década del 30, hubo un significativo mejoramiento en la red nacional. Siguió un par de decenios en que hay pocas evidencias escritas de importancia, salvo la *Barografía de Chile*, de Miguel Wittaker, en 1942. Los trabajos climatológicos del Profesor Elías Almeyda Arroyo y la publicación, en 1950, del capítulo "*Clima*" en la Geografía Económica de Chile de la Corporación de Fomento de la Producción por el Prof. Humberto Fuenzalida Villegas, marcaron una nueva etapa en estas materias. En ese período la actividad se concentró en estudios climatológicos descriptivos que entregaron las primeras versiones regionalmente integradas del clima de Chile y que fueron desarrolladas principalmente por geógrafos y agrónomos.

La creación de un Grupo de Investigación en Meteorología en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile en 1961 dio origen al actual Grupo de Meteorología del Departamento de Geofísica de esa misma Facultad.

Hacia fines de los años sesenta la Universidad de Concepción envió a dos ingenieros jóvenes a Francia con el objeto de proseguir estudios de postgrado en Meteorología. A su regreso ellos dieron origen a un segundo grupo de investigación en el área en el Instituto de Física de esa Universidad.

Con el desarrollo de la aviación comercial, después de la Segunda Guerra Mundial, la Oficina Meteorológica de Chile, convertida actualmente en la Dirección Meteorológica, pasó a depender de la Fuerza Aérea a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil. Su esfuerzo se concentró en el servicio operacional a la aviación, no desarrollándose la investigación.

En el campo de las Ciencias Atmosféricas se han realizado avances notorios en relación a 1993. Desde entonces se han consolidado los grupos de investigación tradicionales tales como el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile y el Departamento de Física de la Atmósfera y Océano de la Universidad de Concepción y han surgido además seis núcleos nuevos (Universidad de La Serena, Universidad Católica del Norte, Dirección Meteorológica de Chile, Centro de Modelamiento Matemático-Atmósfera de la Universidad de Chile, Universidad de Magallanes, Universidad Austral de Chile y Pontificia Universidad Católica, geografía-agronomía).

Otro cambio registrado en relación a 1993 es la creación de una Licenciatura y carrera profesional en meteorología que se imparte desde 1997 en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valparaíso. Los egresados de esa carrera, alrededor de cinco por año, se desempeñan generalmente en empresas mineras y ambientales donde la información meteorológica es relevante, o en la Dirección Meteorológica de Chile.

La enseñanza de la *Geografía* en la Universidad de Chile fue organizada por el geógrafo alemán Hans Steffen entre 1889 y 1890, quien formó las primeras generaciones de profesores que realizaron investigaciones en la disciplina. Entre los discípulos de Steffen, el Profesor Luis Puga, en la década de 1930 del siglo recién pasado, tuvo el mérito de dar independencia a los estudios de Geografía y de formar la principal biblioteca geográfica del país. El alemán Dr. Juan Brügger modernizó la enseñanza de la Geografía Física en Chile. Su discípulo, el Profesor Humberto Fuenzalida, introdujo los conceptos y metodologías de la escuela francesa, pero manteniendo las raíces germanas. Además, institucionalizó los trabajos prácticos y de terreno, transformándose en el hito principal de la historia de la geografía chilena.

H. Steffen y J. Brügger dieron inicio y continuación a la tradición alemana en el ámbito universitario chileno con la creación del Instituto Pedagógico. La creación del Instituto de Geografía, en la Facultad de Filosofía y Educación de la Universidad de Chile, data de diciembre de

1942. En la década de 1950, los profesores Humberto Fuenzalida V. y Jean Borde desarrollaron un movimiento de renovación de la geografía nacional que fructificó en la formación y acción de la brillante generación de geógrafos de los años sesenta.

En el Instituto de Geografía y en el Departamento de Geografía del Instituto Pedagógico de la Universidad de Chile se desarrolló posteriormente un vigoroso movimiento de formación, investigación y difusión geográfica que condujo a la creación de centros de docencia e investigación en provincias, a la presencia renovadora del enfoque geográfico en los organismos públicos y de organización territorial, y a la renovación de los contenidos geográficos en la enseñanza básica y media. Desde el comienzo de los años setenta, la enseñanza e investigación son armonizadas con modernos métodos, incorporándose laboratorios, técnicas de teledetección y sistemas computacionales en forma progresiva. Durante los primeros años de la década de 1980, la unidad académica de Geografía perteneció a la Facultad de Filosofía y Humanidades. Debido a una reestructuración interna nacional de la Universidad, pasó en 1985 a formar parte de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, sede donde se ha establecido continuando con su desarrollo disciplinario y académico.

La enseñanza de la Geografía en la Pontificia Universidad Católica de Chile se inició en 1943 con la creación de la Escuela de Pedagogía, dependiente de la Facultad de Filosofía, Castellano e Historia y Geografía, para la formación y titulación de profesores para la Enseñanza Media del país. Durante sus primeros años de trabajo, estos departamentos quedaron bajo la tuición de la recién creada Facultad de Ciencias de la Educación. Durante los 27 años que median entre 1943 y 1970, momento en que se crea el Instituto de Geografía, el Departamento de Historia y Geografía aportó un gran número de profesionales al país como profesores de Historia y Geografía y Educación Cívica. En abril de 1970 se funda el Instituto de Geografía en la Pontificia Universidad Católica de Chile, separándose del Departamento de Historia y Geografía dependiente de la Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación, para dar origen a dos institutos independientes. Actualmente ambos institutos, juntos al de Ciencia Política, conforman la Facultad de Historia, Geografía y Ciencia Política de esta universidad.

En la Universidad de La Serena la enseñanza de la Geografía comenzó en los primeros años de la década de 1990, aunque las actividades de nivel académico datan aproximadamente de 1970. La Geografía constituye allí una unidad del Departamento de Ciencias Sociales, dependiente de la Facultad de Ciencias Sociales y Económicas.

2. Análisis global de las Ciencias de la Tierra en Chile

2.1. Metodología

Una lista general de personas que trabajan en Ciencias de la Tierra (sólo nombres y en algunos casos afiliaciones) se preparó en primera instancia sobre la base de los antecedentes aportados por los miembros de este Capítulo Temático, el Directorio de Investigadores en “*Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena*” (Academia de Ciencias, 1993), y los directorios de académicos y profesionales de diversas instituciones. Esta lista general incluye 210 nombres.

Para cada una de las personas de la lista general, se obtuvo enseguida su número de publicaciones en revistas ISI entre 2000 y 2004 (ambos inclusive) a través de una búsqueda en la página ISI Web of Science, de la información recibida del Observatorio de Ayuda para el Directorio de Investigadores de CONICYT, y de las páginas web de diversas instituciones y personales. Como criterio de búsqueda se empleó el primer apellido, la inicial del primer nombre de las personas y su nacionalidad, lo cual podría, en algunos casos, producir una sub-estimación del número de

publicaciones obtenidas en este proceso en relación al número real de publicaciones. Adicionalmente, se envió por correo electrónico una encuesta preparada por los integrantes del Capítulo a las personas registradas en la lista general.

El criterio de selección de “Investigadores Activos” en Ciencias de la Tierra se estableció sobre la base de al menos 2 publicaciones ISI en los últimos 5 años (2000-2004) o, alternativamente, una publicación ISI en ese período acompañada por uno o más de los siguientes requisitos: (a) autoría de capítulos de libros científicos de la especialidad, nacionales o internacionales, con Comité Editorial; (b) autoría o edición de un libro científico de la especialidad; (c) obtención de un proyecto concursable de investigación, nacional o internacional, en calidad de Director, Investigador Responsable o Co-Investigador Reeemplazante; (d) publicaciones ISI aparecidas o en prensa durante el año 2005. Al aplicar este filtro a la lista general, se obtuvo la lista de investigadores, compuesta por 155 personas que constituye la base para el Directorio de Investigadores en Ciencias de la Tierra.

De los 155 investigadores en Ciencias de la Tierra, se ha logrado obtener información para 110. Esta sub-muestra (72%) es la base utilizada para los análisis estadísticos que se presentan en esta sección.

2.2. Número y características de los investigadores

De acuerdo al criterio de selección adoptado existirían en la actualidad cerca de 155 investigadores activos en Ciencias de la Tierra en Chile. Lamentablemente, este número NO puede ser comparado con estudios anteriores *e.g.* “Análisis y proyecciones de la Ciencia Chilena” (1993), “Directorio 1996-1997, Investigadores de Ciencias en Chile” (Academia de Ciencias, 1998) pues los criterios de inclusión empleados en ellos no son equivalentes. En particular, el análisis de 1993 da cuenta de 115 investigadores, pero el criterio de selección en ese caso no contempla número de publicaciones ni especifica la naturaleza de éstas. Por otra parte, las sub-disciplinas incluidas no son las mismas (en 1993 se incluyeron Ingeniería Antisísmica e Hidrología, no consideradas en el presente análisis, el que sí contempla Paleoclimatología). Las figuras 16.1, 16.2 y 16.3 muestran la distribución a nivel global, *i.e.* independiente de la sub-disciplina, de investigadores según género, formación académica y edad.

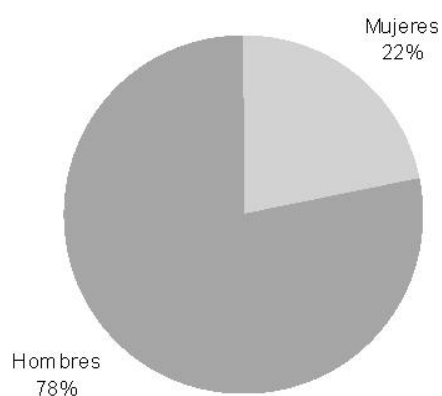


Figura 16.1. Distribución según género

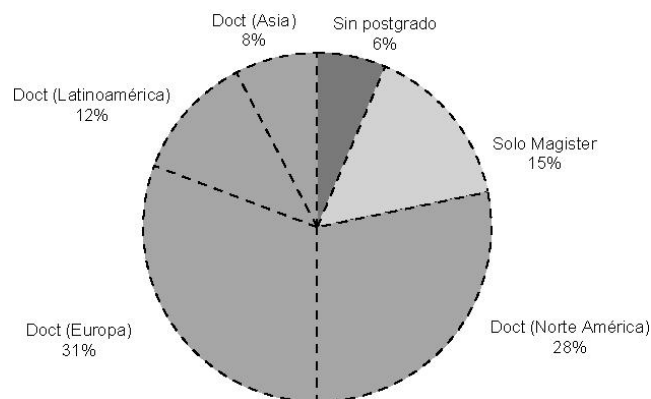


Figura 16.2. Distribución según formación académica

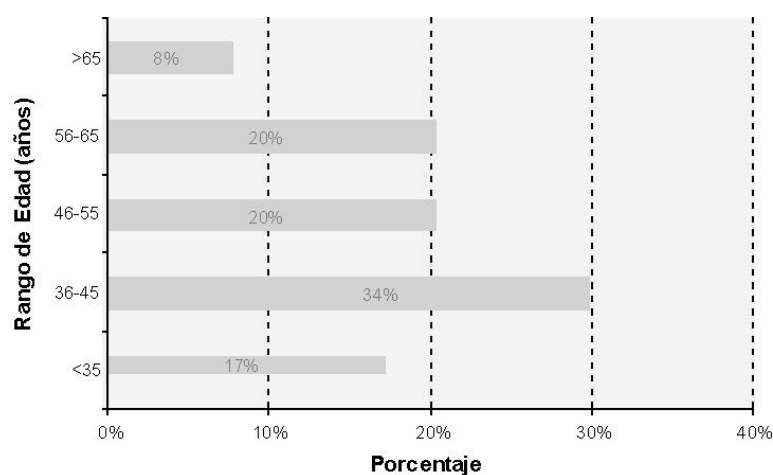


Figura 16.3. Distribución según edad

De los gráficos se destaca la baja proporción de investigadores mujeres, el alto porcentaje de investigadores con grado de doctor (78%), y una favorable distribución por edades (el rango de edad bajo los 35 años está posiblemente subrepresentado debido al criterio de selección). La edad promedio de los investigadores en Ciencias de la Tierra es 46 años. Es también destacable el porcentaje similar de grados doctorales obtenidos en Norteamérica (EEUU y Canadá) y Europa.

Un aspecto que también se incluye en la lista de investigadores es su institución primaria (algunos pueden trabajar en más de una institución) y su tipo de afiliación. Sobre el 90% de los investigadores declara un cargo permanente, con un escaso número de posdoctorandos. Sin embargo, algunos investigadores podrían haber declarado “cargo permanente” guiados más bien por la continuidad en el tiempo de su trabajo en una determinada institución, independiente de su jornada (parcial *versus* completa) o su relación contractual (honorarios *versus* planta).

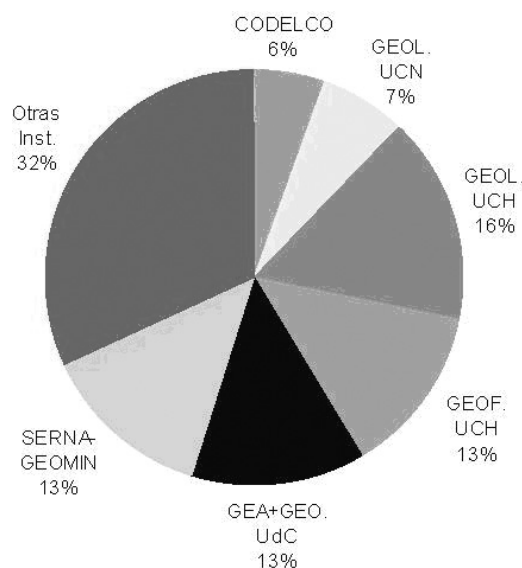


Figura 16.4: Distribución por Institución (primaria)

La Figura 16.4 muestra la distribución de investigadores según institución primaria. En total, se identificaron 14 instituciones en las cuales existen investigadores en Ciencias de la Tierra; aquellas con menos de 3 individuos se agruparon en “Otras Instituciones”. Aún en esos casos, es probable que los investigadores interactúen y sean apoyados por equipos más numerosos de técnicos. En términos globales, 75% de los investigadores desarrolla su trabajo en universidades, mayormente concentrados en la Universidad de Chile (34% del total), Universidad de Concepción (20%) y Universidad Católica del Norte, Antofagasta (9%). El restante 25% de los investigadores realiza su trabajo en empresas (CODELCO, ENAP/SIPETROL, CIMM), el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), y centros de investigación independientes (como el CEC en Valdivia).

Reconociendo que la definición de investigadores no es homologable entre el presente estudio y el de 1993, es interesante verificar una relativa similitud en la distribución de afiliaciones. Por ejemplo, en ambos casos, la Universidad de Chile alberga a cerca de un tercio de los investigadores, seguida por la Universidad Católica del Norte, Antofagasta y la Universidad de Concepción. El número de investigadores en empresas y SERNAGEOMIN se ha reducido entre 1993 y el 2005 (de 35% a 20%), posiblemente debido al criterio más estricto de clasificación de investigadores en el estudio actual.

En cuanto a la distribución de investigadores en áreas específicas dentro de Ciencias de la Tierra, se han considerado las sub-disciplinas reconocidas por FONDECYT para sus proyectos regulares: Geología y Mineralogía, Geofísica, Ciencias Atmosféricas y Meteorología, Geoquímica y otras disciplinas (*e.g.*, Paleoclimatología). FONDECYT también incorpora Oceanografía dentro de Ciencias de la Tierra, pero en este Capítulo Temático NO hemos considerado investigadores en esa disciplina.

La Figura 16.5 muestra la distribución de investigadores por sub-disciplina. Al igual que el año 1993, algo más de la mitad de los investigadores en Ciencias de la Tierra trabaja en algún área de Geología (estratigrafía, petrología, etc.). Particularmente notable es el crecimiento en Ciencias Atmosféricas y Meteorología, de un 7% el año 1993 a 20% el 2005, mientras que Geofísica (tierra sólida) y Geoquímica reducen su participación.

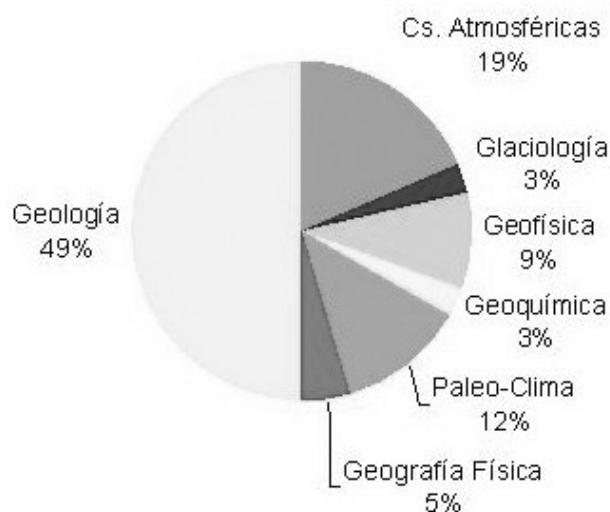


Figura 16.5. Distribución por sub-disciplina

2.3. Productividad Científica

La suma de publicaciones ISI entre 2000 y 2004 de cada uno de los *circa* 155 investigadores en Ciencias de la Tierra es 680, lo que se traduce en una productividad individual promedio muy cercana a 1 publicación/año. La Figura 16.6 muestra el histograma del número de publicaciones ISI en los últimos 5 años (expresadas como publicaciones/año), donde se observa un sesgo hacia valores bajo el promedio global. Así, el 50% de los investigadores en Ciencias de la Tierra tienen una productividad inferior a una publicación/año, mientras que solo un 10% alcanza a 2 publicaciones/año.

Existen diferencias menores entre la productividad individual en cada sub-disciplina. Por ejemplo, el promedio en Geofísica alcanza a 0,77 publicaciones/año frente a 1,11 publicaciones/año en Paleoclima. Sin embargo, el tamaño de las submuestras es pequeño como para poder determinar el significado de las diferencias.

Una complicación adicional es que las publicaciones suelen tener más de un autor, muchas veces en la misma institución. Sería conveniente entonces conocer la producción promedio del grupo (por departamento o sub-disciplina), y luego calcular un promedio del grupo *per capita*. Debido a las dificultades de acceso a la información, el cálculo sólo se hizo para casos particulares. Así, por ejemplo, en el caso de Ciencias de la Atmósfera, las 84 publicaciones (2000-2004) que se obtienen al sumar las publicaciones de cada uno de los 21 investigadores del área, se reducen a 53 publicaciones en la sub-disciplina. De este modo, el promedio individual es de 0,8 publicaciones/año, pero el promedio del grupo *per capita* es de solo 0,5 publicaciones/año. En el caso del Departamento de Geología de la Universidad de Chile, las 118 publicaciones obtenidas al sumar la producción de sus 19 investigadores (2000-2004) se reducen a 87 al considerar la autoría compartida. De este modo, el promedio individual de 1,24 publicaciones por investigador/año baja a 0,92 publicaciones por investigador/año para el promedio del grupo. En la Tabla 16.1 se presentan los datos relativos al número de publicaciones y productividad (publicaciones/investigador/año) de los investigadores en Geología y Geofísica de las universidades de Chile, Católica del Norte Antofagasta y Concepción. Se hace una comparación de estas cifras con las correspondientes a las de una institución de excelencia del primer mundo, el Department of Geological & Environmental Sciences de la Universidad de Stanford, USA, donde la productividad *per capita* supera en más de 3

veces la mejor cifra de la Tabla 16.1. Este mismo ejercicio comparativo debería hacerse con respecto a un país de desarrollo semejante al nuestro.

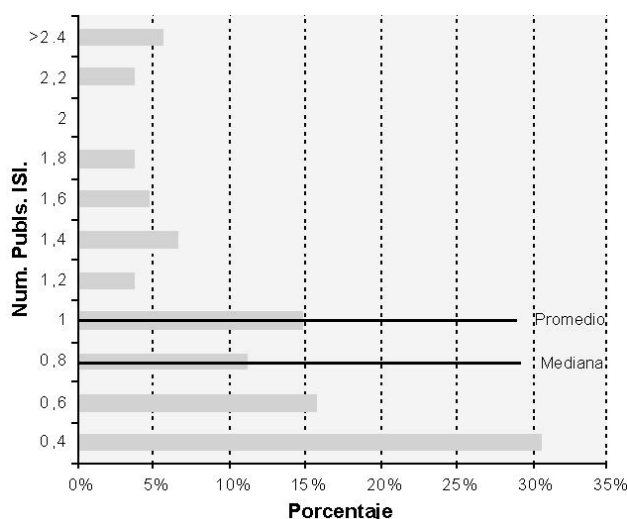


Figura 16.6. Histograma de productividad

Tabla 16.1. Producción Geología y Geofísica, Departamentos Universitarios			
PERÍODO 2000 - 2004	Número Investigadores	Producción Global Individual	Promedio publicaciones investigador/año
Dept. Geología Univ. de Chile	19	118	1,24
Dept. Geofísica Univ.de Chile	14	74	1.06
Dept. Ciencias Geológicas UCNorte Antof.	20	48	0.48
Dept. Ciencias de la Tierra +GEA	25	50	0.40
Univ. de Concepción			
Stanford University. Department of Geological & Environmental Sciences	25	505	4,04

Es valioso destacar el nivel de las revistas en que los investigadores chilenos publican sus trabajos, el cual puede ser cuantificado preliminarmente mediante el factor de impacto que ISI asigna a cada una de las revistas especializadas. En los casos en que se cuenta con información detallada como en Ciencias Atmosféricas/Meteorología y Geología, Universidad de Chile, se ha podido establecer el índice de impacto promedio de las publicaciones. En Ciencias Atmosféricas/Meteorología las 53 publicaciones producidas por esos científicos dan un índice de impacto de 2,2, casi un punto por encima del índice de impacto promedio de las revistas ISI en esta sub-disciplina. En el caso del Departamento de Geología, U. de Chile (2000-2004), sus investigadores publicaron en 36 revistas ISI diferentes con índice de impacto (valores 2003) variable entre 3,528 y 0,175. El índice de impacto promedio para las publicaciones del Departamento de Geología fue de 1,46. Las cifras anteriores indican que nuestra producción científica se orienta a las revistas de mayor impacto y circulación dentro de estas sub-disciplinas.

2.4. Financiamiento y colaboración internacional

Financiamiento recibido en el área de fondos nacionales competitivos

Entre 2000 y 2004, Fondecyt ha financiado proyectos regulares en CT por \$ 2.700 millones. Cerca de un tercio de esos recursos fueron a Oceanografía que no aparece en la Figura 16.7.

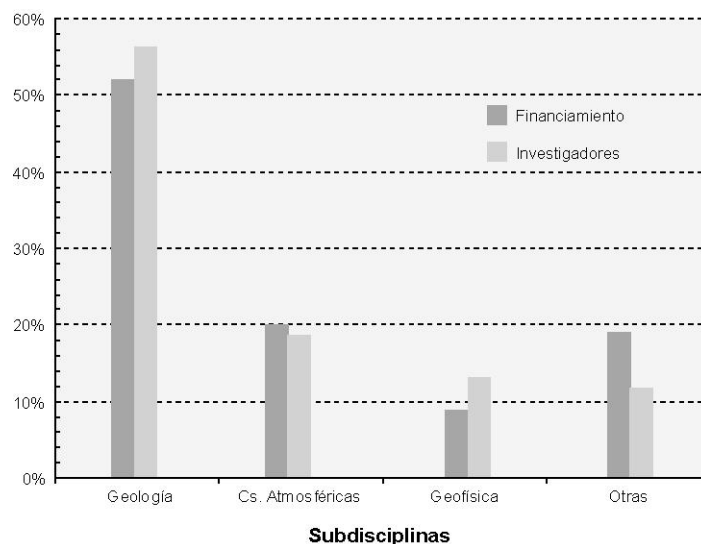


Fig. 16.7. Distribución de financiamiento de proyectos Fondecyt Regular según sub-disciplina.

En el mismo período 2000-2004 los investigadores en las sub-disciplinas Geología y Mineralogía, Geoquímica y Geofísica se adjudicaron un total de 7 proyectos FONDEF por un total de 1.409 millones de pesos y promedio de duración de 31 meses.

Colaboración internacional

Las características geodinámicas del sistema andino hacen que un gran número de instituciones e investigadores extranjeros trabaje en la actualidad en Ciencias de la Tierra en Chile. Se originan así numerosas publicaciones conjuntas. Entre las instituciones extranjeras con las que colaboran los científicos nacionales se cuentan:

Francia: Instituto de Investigación y Desarrollo (IRD, ex-ORSTOM); Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS)

Alemania: Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD); Comunidad Alemana de Investigaciones Científicas (DFG); Servicio Geológico Alemán (BGR); Centro de Geociencias de Postdam (GFZ)

Japón: Agencia de Cooperación Internacional Japonesa (JICA); Instituto de Bajas Temperaturas de Hokkaido

USA: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS); Centro de Información de Terremotos (NEIC) Universidad de California

Además, trabaja en colaboración con científicos chilenos un número importante de investigadores pertenecientes a universidades e instituciones estatales de Europa, Norte y Sudamérica.

2.5. Instituciones científicas que agrupan a los investigadores en Ciencias de la Tierra.

Sociedad Geológica de Chile, fundada en 1962, agrupa principalmente a geólogos y geofísicos.

Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, constituida en 1988, cuenta en la actualidad con 70 socios nacionales y 10 extranjeros. La Sociedad organiza cada año el Congreso Nacional e Internacional de Geografía.

Revista Geológica de Chile. Fundada en 1974. Es editada por el SERNAGEOMIN con la colaboración científica de la Sociedad Geológica de Chile. Desde 1993 está indexada en ISI y anunciada en *Current Contents*.

Congreso Geológico Chileno. Iniciados en 1976. Son patrocinados por la Sociedad Geológica y organizados rotativamente por las universidades de Chile, Católica del Norte de Antofagasta y Concepción y el SERNAGEOMIN. Se celebra cada tres años y cuenta con asistencia de un elevado número de científicos de la Tierra nacionales y extranjeros.

3. Sub-Disciplinas (3.1. Geología; 3.2. Geofísica: Tierra Sólida y Ciencias Atmosféricas; 3.3. Geografía Física)

3.1. Geología

Principales líneas de investigación en el área

Las áreas prioritarias de investigación en Geología en Chile corresponden a las Petrologías Ignea y Metamórfica, a la Tectónica y a la Metalogénesis. **Áreas fuertemente emergentes** en la última década son la Geología Ambiental, los Riesgos Naturales, la Geotecnia y la Hidrogeología. Esta última tendencia es el reflejo de una orientación a nivel internacional respecto a estos temas.

Las líneas desarrolladas en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile durante el período 2000-2004 pueden ser agrupadas como sigue. Los investigadores del Departamento participan en más de una línea de investigación:

Línea 1. Evolución Tectono-Magmática

Sub-líneas:

Petrología y geoquímica del magmatismo en márgenes convergentes (6 investigadores)

Metamorfismo de muy bajo y mediano grado (5 investigadores)

Tectónica andina (6 investigadores)

Línea 2. Recursos Naturales

Sub-líneas:

Metalogénesis y modelos de yacimientos (4 investigadores)

Geoquímica y geocronología aplicadas a la exploración minera (2 investigadores)

Sedimentología aplicada a la exploración minera (1 investigador)

Línea 3. Sedimentología, proveniencia de sedimentos, modelamiento (2 investigadores)

Línea 4. Medio ambiente, paleoclimatología, geotecnia, oceanografía geológica
(8 investigadores)

Línea 5. Riesgos naturales

Sismotectónica y peligro sísmico (4 investigadores)

Remociones en masa (3 investigadores)

Línea 6. Volcanismo y geotermia (1 investigador)

Infraestructura de investigación

Esta se concentra en las universidades y en el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). El Departamento de Geología de la Universidad de Chile cuenta en su equipamiento principal con:

Laboratorio Microsonda Electrónica/Microscopía Electrónica

Laboratorio de Paleomagnetismo

Laboratorio de Modelamiento Analógico

Laboratorio Analógico de Procesos Geoquímicos Supérgenos

Laboratorio de Química, equipado con Plasma Masa Optico (AES)

Laboratorio de Inclusiones Fluidas

Laboratorio de Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM)

Laboratorio de Preparación de secciones transparentes de rocas

Laboratorio Sedimentológico

Laboratorios menores

La Universidad Católica del Norte Antofagasta dispone también de infraestructura analítica la que se ha visto incrementada últimamente a través de fondos MECESUP y otros.

La Universidad de Concepción dispone de equipamiento analítico obtenido con anterioridad a 1993 a través del programa de Geología Económica Aplicada (GEA) que mantuvo con la Japan International Cooperation Agency (JICA).

El SERNAGEOMIN cuenta con buena infraestructura analítica, destacando su Laboratorio de Geocronología por métodos K-Ar y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, su equipo de análisis químico ICP-MS (plasma masa) y su moderno equipo de difracción de rayos-X (XRD).

La infraestructura analítica disponible si bien es adecuada, en varios aspectos, para el desarrollo de la investigación corriente en las especialidades del área, no lo es para efectuar investigación de punta a nivel internacional.

Áreas deficitarias

En la actualidad aparecen como deficitarias en el campo de la Geología en Chile las áreas de Hidrogeología, Paleontología, Geología Marina, Riesgos Geológicos, Volcanología Física y Mineralogía/Cristaloquímica. En el área clave de Hidrogeología existe un escaso número de investigadores (máximo 5) de acuerdo a los parámetros establecidos para el Directorio de Investigadores en Ciencias de la Tierra. Sin embargo, en los últimos diez años se observa un

incremento notable en el número de estudiantes que han realizado memorias y tesis relacionadas con temas hidrogeológicos. Esto puede interpretarse como el efecto de una sensibilidad creciente a escala planetaria respecto a los temas de protección del ambiente y del uso sustentable de la riqueza y diversidad de la Tierra para beneficio y prosperidad de la humanidad.

Núcleos de excelencia

Los grupos de investigación en Petrología y Metalogénesis de la Universidad de Chile, junto con el de Tectónica de la Universidad del Norte, pueden ser destacados a nivel internacional.

3.2. Geofísica

Geofísica-Tierra Sólida

La Geofísica es una sub-disciplina de las Ciencias de la Tierra que utiliza herramientas indirectas para entender la composición del interior de la tierra y los procesos geológicos asociados. El entendimiento de esos fenómenos tiene implicancias directas en cada una de las temáticas mayores en las cuales se agrupa el quehacer científico en Ciencias de la Tierra.

En *Evolución Tectonomagmática* la geofísica, en conjunto con la geología, ha avanzado en dirección a la comprensión de los procesos geológicos que condicionan la evolución de márgenes activos, integrando en modelos coherentes la información de superficie y subsuperficie, como así también el desarrollo de modelos teóricos consistentes con los datos de campo.

En *Tierra Profunda* el aporte de la geofísica ha sido tradicionalmente fundamental para la comprensión de la estructura interna de la Tierra, especialmente desde el punto de vista sismológico; en los últimos años, sin embargo, otras técnicas indirectas como la magnetotelúrica y el flujo calórico han permitido reconocer variables complementarias que inciden en la geodinámica interna de la Tierra.

En *Riesgos Naturales*, la sismología juega un papel central en el monitoreo de la actividad sísmica asociada a terremotos de subducción y erupciones volcánicas, como así también en estudios tendientes a comprender las variables del ciclo sísmico y el desarrollo incipiente de herramientas de tipo predictivo.

En *Recursos Naturales* la geofísica como herramienta de exploración en zonas cubiertas o submarinas se aplica en forma cada vez más intensiva para la búsqueda y cuantificación de recursos minerales, hídricos, hidrocarburos, geotérmicos, y recientemente también en fuentes alternativas de energía como los hidratos de gas.

En *Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial*, al ser una línea de investigación de desarrollo reciente, las aplicaciones geofísicas son limitadas, pero siguiendo la tendencia mundial tienen gran potencialidad en el monitoreo de contaminantes, calidad de agua, suelos de fundación, evaluación de obras civiles y arqueología.

En *Variabilidad Climática*, si bien no es una línea de investigación donde las herramientas geofísicas tengan un aporte central, se ha producido una interacción incipiente con estudios glaciológicos orientados a cuantificar algunos parámetros asociados al cambio climático.

Grupos/núcleos de Investigación

Se identifican en Chile 9 grupos/núcleos de investigación en geofísica, orientados al menos a uno de los temas de investigación mayor descritos en la sección anterior (ver Tabla 16.2). De estos grupos o núcleos solamente el de Tierra Sólida del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (DGF) se puede considerar un grupo consolidado con varias líneas de investigación en curso y con desarrollo permanente en los últimos 10 años. Se incluye en la Tabla 16.2 a las empresas del estado ENAP y CODELCO, que si bien se orientan al tema productivo en recursos naturales, realizan o participan de investigaciones aplicadas en las etapas de exploración básica.

Tabla 16.2. Grupos de Investigación en Geofísica – Período 1995-2005								
Grupo/ Núcleo	Institución	Número de Investigadores	Evolución Tectono- magmática	Tierra Profunda	Recursos Naturales	Riesgos Naturales	M. Ambiente y Ordenamiento Territorial	Variabilidad Climática
DGF- T. Sólida	Universidad de Chile	8	x	x	x	x		
Dpto. Geofísica	SERNAGEOMIN	2	x			x	x	
?	U. de Concepción	1	x			x		
?	U. de Iquique	1				x		
?	U. Temuco	1				x		
?	U.C.V	2			x			
CECS		1						x
	ENAP	2			x			
GCEX	CODELCO	3	x		x			
TOTAL INVESTIGADORES		21						

x = áreas cubiertas

Investigación Geofísica Temática. Estado del conocimiento

Dado que existen interacciones entre los distintos grupos que participan de la investigación geofísica en Chile, se ha optado por efectuar una descripción del estado del conocimiento científico en función de las líneas de investigación principales.

Evolución Tectonomagmática

La evolución geológica del margen andino ha sido estudiada en forma consistente desde el punto de vista geofísico por el DGF, Universidad de Chile, SERNAGEOMIN, y U. de Concepción, como contraparte de proyectos financiados por entidades europeas (IRD, Francia; Universidad de Berlin-Postdam, Alemania; Universidad de Kiel-BGR, Alemania), y estadounidenses (Universidad de California). El trabajo liderado por el grupo Berlin-Postdam es probablemente el estudio de mayor envergadura y extensión en el tiempo, el cual ha permitido alcanzar un conocimiento integrado de la estructura cortical y litosférica del margen andino en la zona norte del país (I a III Región), y centro sur (VIII y IX Región). Estos estudios integrados consideran la medición de transectas sísmicas, sismológicas, gravedad, y magnetotélúricas. En forma complementaria a estos estudios del segmento continental se ha producido un importante avance en el conocimiento del segmento submarino del margen andino, plataforma y talud continental, y piso oceánico. Estos estudios han sido liderados por la Universidad de Kiel y el BGR de Alemania, y en forma más puntual por grupos de investigación franceses (Punto Triple de Taitao), italianos (Tierra del Fuego), y norteamericanos (Taitao, Isla de Pascua). A estos proyectos mayores de orden continental se debe agregar esfuerzos individuales de investigadores del DGF en conjunto con investigadores de otras

entidades (UCN, Codelco, UCV, Geología Universidad de Chile, IRD), con aportes del FONDECYT, principalmente orientados a entender la morfología de la zona de subducción, su interacción y acoplamiento con la placa continental, y la tectónica cortical.

El conjunto de estudios del margen andino ha permitido avanzar en forma significativa en una serie de interrogantes asociadas a los procesos que condicionan la evolución tectonomagmática del margen andino. Entre estos cabe mencionar los procesos de erosión/acreción del margen continental, la caracterización de zonas de subducción horizontal y su relación causal con la colisión de dorsales asísmicas y sus efectos en la génesis de los magmas, acoplamiento interplacas y deformación continental, composición y reología del margen continental.

Tierra Profunda

El estudio de la Tierra Profunda, se traslapa en parte con la Evolución Tectonomagmática, y los Riesgos Naturales, por cuanto está íntimamente relacionado con el desarrollo de estudios sismológicos llevados a cabo por investigadores del DGF, Universidad de Chile, en colaboración con instituciones francesas (IRD, IGP, IGP), y estadounidenses (*e.g.* Universidad de California, Universidad de Florida). Estos estudios han permitido mejorar sustantivamente el conocimiento de la morfología de la zona de subducción, como así también avanzar en la comprensión de los mecanismos de la fuente sísmica, periodos de recurrencia y brechas sísmicas. En forma complementaria, estudios de flujo calórico liderados por el DGF, Universidad de Chile, han permitido una primera aproximación a la comprensión de las fuentes de calor que operan en el margen activo de Sudamérica. Se han realizado numerosos trabajos de terreno que han incluido redes sismológicas terrestres y submarinas, a través de proyectos conjuntos de investigadores nacionales y extranjeros, con el fuerte apoyo de FONDECYT. Dichos estudios han permitido mejorar el conocimiento tanto de la litósfera oceánica en subducción, como de la corteza continental y de la cuña astenosférica a través de la caracterización de la zona de Wadati-Benioff, de la distribución de los esfuerzos (utilizando la determinación de los mecanismos focales) y de la estructura de velocidades mediante tomografías basadas tanto en velocidades de ondas P y S, como de atenuación de ondas sísmicas.

Riesgos Naturales

Desde el punto de vista geofísico, esta temática ha estado tradicionalmente circunscrita al monitoreo de la actividad sísmica asociada a terremotos de subducción y volcanes activos de la zona volcánica del sur. Sin embargo, en años recientes se ha incorporado una visión multidisciplinaria que incluye estudios geológicos, sensores remotos y caracterización de suelos de fundación. Los terremotos asociados al proceso de subducción están siendo monitoreados por redes sismológicas que en su conjunto presentan una cobertura nacional limitada al extremo norte del país y fundamentalmente a la zona central. Estas redes sismológicas han sido y están siendo operadas por el DGF, Universidad de Chile y la Universidad de Tarapacá. La actividad sísmica asociada a volcanes activos de la cadena volcánica del sur está siendo monitoreada en forma permanente por grupos de investigación de la Universidad de Concepción, la Universidad de La Frontera (UFRO) de Temuco, en coordinación con el observatorio OVDAS del SERNAGEOMIN. Los estudios multidisciplinarios se restringen a la fecha al esfuerzo liderado por el Núcleo Milenio del DGF y el Departamento de Geología de la Universidad de Chile, que han centrado sus investigaciones en la Región Metropolitana. Los resultados de este estudio no sólo permitirán mitigar los efectos directos asociados a los movimientos sísmicos producto de terremotos de subducción sino que además a la actividad sísmica cortical somera en la zona de precordillera y potenciales remociones en masa asociadas. Por otra parte CODELCO Chile, División El Teniente, ha desarrollado un programa de monitoreo de la actividad sísmica asociada a la operación minera. Este estudio de investigación

aplicada ha permitido mitigar en forma sustantiva los daños humanos y materiales asociados a la sismicidad inducida en la mina.

Recursos Naturales

La investigación en Recursos Naturales ha tenido una amplia diversificación institucional y temática, es así como se pueden destacar esfuerzos para la exploración de recursos mineros en zonas cubiertas (CODELCO), energía geotérmica (ENAP), e hidratos de gas submarinos (DGF, Universidad de Chile en colaboración con la Universidad Católica de Valparaíso).

Desde el punto de vista de la exploración minera en zonas cubiertas, CODELCO ha desarrollado diversos esfuerzos tendientes a desarrollar e implementar tecnologías de exploración, entre estas IP pasivo (en colaboración con la Universidad de California, Berkeley), sísmica de reflexión, sistemas UAV autónomos para métodos de potencial, resistividad somera para la detección de sistemas electrolíticos asociados a pórfidos (en colaboración con FONDEF-Geología), y recientemente sismología cortical somera en colaboración con el DGF, Universidad de Chile.

La exploración por recursos geotermales, como potencial fuente alternativa de energía, ha motivado la conformación de un grupo de investigación aplicada al interior de ENAP, que hasta ahora ha desarrollado investigación aplicada en sus concesiones de Chillán, Calabozo, Apacheta, La Torta y El Tatio. Se espera una actividad creciente en esta área para los próximos años por parte de la sociedad recientemente establecida entre ENAP y ENEL de Italia para el desarrollo de la geotermia en Chile. También dentro de ENAP, y como resultado de su experiencia internacional adquirida a través de Sipetrol, ha habido una incorporación de tecnología y conocimientos de última generación principalmente orientada a la exploración por gas en Magallanes.

La exploración de recursos hidrogeológicos ha sido desarrollada principalmente por el SERNAGEOMIN, si bien empresas como CODELCO también desarrollan proyectos de esta naturaleza para satisfacer sus demandas propias. Los estudios del SERNAGEOMIN se han desarrollado en cuencas del altiplano de la III Región (Maricunga, Laguna del Negro Francisco, Piedra Pómez) y también en la X Región (Valdivia), utilizando técnicas geofísicas como gravedad y métodos eléctricos. La información resultante se incluye en las series de mapas hidrogeológicos o de potencial hidrogeológico publicado por la institución.

Desde el punto de vista de los hidratos de gas, el DGF Universidad de Chile, en colaboración con el Dpto. de Oceanografía de la UCV y el SHOA ha desarrollado el primer estudio de geofísica marina del margen con recursos provenientes del proyecto FONDEF 1104. Este estudio ha permitido identificar en forma indirecta un volumen de recursos de gas metano muy importante en la zona centro sur de Chile. Si bien el reconocimiento del recurso es un avance importante, los estudios a desarrollar en los próximos años estarán orientados a la implementación de nuevas tecnologías para su extracción y producción.

Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial

El trabajo geofísico relacionado con la temática ambiental y el desarrollo urbano se circunscribe al apoyo de los mapas temáticos desarrollados por el SERNAGEOMIN. Esto incluye estudios geoeléctricos, gravimétricos, orientados a detectar plumas de contaminación de aguas subterráneas o a focalizar la presencia de suelos contaminados en vertederos, humedales y residuos mineros de la Región Metropolitana.

Variabilidad Climática. Estudios Glaciológicos

El grupo de glaciología del Centro de Estudios Científicos CEC tiene en desarrollo el estudio de los espesores de hielo en los campos de hielo de la Patagonia y la Antártida. Para ello se utilizan técnicas geofísicas como el radar terrestre (GPR), gravimetría, y magnetometría. Estos estudios han permitido reconocer el estado actual de las masas de hielo como una línea de base que permitirá estudiar su evolución en el tiempo y su relación de causa y efecto con el cambio climático.

Geofísica - Ciencias Atmosféricas

Las Ciencias Atmosféricas (CA) son un conjunto de disciplinas cuyo objeto de estudio central es la envoltura gaseosa del planeta Tierra y que comparten ciertos métodos como la modelación matemática y el uso de principios físicos como base de sus observaciones.

Considerando el desarrollo histórico y la distribución de la investigación en CA, el centro de gravedad de estas disciplinas reside en Meteorología y Climatología que estudian los sistemas de circulación atmosférica de escala regional (algunas decenas de kilómetros) a global responsables de las variaciones del tiempo y el clima. Las restantes disciplinas dentro de las CA se focalizan en la interacción de la atmósfera con otros subsistemas terrestres (hidrósfera, litósfera, biósfera), escalas de tiempo muy largas (paleo-climatología) y aspectos químicos de la atmósfera.

Naturalmente no existe una frontera precisa que separe a las CA de otras ciencias (de la Tierra, Ambientales, Física, Química, etc.). Por ejemplo, no es simple decidir si una investigación sobre radiación UV pertenece al campo de la Física o de las Ciencias Atmosféricas, o a ambas. Se podría considerar si la investigación se focaliza en la radiación UV en sí, independiente del medio, o focalizada en el efecto de la radiación UV en la atmósfera terrestre. En este trabajo hemos clasificado una investigación en CA si sus resultados se publican en revistas de corriente principal (ISI) considerada dentro de esa área (Tabla 16.3).

Tabla 16.3. Grupos de Investigación en Ciencias Atmosféricas – Período 2000-2005					
Grupo	Universidad	Num. Invest. ¹	Prod. Global ²	Prod. Individual ³	Proyectos CONICYT ⁴
GLOBAL		24	56	83	8
DGF-met	Universidad de Chile	8	31	45	5
CMM-atmos	Universidad de Chile	2	5	8	2
DEFAO-Atmos	U. de Concepción	5	11	12	1
CEAZA-met	U. Serena / UC Norte	2	2	2	0
DMC	Dir. Met. de Chile	2	3	4	0
UMAG-UV	U. de Magallanes	2	3	4	1
UACH-UV	U. Austral de Chile	1	1	1	0
PUC-Geo+Agro	U. Católica de Chile	2	6	6	0

1: Número de investigadores (al menos 1 pub. ISI en últimos 5 años)

2: Número total de publicaciones generadas por el grupo

3: Suma del número de publicaciones por cada investigador dentro del grupo

4: Número de proyectos concursables CONICYT en el cual el Investigador Responsable pertenece al grupo

Grupos de Investigación

En Chile actualmente existen 8 grupos de investigación en CA. La Tabla 16.3 presenta los datos más relevantes que permiten su caracterización. La Figura 16.8 es una descripción cualitativa (y simplificada) de la posición de los grupos en el “universo” de las CA. Los 8 grupos reúnen a un total de 24 científicos variando entre 1 y 8 en número. Aunque nos referimos en forma genérica a *grupos* de investigación, aquellos con 1 o 2 investigadores son mejor descritos como *núcleos*.

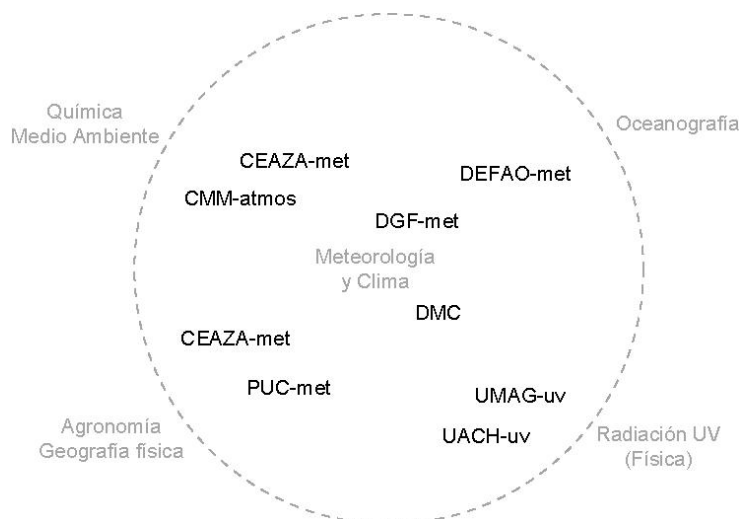


Figura 16.8. Representación esquemática de las líneas de investigación de los grupos en CA en Chile.

La productividad global en CA en el período 2000-2005 alcanza a 56 publicaciones ISI; cerca de la mitad de esas publicaciones involucran al menos a 2 investigadores (co-autores) nacionales. La productividad individual alcanza a 3,6 publicaciones ISI en igual período.

Comparando este panorama con el que existía en 1993, es evidente el incremento en todos los parámetros considerados. En este período se han consolidado los grupos tradicionales (DGF, DEFAO) y han surgido 6 núcleos nuevos (CEAZA-met, DMC, CMM-atmos, UMAG-UV, UACH-UV, PUC-G/A), lo que explica la triplicación en el número de investigadores (8→24). Tanto la productividad (revistas ISI) global como individual han aumentado considerablemente en el período (2000-2005) respecto a la situación en 1993. El informe de ese año reporta 11 publicaciones ISI en el período de 6 años previos.

El mayor grupo en CA (en relación al informe 1993) sigue siendo el Grupo de Meteorología del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Este grupo reúne al mayor número de investigadores (8) y presenta la mayor productividad global e individual. Desde fines de la década pasada los recursos humanos del grupo han aumentado por la inserción de 3 nuevos doctores (uno de ellos aún en USA) y la participación de 3 investigadores asociados (becas post-doctorales o equivalente). Esto ha fortalecido las líneas de investigación tradicionales del grupo (climatología, meteorología sinóptica) y abierto nuevas líneas (capa límite atmosférica, química atmosférica). El grupo continúa liderando la adjudicación de fondos concursables (CONICYT) en Meteorología y Clima, y mantiene actividades de extensión como proyectos de meteorología aplicada. Lo anterior ha permitido una importante expansión de la infraestructura computacional (computadores multiproceso) del grupo permitiendo un avance en el pronóstico numérico del tiempo (operacional desde 2002) y modelación numérica de la dispersión de contaminantes en la atmósfera. Las capacidades de observación del grupo permanecen restringidas a instrumentos de superficie.

El grupo de atmósfera dentro del Departamento Física de la Atmósfera y Océano (DEFAO), actualmente DGEO, de la Universidad de Concepción también ha integrado a 2 nuevos doctores en esta área (CA). El incremento de productividad es menos marcado, y su participación en fondos concursables de CONICYT permanece bajo. Este grupo ha desarrollado una notable integración con el área de oceanografía física al interior de la misma Universidad de Concepción, lo que ha permitido el aumento de recursos humanos y sistemas de observación. Se ha potenciado así la investigación en interacción océano-atmósfera a distintas escalas, como también las líneas tradicionales de este grupo: meteorología sinóptica y climatología dinámica.

En relación a los 4 núcleos nuevos, en todos ellos se trata de uno o dos investigadores en CA, generalmente con grado de doctor y de alta productividad, insertos en grupos mayores o departamentos de carácter multidisciplinario (excepto el caso de la Dirección Meteorológica de Chile, DMC). Un aspecto positivo es que estos investigadores tienen acceso al personal técnico e infraestructura del grupo mayor en el cual están insertos.

El núcleo al interior del Centro de Modelamiento Matemático de la Universidad de Chile se focaliza en el modelamiento numérico de la química atmosférica. Creado el año 2000, este núcleo está bien consolidado, con varias publicaciones, adjudicación de fondos CONICYT, formación de recursos humanos, y excelentes contactos internacionales. Este último aspecto puede ser crucial en posibilitar mediciones de terreno, lo que permitiría extender las actividades del núcleo.

El Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) es un consorcio de investigación formado por la Universidad de La Serena, la Universidad Católica del Norte y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Posee un grupo de Agricultura y Clima (un investigador en CA) que interactúa también con los grupos de Modelamiento y Oceanografía. Su investigación se focaliza en agro-meteorología de zonas áridas y química atmosférica. Es un grupo incipiente (creado en 2002) que aún no presenta publicaciones ni ha obtenido fondos CONICYT, pero posee el potencial humano y el equipamiento básico de observación que garantizan su crecimiento.

El núcleo en la Universidad de Magallanes (2 investigadores más ayudantes), está inserto en el Departamento de Física. La investigación se orienta al estudio de la climatología del ozono y radiación UV-B en la Zona Austral. También se trata de un grupo consolidado, en cuanto exhibe publicaciones ISI, ha obtenido financiamiento de fondos concursables de CONICYT y fuentes extranjeras lo que permite mantener un radiómetro multicanal. Algo similar ocurre en el Departamento de Física de la Universidad Austral de Chile, donde un investigador (más ayudantes) ha sostenido un trabajo en radiación ultravioleta y se cuenta con un radiómetro multicanal.

La Dirección Meteorológica de Chile (DMC) es una institución con orientación eminentemente profesional y operativa, de manera que las actividades de investigación en su seno son de carácter marginal. Aun así, dos investigadores y varios técnicos han conformado un núcleo orientado a meteorología y climatología, el que puede potenciarse debido al acceso directo a los sistemas de observación de la DMC y su infraestructura computacional.

El núcleo al interior de la Pontificia Universidad Católica está constituido por 2 investigadores, uno de ellos en el Departamento de Geografía y el otro en Agronomía. El primero se orienta al estudio de las neblinas en la costa árida de Chile y su potencial aprovechamiento como recurso hídrico, lo cual se vincula con Geografía Física. El segundo investigador recientemente se ha reinsertado en Chile luego de finalizar su doctorado en Estados Unidos donde se especializó en el uso de la información climática en la agricultura.

Docencia

Otro cambio observado en relación al informe de 1993 es la creación de una licenciatura y carrera profesional en meteorología, impartida desde 1997 por la Universidad de Valparaíso. Los egresados de esta carrera (alrededor de 5 por año) se desempeñan generalmente en empresas mineras y ambientales donde la información meteorológica es relevante, o en la Dirección Meteorológica de Chile (previamente, la DMC formaba a sus propios meteorólogos en la Escuela Técnica Aeronáutica).

A nivel de posgrado, el único programa en CA es el Magíster en Ciencias, mención Geofísica, impartido por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. El magíster cubre aspectos fundamentales y aplicados en Meteorología y Climatología. En los últimos 5 años se han graduado 6 alumnos de este programa, 3 de los cuales han continuado sus estudios de doctorado en universidades extranjeras. Desde 2005 el magíster ha adquirido una orientación más profesional.

Una posibilidad interesante pero incipiente es el Doctorado en Fluido Dinámica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Varios investigadores del Departamento de Geofísica pertenecen al claustro académico de este programa, permitiendo que algunos alumnos realicen su tesis en un tema de Meteorología o Clima; actualmente un estudiante está siguiendo este camino.

3.3. Geografía Física

La Unidad Académica de Geografía de la Universidad de Chile, contiene el mayor y más antiguo patrimonio cultural para el resguardo y desarrollo de esta ciencia en el país, y constituye el núcleo académico principal en la generación y actualización del conocimiento geográfico de su territorio. Tiene como objetivo contribuir a formar recursos humanos altamente calificados, que posean capacidades científicas, analíticas y sintéticas, para generar, coordinar o formar parte de los equipos interdisciplinarios destinados a evaluar las potencialidades y limitaciones del territorio nacional, para enfrentar el proceso de desarrollo.

Para dicho objetivo, la Unidad mantiene programas docentes de pregrado a través de la Escuela de Geografía, conducentes a la Licenciatura en Geografía y al Título Profesional de Geógrafo y un programa de Postgrado bajo la tutela de la Escuela de Posgrado de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, conducentes a la obtención del Magister en Geografía.

Con el fin de generar y mantener actualizados el conocimiento y fundamentar la enseñanza, el Departamento de Geografía fomenta y estimula la realización de proyectos de investigación y de prestación de servicios, los cuales se vinculan activamente con las demandas provenientes de la comunidad nacional e internacional. La investigación en Geografía Física se concentra en el laboratorio de Geomorfología y Riesgos Naturales donde se desarrollan los siguientes temas de investigación: Fiordos Patagónicos Chilenos; Geomorfología y Dinámica Costera; Islas Oceánicas; Dinámica Glaciar; Riesgos Naturales; Suelos.

Como entidad perteneciente a la Universidad de Chile, estatal y nacional, su acción privilegia la integridad y totalidad del territorio y actúa como vínculo con sociedades, instituciones y universidades extranjeras interesadas en el estudio del país. La Unidad pretende, además, contribuir a la formación de una conciencia geográfica nacional, para lo cual estimula la extensión y difusión del conocimiento a través de cursos, publicaciones y participación de sus académicos en seminarios, congresos y sociedades científicas.

La Unidad hace suyo el concepto de Desarrollo Sustentable, entendiéndolo como la planificación, uso y manejo del territorio, de forma tal que asegure su crecimiento y perdurabilidad en el tiempo, la equidad social y la participación de las comunidades locales y la protección del medio ambiente, asegurando que las futuras generaciones dispongan de los suficientes grados de libertad para adoptar sus propias decisiones.

En la Pontificia Universidad Católica de Chile el Instituto de Geografía centra esencialmente su trabajo en la formación de Geógrafos Profesionales. La enseñanza de la Geografía se materializa en el pregrado mediante una Licenciatura en Geografía con énfasis en lo académico, con una duración de ocho semestres, que culmina con un seminario de grado para la formación de un profesional geógrafo, con dos semestres adicionales a la licenciatura, que finalizan con la realización de una práctica profesional. A partir de 2000, el Instituto agregó un programa de postítulo en la disciplina con énfasis en su aplicación para profesionales ligados a las ciencias de la tierra, generando primeramente uno en Geografía Aplicada y Medio Ambiente el año 2000 y luego el de Geomática en 2004.

La investigación se orienta tanto hacia el desarrollo de la ciencia básica, mediante la ejecución de proyectos de investigación concursables tanto internos como externos a la universidad, así como también en la vertiente aplicada de la disciplina geográfica, esto último por medio de su unidad de venta de servicios “Geografía UC Proyectos”, unidad a través de la cual el Instituto se vincula con la empresa pública y privada. Con todo, las líneas de investigación preferente que se desarrollan en el Instituto se enmarcan en la ordenación del territorio en sus diferentes ámbitos, planificación urbana, evaluación y estudios de impacto ambiental, catastro y evaluación de recursos naturales y aplicaciones de la geomática.

La difusión se materializa a través de la publicación bianual de la *Revista de Geografía Norte Grande*, con 31 años de circulación ininterrumpida, complementada recientemente con la *Serie Geolibros*, esta última orientada a editar textos de apoyo a la docencia, investigaciones y obras de geografía en general.

Actualmente el Instituto cuenta con una planta de 20 jornadas completas equivalentes, distribuidas en 14 docentes con el grado académico de doctor, 3 con el grado de magíster y 12 con títulos profesionales.

En la Universidad de La Serena el Área de Ciencias Geográficas se ha dedicado hasta el presente a tres funciones primordiales:

1. Docencia: Impartiendo enseñanza de pregrado con cursos en geografía, además de enseñanza de posgrado.
2. Investigación: Desarrollando estudios en Geografía Física Aplicada, Geografía Económica y Social, y Educación Geográfica.
3. Extensión: Practicando asistencia a la comunidad mediante conferencias y guías de desarrollo, cursos de actualización, además de estudios de investigación aplicados, tipo consultoría, a organismos del Estado y empresas particulares.

En los últimos cinco años, se ha incorporado un Programa en Educación Geográfica. Al mismo tiempo, el Programa de Uso de Suelo Urbano y Regional ha tenido una etapa de escaso desarrollo. Actualmente los Programas de mayor fuerza son: Geografía Física Aplicada y Geografía Económica y Social. Se espera que el Programa de Educación Geográfica obtenga un nivel similar para el año 2007.

El programa de Geografía Física Aplicada tiene como objetivo propender a la generación de conocimientos que permitan fundamentar el uso del ambiente semiárido mediante la búsqueda permanente de compatibilidades entre los intereses socioeconómicos y las dinámicas del ecosistema natural. Sus líneas de investigación básicas son: climatología, hidrología, geomorfología y suelos en tanto que las líneas de investigación aplicada consisten en: análisis de cambio climático, evaluación y manejo de recursos naturales, manejo de cuencas, manejo de sistemas litorales, manejo de espacios áridos, evaluación de impacto ambiental, evaluación y manejo de riesgos naturales, aplicaciones de sistemas de información geográfica y sensores remotos.

En el marco del Programa de Geografía Física Aplicada se han desarrollado sobre 40 proyectos de investigación que han permitido la publicación de 2 libros especializados, 15 capítulos de libros y más de 30 artículos, desde 1990 a la fecha.

La disciplina geográfica se imparte además en la Universidad Católica de Valparaíso; en la Universidad de Santiago de Chile, como Ingeniería Geográfica, y recientemente en la Universidad de Concepción.

4. Formación de Posgrado, especialmente Doctoral

4.1. Programas de Doctorado

Existen programas acreditados de Doctorado en Ciencias, mención Geología en las Universidades de Chile (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas) y Católica del Norte de Antofagasta (Tabla 16.4)

El Doctorado de la Universidad de Chile fue creado en 1968 y está acreditado por CONAP, CONICYT y Fundación Andes. En la actualidad (2005) cuenta con una matrícula de 25 estudiantes, la mayor parte de ellos becarios CONICYT. Durante el período 2000-2004 ocho estudiantes han obtenido el grado de Doctor en Ciencias, mención Geología de la Universidad de Chile, tres de ellos en co-tutela con las universidades francesas de Toulouse y Rennes. El Programa cuenta en su matrícula con estudiantes extranjeros (Francia, España).

El Programa de Doctorado de la Universidad Católica del Norte, Antofagasta, se creó en 2000 y ha sido acreditado por CONAP. Cuenta actualmente con 9 estudiantes. El primer graduado data de Julio 2005.

4.2. Programas de Magíster

En la Universidad de Chile, el Programa de Magíster en Ciencias, mención Geología, se creó en 1975 y está debidamente acreditado. En la actualidad (2005) cuenta con una matrícula de 24 alumnos. En el período 2000-2004 se graduaron 27 estudiantes y desde su creación a la fecha registra un total de 55 graduados. El Magíster en Geofísica de la Universidad de Chile contó con 15 estudiantes inscritos en 2004 y 15 alumnos se han graduado en el período 2000-2004 (Tabla 16.4).

En la Universidad Católica del Norte, Antofagasta, funciona un Magíster en Geología Económica, mención Exploración, creado en 1996 del cual no se obtuvo información.

El Programa de Magíster en Geografía y Plan de Estudios, con Menciones, de la Universidad de Chile fue creado en 1984 y fue acreditado por 4 años en enero de 2005. Durante el período 2000-2004 registró una matrícula promedio de 8 estudiantes y un número de 7 graduados.

Tabla 16.4. Situación del posgrado en Ciencias de la Tierra.											
	Estudiantes Inscritos					Estudiantes Graduados					
Programa	2000	2001	2002	2003	2004	2000	2001	2002	2003	2004	Total Grad.
Doctorado Geología, UCH	10	15	25	20	23	0	0	3	4	1	8
Doctorado Geología, UCN			6	6	9			0	0	0	0
Magíster Geología, UCH	13	17	21	21	20	4	3	4	10	6	27
Magíster Geofísica, UCH	13	10	13	12	15	1	4	4	4	2	15
Magíster Geografía UCH	16	7	4	11	3	0	1	2	2	2	7

5. Relación con Empresas

Las Ciencias de la Tierra poseen un vasto campo de aplicabilidad en el desarrollo nacional lo que involucra particularmente a geólogos, geofísicos e ingenieros civiles. Se podría concluir que la actividad empresarial industrial debiera tener una sólida interacción con la investigación, en especial con aquella de carácter aplicado. Sin embargo, esta relación no es fluida a nivel institucional y se manifiesta preferentemente a través de iniciativas individuales. La interacción industria-universidades tiene su mejor expresión en los Proyectos FONDEF en los cuales han tenido una destacada participación los departamentos de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile. El Departamento de Geología, Universidad de Chile, tiene un positivo historial en proyectos FONDEF adjudicándose su primer proyecto en 1993, año de inicio de este concurso de financiamiento, y desde esa fecha se ha adjudicado 4 proyectos. Actualmente en ese departamento están vigentes dos proyectos FONDEF, uno en asociación con la industria minera, y otro en asociación con empresas de seguros, con fondos de aporte FONDEF superior a los 400 millones de pesos, y con contrapartes de las empresas y de la Universidad que suman sobre los 600 millones de pesos. El Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, en colaboración con el Dpto. de Oceanografía de la UCV y el SHOA ha desarrollado el primer estudio de geofísica marina dirigido a la prospección de hidratos de gas en el margen con recursos provenientes del proyecto FONDEF 1104. Este estudio ha permitido identificar en forma indirecta un volumen muy importante de recursos en gas metano en la zona centro sur de Chile.

A diferencia de otros países *e.g.* Estados Unidos, Canadá, Australia, Brasil, las empresas nacionales no aportan sustancialmente al financiamiento de actividades de investigación y docencia en las áreas de Ciencias de la Tierra. Sólo en forma esporádica se han logrado donaciones de equipos o fondos, o ambos, para distintos efectos, pero no existe, por ejemplo, un Fondo de Becas

de estudio financiado por aportes múltiples de empresas, práctica común en otros países. Empresas estatales como CODELCO y ENAP realizan o participan en algunos casos con las universidades en investigaciones aplicadas. Es el caso de CODELCO División El Teniente, que llevó a cabo un programa de monitoreo de la actividad sísmica asociada a la operación minera. El trabajo geofísico relacionado con la temática ambiental y el desarrollo urbano se circunscribe al apoyo de los mapas temáticos desarrollados por el SERNAGEOMIN. El Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), un consorcio de investigación formado por la Universidad de La Serena, la Universidad Católica del Norte y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, posee un grupo de Agricultura y Clima que interactúa también con los grupos de Modelamiento y Oceanografía. Su investigación se focaliza en agro-meteorología de zonas áridas y química atmosférica.

En resumen, las actividades de investigación en Ciencias de la Tierra (geología, geofísica específicamente) cuentan en una medida muy reducida con el apoyo de las empresas, principalmente a través de gestiones de carácter personal por parte de los investigadores, quedando en evidencia una ausencia de políticas institucionales al respecto. Esta situación merece ser analizada para encontrar sus causas.

6. Relación con la Sociedad

La investigación en Ciencias de la Tierra aporta a la comunidad las bases insustituibles para la prospección y localización de recursos minerales, la exploración de recursos hídricos y energéticos, la protección del medio ambiente atmosférico, la prevención de desastres naturales y la ejecución de obras de ingeniería necesarias para el desarrollo económico y social del país.

Sin embargo, existe un desconocimiento generalizado acerca de las actividades propias de las Ciencias de la Tierra y un escaso reconocimiento de esta área de las ciencias por parte de la comunidad nacional en casi todos los niveles socio-culturales. Mucho de esto tiene relación con el hecho que las Ciencias de la Tierra no estén consideradas en los programas de la enseñanza nacional en ninguno de sus niveles.

Se constata, por otra parte, una dificultad para que profesionales geólogos y geofísicos puedan acceder a posiciones directivas o claves en instituciones públicas. Esto por el hecho de existir cargos reservados para ingenieros los que, sin embargo, dadas sus características, deberían ser ocupados por científicos de la Tierra.

En los casos de Geología y Geofísica los estudiantes, al término de su carrera, cuentan con oportunidades de inserción laboral en el medio extrauniversitario, particularmente en la minería, donde se desempeñan exitosamente. Por otra parte, los jóvenes doctores comienzan a incorporarse a las tareas de investigación académica o en empresas del Estado como es el caso de CODELCO.

7. Diagnóstico de la disciplina: Fortalezas y Debilidades

7.1. Fortalezas

El territorio chileno suscita el interés científico mundial por constituir un ejemplo de una zona de subducción en margen continental activo con sus procesos asociados. En este sentido constituye un “laboratorio natural” para la investigación en Ciencias de la Tierra.

Las investigaciones geológicas y geofísicas son la base insustituible para la prospección de nuevos recursos minerales, la exploración de los recursos hídricos, la protección del medio ambiente, el estudio de fenómenos atmosféricos y climáticos, la prevención de desastres y la ejecución de obras de ingeniería necesarias para el desarrollo económico y social del país.

Se cuenta con investigadores de experiencia y reputación internacional en las áreas tradicionales de la geología como la petrología, la tectónica y la metalogénesis y de la geofísica tales como geofísica marina, sismología y ciencias atmosféricas. En los últimos 10 años ha habido un importante incremento en investigadores que han llevado a cabo estudios de postgrado en centros de excelencia a nivel mundial.

El presente estudio deja en evidencia un sustantivo aumento de la masa crítica de los investigadores en Ciencias de la Tierra en los últimos diez años. Al mismo tiempo se constata el alto porcentaje de graduados que alcanza al 94% de los integrantes del Directorio de Investigadores del área, 80% de los cuales posee el grado de doctor. Se observa además una favorable distribución de edades de esos investigadores con un promedio de 46 años y con 35% de ellos en el tramo comprendido entre los 36 y 45 años.

La comunidad nacional de geociencias contribuye positivamente a las actividades de las organizaciones científicas y gremiales a nivel internacional.

Existe una larga historia de cooperación científica internacional en diversas disciplinas de las Ciencias de la Tierra. A ese nivel, la contribución de Chile en temas como geología económica, sismología, magma génesis, tectónica y meteorología es reconocida y respetada.

La *Revista Geológica de Chile* está indexada en el ISI desde 1993 y posee prestigio internacional en el área de la geología andina.

Debilidades

Desconocimiento de la importancia de las Ciencias de la Tierra por parte de la comunidad nacional en casi todos los niveles socio-culturales y políticos. Esta situación se expresa en diversas formas negativas para su desarrollo, como las siguientes:

- La ausencia de un Servicio Geológico Nacional estructurado de acuerdo a las normas y estándares que rigen internacionalmente a estas instituciones.
- La exigua representación de las Ciencias de la Tierra en los programas de enseñanza a nivel de la educación básica y media.
- Las dificultades administrativas de geólogos y geofísicos para acceder a posiciones directivas en instituciones públicas debido, en muchos casos, a la existencia de cargos reservados a otros profesionales y que, por sus características, deberían ser llenados por especialistas en Ciencias de la Tierra.

Infraestructura analítica que, con algunas excepciones, es insuficiente para los requerimientos de la investigación de punta y la docencia de posgrado en el área. Esto impide el desarrollo de líneas de investigación modernas de gran incidencia e impacto *e.g.* geología isotópica, geología y geofísica marina, investigación geofísica integrada con la investigación geológica, geofísica aplicada, estudios de capa límite atmosférica mediante técnicas remotas. En la actualidad se depende en muchos casos de servicios analíticos adquiridos a un alto costo en el extranjero donde los investigadores no participan en el proceso de obtención de los datos. Especialmente lamentable a este respecto es el caso de jóvenes doctorandos que están así excluidos de la posibilidad de familiarizarse con procedimientos analíticos sofisticados y de tener una visión crítica de los resultados y datos analíticos obtenidos. Algunas carencias en este sentido suelen solucionarse por la vía de trabajos en colaboración con investigadores y laboratorios extranjeros pero ello ocurre sólo

en los casos en que existen vínculos establecidos a través de una investigación cooperativa sostenida en el tiempo.

Escasa colaboración inter-institucional en la utilización de la infraestructura de laboratorios. Esta situación debe ser remediada estableciéndose redes nacionales para que el acceso a las facilidades analíticas disponibles por la comunidad científica sea más expedito y el uso más eficiente permitiendo el flujo de ideas y enriqueciendo los intercambios.

Bajo número de académicos activos en la investigación y docencia (alrededor de 155 en el país) pese al aumento de la masa crítica de investigadores en el área anteriormente señalado. Algunas disciplinas, como paleontología, vulcanología física, geofísica aplicada y ambiental, exploración minera, interacción océano-atmósfera y otras, no están siendo cubiertas debido a la carencia de puestos permanentes de trabajo en los centros de investigación y enseñanza superior. Si bien en los últimos años ha habido un fuerte incremento del número de becas de doctorado, no existe una política clara en cuanto a cómo insertar a estos graduados a la academia, centros de investigación aplicada, o la industria.

Falta de recursos para la realización de investigaciones de punta que compitan con las de países más desarrollados. Esto limita, entre otras cosas: (a) las posibilidades de desarrollar proyectos interdisciplinarios de escala continental; (b) el ser contrapartes realmente efectivas de proyectos multinacionales; (c) los estudios de geología y geofísica marina; (d) los estudios de interacción océano-atmósfera en el Pacífico Sur Oriental como contribución al Programa Internacional de Investigaciones del Clima; (e) la realización de programas de investigación antártica; (f) la participación en Proyectos Internacionales de Correlación Geológica (PICG).

Ausencia de una entidad reguladora de los convenios internacionales y de su funcionamiento. Como consecuencia de ello, algunos programas de colaboración con instituciones e investigadores extranjeros carecen de una adecuada contraparte científica nacional impidiendo la obtención de los beneficios que se esperan de una investigación cooperativa.

Acceso limitado de estudiantes extranjeros, particularmente latinoamericanos, a nuestras carreras profesionales y programas de posgrado en Ciencias de la Tierra. Ello es atribuible a una falta de difusión adecuada y a la escasez de becas para extranjeros, tanto a nivel nacional como internacional.

7.2. Proyección a futuro

La investigación en Ciencias de la Tierra en Chile en los años venideros debería orientarse tomando en cuenta por una parte las ventajas comparativas naturales que ofrece la estructura geológica del territorio nacional y por otra las líneas relacionadas con el resguardo del medio ambiente y las proyecciones sociales que de ello se derivan.

Entre las primeras cabe destacar el carácter de margen continental Pacífico activo de nuestro territorio caracterizado por los fenómenos de convergencia y subducción de placas con las consecuencias geodinámicas singulares que ello implica, como también por los fenómenos climáticos de impacto regional y global asociados al borde oriental del anticiclón del Pacífico suroriental. Este panorama compele a un tipo de investigación orientada a profundizar en la comprensión de los fenómenos petrológicos, tectónicos, metalogénicos y climáticos relacionados con la construcción, a lo largo del tiempo, del orógeno andino en los distintos segmentos del territorio. En particular, la génesis y características de los yacimientos metalíferos expuestos en el territorio chileno, en especial los depósitos andinos de cobre porfirico, constituye un tema de

investigación susceptible de representar un aporte científico original y al mismo tiempo producir un fuerte impacto para la economía nacional. Igualmente relevante a nivel mundial es la investigación de la génesis y los recursos representados por los grandes salares del norte del país.

Los estudios del medio ambiente relacionados con las Ciencias de la Tierra merecen atención preferente en la planificación a futuro. Existe, a todo nivel, una demanda creciente de respuestas concernientes a la disponibilidad de recursos hidrogeológicos, a la planificación urbana, la ubicación de vertederos, la contaminación de aguas, problemas en que los investigadores del área tienen ingerencia directa. Por otra parte, los altos riesgos geológicos inherentes a la geodinámica andina tales como la ocurrencia de episodios volcánicos de carácter devastador, terremotos, tsunamis, avalanchas, remoción en masa, sequías e inundaciones, episodios de contaminación atmosférica y otros, otorgan un alto grado de prioridad social a los estudios relacionados con estas materias.

7.3. Ejemplos de investigaciones con gran potencial social y económico realizadas en el área de Ciencias de la Tierra.

Relativas al descubrimiento de reservas mineras.

Como producto de un programa de levantamiento geológico-geofísico regional de la Cordillera de Domeyko, impulsado por CODELCO y llevado a cabo por el Servicio Nacional de Geología y Minería durante la década del 90 y los primeros años del siglo 21, ha sido posible mejorar sustantivamente la base de conocimiento geológico del territorio nacional en este importante distrito minero. Este programa de investigación aplicada en geociencias ha aportado decisivamente a la materialización de una serie de descubrimientos efectuados por CODELCO en la década 1995-2005. En esta década han sido descubiertos, o están en fase de exploración avanzada, los siguientes yacimientos/prospectos: Gaby, Opache, Genoveva, Toki, Viky Exótico, Quetena y Puntilla Galenosa. Una estimación conservadora de las reservas aportadas por estos descubrimientos se aproxima a un valor de 10 millones de toneladas de cobre fino, la producción aproximada de CODELCO por un período de 5 años, que equivale a 1,000 millones de dólares de cobre *in situ*. Es interesante destacar que si bien este importante aporte económico para el país es la resultante de muchos factores y estrategias de exploración de la Corporación del Cobre, el contar con un conocimiento geocientífico de primer nivel en el área de estudio, ha permitido una gran efectividad en los esfuerzos exploratorios, con resultados que son más de dos veces superiores a los de las empresas competidoras en la misma década. Al disponer el país de una institución de investigación aplicada en Ciencias de la Tierra permitió el fortalecimiento de una alianza estratégica Industria-Investigación (CODELCO-SERNAGEOMIN, o centros de investigación que utilizan instrumentos de financiamiento tipo FONDEF, Anillo, etc.), que debería fortalecerse a futuro. Sin embargo, las actuales potencialidades del SERNAGEOMIN, o las universidades, o ambos, o centros de investigación, como contraparte científica para llevar a cabo programas de investigación aplicada, muestran serias carencias que deberían ser radicalmente corregidas para así contribuir mejor al desarrollo del país en el ámbito minero.

Relativas al riesgo sísmico

El cultivo de la Sismología como disciplina en Chile se realiza esencialmente en la Universidad de Chile desde hace más de cien años. En sus inicios ésta se concentró en la caracterización sísmica y su distribución geográfica, la que permitió sentar las bases para una zonificación sísmica nacional. Un resultado relevante para la sociedad fue el mapa de Zonificación Sísmica de Chile incorporado a la Norma Sísmica Nacional a fines de los 80. Esta zonificación permite al ingeniero estructural establecer los niveles de aceleración efectiva utilizada en la definición de los espectros de diseño de las estructuras. Recientemente se ha logrado distinguir

distintos tipos de sismos en Chile que evidencian características diferentes en su grado de duración, contenido de frecuencia predominante y aceleraciones máximas. Esta nueva taxonomía de los sismos en Chile según su zona sismogénica es una línea de investigación actual que permitirá afinar las normas sismorresistentes en el país. De igual manera esta nueva mirada de la sismicidad en Chile permite distinguir sismos con mayor o menor grado de potencialidad de producir tsunamis, antecedente que es de gran importancia para el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) para establecer modelos de inundación y para su sistema de alerta temprana de maremotos. Otra reciente contribución relevante para el país es el estudio de sismos superficiales de origen cortical relacionados con los procesos de deformación frágil en la zona continental. Estudios recientes de los terremotos de Las Melosas (1958), Chusmiza (2001) y Curicó (2004), han permitido poner en evidencia una actividad sísmica relevante en la región cordillerana, que pese a no tener magnitudes importantes puede, por su corta distancia hipocentral, generar daños en zonas pobladas cercanas. La relación entre geofísicos, geólogos, geotécnicos e ingenieros estructurales se hace con ésto más evidente y es una preocupación que se ha ido acentuando los últimos años con el objeto de caracterizar de mejor manera este tipo de amenaza.

8. Propositiones específicas sobre políticas y acciones a nivel nacional

Promover una toma de conciencia a nivel nacional acerca de la gravitación que las Ciencias de la Tierra poseen en relación con los aspectos científicos, sociales y económicos del desarrollo de nuestro país.

Incorporar adecuadamente la enseñanza de las Ciencias de la Tierra en los programas de estudio de la educación básica y media.

Implementar políticas para el desarrollo, ampliación, perfeccionamiento y fortalecimiento de los programas de posgrado (doctorado y magíster) existentes en el área con el propósito de constituirlos en un referente latinoamericano. Facilitar el acceso a ellos de los estudiantes a través de una amplia disponibilidad de becas. Propender a la creación y acreditación de un Programa de Doctorado en Ciencias de la Tierra, nacional y multidisciplinario.

Llevar a cabo una política nacional de incorporación anual de jóvenes investigadores en Ciencias de la Tierra, altamente calificados en sus estudios de doctorado, a las instituciones de educación superior.

Incentivar la contratación de jóvenes profesionales, con doctorados calificados en Ciencias de la Tierra, por parte de las empresas públicas y privadas del país, *e.g.* CODELCO, ENAP, CONAMA, Ministerios, empresas mineras nacionales y transnacionales, para que realicen investigación aplicada y constituyan contrapartes activas en los planes de desarrollo conjunto industria-academia.

Promover la interacción de los centros universitarios que investigan e imparten docencia en Ciencias de la Tierra con empresas nacionales con el objeto de llevar a cabo investigaciones conjuntas y seleccionar temas para la realización de memorias y tesis. Desarrollar células de investigación aplicada con financiamiento mixto entre el Estado y las empresas.

Establecer la infraestructura analítica necesaria para la realización de investigaciones acordes con el grado de desarrollo alcanzado por las Ciencias de la Tierra en el mundo y con las exigencias de programas de postgrado del más alto nivel. Al respecto se propone la creación de una red de recursos a nivel nacional, cuyo uso, mantención, reemplazo y nuevas adquisiciones, sean compartidos por todas las instituciones involucradas en Ciencias de la Tierra. Para tal efecto se

sugiere la creación de fondos sectoriales de mayor envergadura en CONYCIT destinados a compras de equipos analíticos, buque oceanográfico, equipamiento geofísico de última generación y otros.

Incrementar significativamente el presupuesto de CONICYT para posibilitar un aumento del número de proyectos concursables, particularmente los FONDECYT.

Reforzar y ampliar las redes internet en Ciencias de la Tierra que informan sobre las actividades de los distintos centros donde estas se cultivan. Ello contribuirá, entre otros aspectos, a guiar y motivar a potenciales estudiantes para su ingreso a las carreras del área.

Fomentar políticas de investigación sistemática del territorio nacional lo que implica crear o fortalecer las instituciones técnicas que el país necesita, *e.g.* Servicio Geológico Nacional, Servicio Sismológico, estructurados de acuerdo a las normas y estándares que rigen internacionalmente a las instituciones que realizan investigación aplicada en Ciencias de la Tierra.

Incentivar y fortalecer el desarrollo de grupos de investigación aplicada multidisciplinaria en Ciencias de la Tierra en entidades nacionales como el SERNAGEOMIN, CODELCO, ENAP.

Establecer entidades reguladoras que elaboren normas básicas para una mejor interacción entre científicos nacionales y extranjeros en proyectos de investigación cooperativa que se realizan en el territorio nacional. Con este objeto se propone la creación de un comité consultivo de pares científicos, bajo el alero de CONICYT, que regule la firma y alcance de convenios de investigación multinacionales, cautelando los intereses nacionales y la concurrencia de contrapartes idóneas.

Solidarizar activamente con países de menor desarrollo científico que el nuestro, en particular del ámbito latinoamericano, en materias relativas a las Ciencias de la Tierra.

Juan Carlos Castilla (*Coordinador*), Miriam Fernández (*Coordinadora alterna*),
Enzo Acuña, Nibaldo Bahamonde, Alejandro Buschmann,
Sergio Navarrete, Osvaldo Ulloa y Eleuterio Yáñez

Resumen- El capítulo de Ciencias del Mar (CDM) contiene información curricular, en especial sobre publicaciones científicas (2000-2004), de 563 investigadores que trabajan en el área en el país. De ellos, de acuerdo a los parámetros sobre un número mínimo y tipo de publicaciones acordados por el Comité, se identificaron 157 calificados como Investigadores Activos (IA). Esos investigadores tienen un promedio de 50 años y 23,6% son mujeres. Nueve universidades del país albergan 83% de los IA y 73,9% de ellos poseen el grado académico de Doctor. Las principales áreas de investigación son la Oceanografía biológica y la Acuicultura. Las áreas más deficitarias son las Oceanografías geológica, física y química. En el quinquenio analizado estos investigadores publicaron un total de 1.621 artículos científicos (72,3% en revistas ISI: las publicaciones multi-autores fueron registradas más de una vez). El análisis global sobre financiamiento para investigación en el área, respecto de fondos competitivos, indica que en el quinquenio se asignaron aproximadamente 116 millones de dólares: un 70% de aporte del Estado y otras entidades (ej. Fundaciones) y un 30% como fondos de contraparte de empresas privadas (principalmente ligadas a cultivos marinos).

Anualmente la matrícula de pregrado de estudiantes en CDM sobrepasa los 1.200 cupos y existen 8 programas de Doctorado y 10 de Magíster relacionados directa o indirectamente con las CDM. Uno de los resultados más significativos es la existencia en 2005 de más de 200 estudiantes matriculados en esos programas y de 32 posdoctorandos relacionados con el área. En una comparación de carácter internacional (Brasil, Argentina, México, Sud Africa, Suecia, Irlanda, Finlandia, Nueva Zelandia) las CDM en Chile están muy bien posicionadas en cuanto a productividad científica, pero faltan inversiones, como embarcaciones y equipos mayores. En el capítulo se analizan las fortalezas y debilidades de las CDM en Chile y señalan las prioridades en términos de desarrollo de áreas o especializaciones, formación de personal académico, profesional y técnico y necesidad de establecer consorcios inter-universitarios y en relación con la inversión de fondos. Finalmente, se destacan 6 ejemplos de contribuciones concretas de las CDM al desarrollo del país y tópicos emergentes.

1. Introducción: ámbito y criterios para la selección de investigadores activos en Ciencias del Mar

El Comité de Estudio de las Ciencias del Mar (CDM) se abocó a la tarea de obtener información curricular que permitiese conocer en profundidad los indicadores que marcan la calidad, productividad científica, inserción internacional, fuentes de financiamiento y formación de pre y posgrado de los investigadores que generan conocimiento en áreas de las CDM en Chile, la situación comparativa internacional del área y los aportes de ésta al país. Al mismo tiempo, el Comité compiló un directorio de Investigadores Activos (IA) y analizó la situación actual por medio de indicadores similares a los obtenidos por la Academia Chilena de Ciencias en el Capítulo de CDM (Santelices et al. 1993), donde se consideró la amplitud, multidisciplinariedad e interconexiones de las CDM (además ver Sánchez y Castilla 1982, Vergara y Güell 1988, Castilla 2003, Muñoz y López 2004). Las CDM son de naturaleza multidisciplinaria y reúnen un conjunto de disciplinas científicas, de orígenes y orientaciones diversas, que son usadas para la comprensión

global del ambiente marino (UNESCO 1981). Parte de este conjunto ha sido asociado a los nombres genéricos de Oceanografía u Oceanología y sus desarrollos han llevado a adjetivar la Oceanografía como: biológica, física, química, geológica y pesquera. A su vez, cada una de ellas comprende subconjuntos específicos e interconectados (Ej. Ecología marina, Cultivos, Taxonomía, Geofísica, Oceanografía costera y de altura, etc.).

Uno de los objetivos centrales de este estudio es la generación de un directorio de Investigadores Activos. Para elaborarlo en el área de las CDM se consideraron, alternativamente, los siguientes requisitos mínimos: (1) Haber publicado durante el quinquenio 2000-2004 un mínimo de 3 trabajos en revistas indexadas ISI (Internacional Science Index) o (2) haber publicado un total de 5 trabajos científicos conformados por 1 o 2 trabajos en revistas ISI y además, respectivamente, 4 o 3 trabajos en revistas indexadas como SCIELO (Scientific Electronic Library Online) o en alguna revista chilena con comité editorial. La publicación de por lo menos un trabajo ISI durante el quinquenio fue condición esencial para conformar el criterio de IA. Los capítulos de libros de editoriales internacionales de prestigio (se usó una lista de editoriales confeccionada por la Comisión Nacional Científica y Tecnológica, CONICYT) se consideraron como equivalentes a un trabajo ISI y los de otras editoriales (nacionales o extranjeras) como equivalentes a un trabajo SCIELO o de revista nacional con comité editorial. Todo lo anterior sin considerar el orden de las autorías. Se consideró como publicación solo la efectivamente publicada o aquella “aceptada y en prensa”. Los IA no incluyen alumnos de pre o posgrado ni técnicos, pero incluye a posdoctorandos. Se usaron listas de investigadores en CDM disponibles en: Sociedad Chilena de Ciencias del Mar (SCHCM), Comité Oceanográfico Nacional (CONA), CONICYT, Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF). En base a esta información el Comité preparó una encuesta distribuida a 563 investigadores residentes en Chile.

Este estudio no constituye un ejercicio de evaluación académica sino la identificación de IA en CDM, considerando sus publicaciones durante el quinquenio 2000-2004. El análisis permite evaluar las características de esta área de las ciencias y sus fortalezas, debilidades y tópicos emergentes, en la perspectiva del análisis de la Academia Chilena de Ciencias del año 1993 y otros relacionados (Santelices et. al. 1993, Castilla 2003).

2. Historia reciente de la disciplina en Chile

El *Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena*, editado por la Academia Chilena de Ciencias en 1993 (Santelices et al. 1993), incluye una síntesis histórica del desarrollo de las CDM hasta esa fecha. Desde entonces se ha constatado un progreso creciente y una diversificación en las actividades de investigación en esta área. En este quinquenio han surgido y se han consolidado nuevos grupos y se ha observado también una disminución y, a veces, extinción de las actividades de otros. Durante el período se ha tenido que lamentar el fallecimiento de pioneros importantes que colaboraron con entusiasmo y eficiencia en el desarrollo de algunas líneas de investigación como ecología litoral y biogeografía marina: Jorge Tomicic y Patricio Sánchez; geología marina, José Corvalán; anatomía funcional de peces, Eduardo De la Hoz; oceanografía química, Jorge Olivares y limnología, Hugo Campos. Otros investigadores se acogieron a jubilación. Entre ellos es posible destacar a Nibaldo Bahamonde (Premio Nacional de Ciencias), José Stuardo, Luis Ramorino, María Teresa López, Sergio Avaria, Helmuth Sievers, Lisandro Chuecas, Omar Rojas e Ismael Kong. Todos ellos influyeron de un modo muy significativo, en investigación, docencia universitaria y formación de estudiantes en CDM.

El Plan Oceanográfico Nacional elaborado por el CONA se actualizó durante este período. El buque de investigación oceanográfica de la Armada de Chile, “AGOR Vidal Gormaz”, que recién se había incorporado al país poco antes de finalizar el análisis anterior de la Academia, con la

colaboración de las instituciones científicas (especialmente universitarias) que forman parte del CONA, ha explorado exitosamente parte importante del mar chileno en lo que se refiere a Oceanografía geológica, física, química y biológica. Uno de los resultados más importantes es la reciente identificación de Hidratos de Gas en el talud continental de Chile central. El Programa CIMAR, administrado por el CONA con la participación y contraparte de la mayoría de las universidades nacionales, ha generado el conocimiento de línea base necesario para el uso de las aguas interiores de la zona de canales y fiordos australes. El Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) ha continuado recolectando datos oceanográficos, biológicos y pesqueros destinados a calcular las poblaciones explotables, buscar nuevos recursos vivos de interés comercial y obtener información que permitan establecer bases científicas más sólidas y confiables para regular y administrar las pesquerías. Durante este período también se han enfatizado los estudios relacionados con el fenómeno de El Niño y La Niña y sus efectos en los países ribereños del Pacífico Americano, por sus acciones sobre el océano, el clima y la economía de estos países.

En el período ha aumentado el número de contribuciones relativas al desarrollo, crecimiento, ciclo de vida y cultivo de algunas especies marinas chilenas, en especial de aquellas con potencial económico. Sin embargo, los mayores éxitos en cultivos comerciales en Chile se refieren a especies exóticas (salmones, abalones, ostra japonesa). También es importante dejar constancia del reciente interés por contribuir a divulgar los conocimientos científicos relacionados con el área, lo que se ha expresado en libros para la enseñanza media y universitaria. Se han publicado también libros de síntesis sobre aspectos del mar de Chile, algunos de los cuales han tenido ayuda del sector privado. Investigadores chilenos han colaborado activamente en obras de síntesis de carácter internacional.

Durante este período la SCHCM, junto con las universidades chilenas, ha continuado sus actividades, destacándose especialmente la organización anual de su congreso nacional. Una de las iniciativas más sobresalientes durante el período ha sido la consolidación de los Programas del Fondo Nacional de Áreas Prioritarias (FONDAP). Entre 1997 y 2001 se desarrolló con éxito un plan de 5 proyectos inter-universitarios de investigación FONDAP en Oceanografía y Biología Marina, coordinado desde CONICYT. Dicho plan aportó una suma de aproximadamente 4 millones de dólares para el desarrollo de investigaciones inter-universitarias de primera línea en CDM: Circulación e Interacciones Físico-Biológicas en el Sistema de la Corriente de Humboldt; Ecología y Conservación Marina, Algas Marinas, Ecofisiología, Historias de vida de Invertebrados marinos y Estudios científicos sobre peces cultivables. A partir del año 2001 el Programa FONDAP fue modificado con una estructura de corte institucional. En esta nueva etapa el área de las CDM ha obtenido financiamiento para dos programas FONDAP: (1) Oceanografía del Pacífico Sur Oriental (COPAS), centrado en la Universidad de Concepción, (2) Ecología y Biodiversidad (CASEB), centrado en la Pontificia Universidad Católica de Chile, donde un subconjunto de científicos trabajan en sistemas marinos. En esas universidades existen programas de doctorado acreditados, directa o lateralmente relacionados con las CDM. También cabe destacar el desarrollo del Fondo de Investigación Pesquera (FIP), por el aumento del financiamiento y del número de proyectos en pesquerías y acuicultura, y por su aporte en la administración de dichas actividades económicas y el programa CIMAR liderados y coordinados por el Comité Oceanográfico Nacional (Silva y Palma 2005), así como el aporte del FONDEF, por su contribución al desarrollo productivo.

3. Análisis global de las Ciencias del Mar en Chile

3.1. Número y Características de los Investigadores

Se trabajó con una lista de 563 nombres de profesionales o especialistas en CDM residentes en Chile: 378 asociados a universidades, 96 a institutos, 50 a instituciones del Estado, 15 a

empresas privadas y 24 a otras instituciones (ejemplo: Fundación Huinay y Museo Nacional de Historia Natural). El Comité elaboró una encuesta que se remitió a todos ellos, recibándose 202 respuestas. Adicionalmente se realizó una búsqueda curricular en las bases de datos de CONICYT, encontrándose información adecuada para otros 30 (total 232). De ellos calificaron como Investigadores Activos en CDM (ver definición arriba) 157 investigadores: 145 asociados a universidades, 7 a Institutos, 1 a institución del Estado, 1 a empresa privada y 3 a otras instituciones. De los 157 IA en CDM, 37 (23,6%) son mujeres y 120 (76,4%) hombres. El rango de distribución por edades se extiende entre 31 y 72 años, con un promedio de 50 años (D.E.= 10; Figura 17.1). Además, 116 (73,9%) de estos IA poseen el grado académico de doctor (Figura 17.2), los cuales han obtenido sus grados en universidades de Europa (38), de Chile (29), de USA (29), de Canadá (10), de Japón (4) y de Latinoamérica (4). No hay información para los 2 restantes.

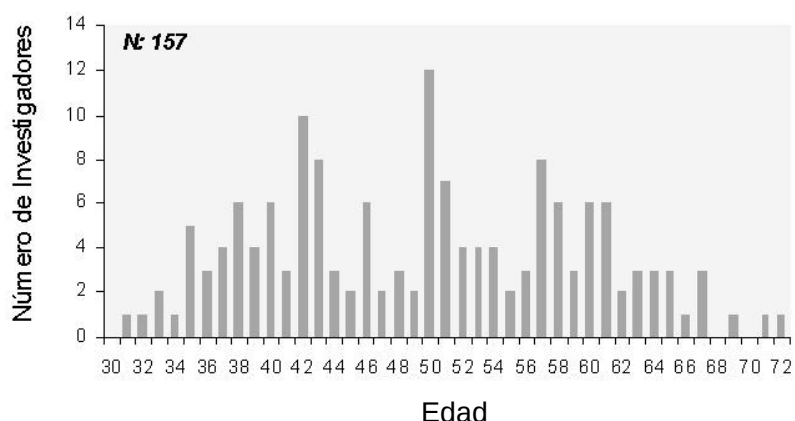


Figura 17.1. Estructura por edades del grupo de Investigadores Activos en CDM, quinquenio 2000-2004.

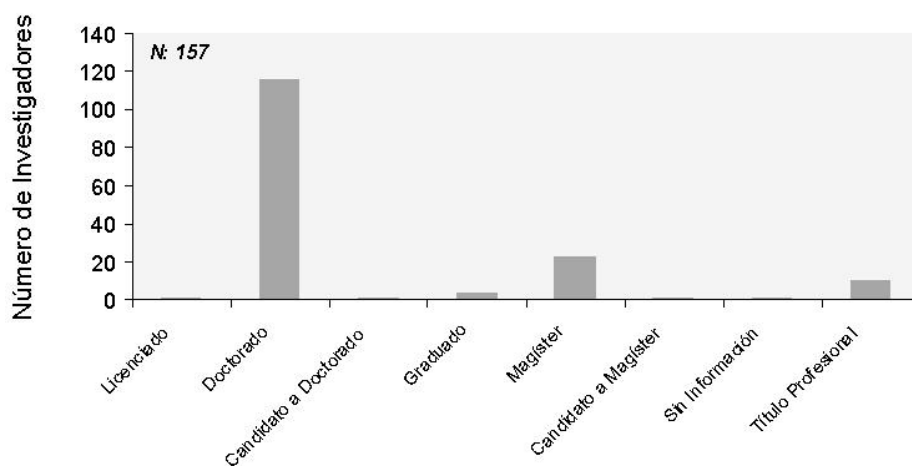


Figura 17.2. Número de Investigadores Activos según grados académicos y títulos profesionales, quinquenio 2000-2004.

Las principales áreas de investigación seleccionadas por los IA en CDM son: Oceanografía biológica (59,9%), Acuicultura (32,5%) y Otros (41,4%). En varios casos los investigadores indicaron más de un área, por ello la suma es mayor a 100%. Las áreas menos representadas son: Oceanografía geológica (2,6%), física (8,9%) y química (10,2%) (Figura 17.3).

Dentro de las áreas indicadas en el párrafo anterior se distinguieron 40 sub-áreas. Las indicadas con mayor frecuencia son: Ecología marina (sub-área 3), Taxonomía, Biogeografía y Biodiversidad marina (sub-área 6), Acuicultura de invertebrados (sub-área 32), Invertebrados (sub-área 34) y Otros (sub-área 40) (Figura 17.4).

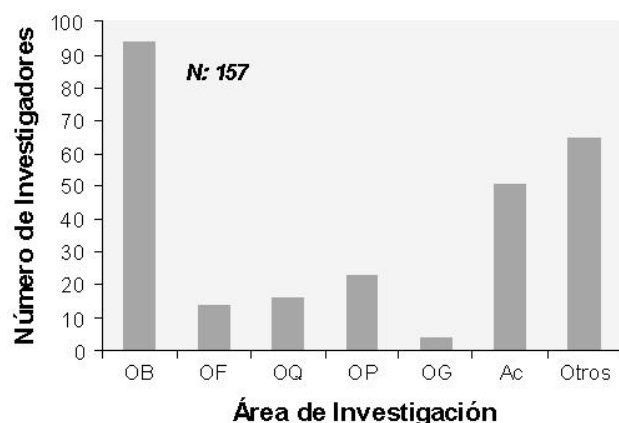


Figura 17.3. Número de Investigadores Activos por área de investigación. OB= Oceanografía biológica, OF= Oceanografía física, OQ= Oceanografía química, OP= Oceanografía pesquera, OG= Oceanografía geológica, Ac= Acuicultura y Otros= Otras áreas asociadas a las CDM.

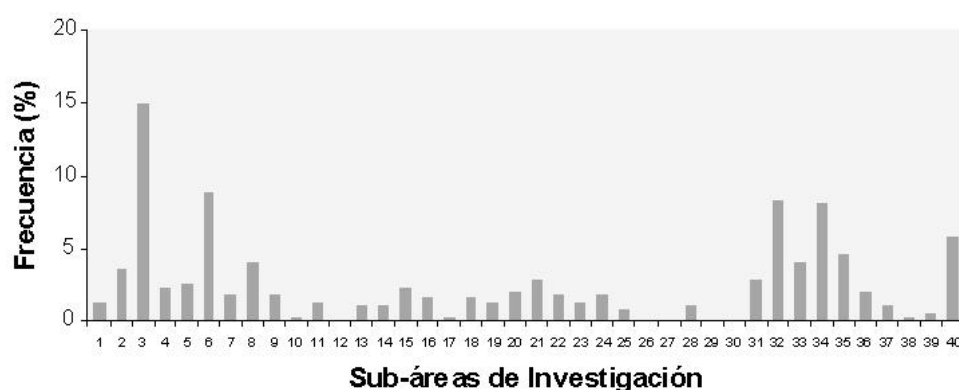


Figura 17.4. Frecuencia de sub áreas de investigación en CDM seleccionadas por Investigadores Activos. 1= Toxicología (OB); 2= Ecofisiología (OB); **3= Ecología marina (poblaciones, comunidades, ecosistemas; OB)**; 4= Microbiología marina (OB); 5= Enfermedades, patologías (OB); **6= Taxonomía, biogeografía y biodiversidad marina (OB)**; 7= Productividad y bio-óptica (OB); 8= Otro (OB); 9= Procesos de circulación (OF); 10= Paleoceanografía (OF); 11= Oceanografía física costera (OF); 12= Modelación de olas (OF); 13= Otro (OF); 14= Contaminación química, erosión a través de sedimentos (OQ); 15= Químicos de la columna de agua y geoquímica de los sedimentos (OQ); 16= Química ambiental y capacidad de carga de cuerpos lacustres (OQ); 17= Geoquímica orgánica (OQ); 18= Oceanografía química costera (OQ); 19= Otro (OQ); Oceanografías Pesqueras: 20= Bentónica; 21= Pelágica; 22= Demersal; 23= Modelación (OP); 24= Manejo (OP); 25= Otro (OP); 26= Geología marina (OG); 27= Geoquímica ambiental y exploración de recursos (OG); 28= Paleoceanografía, paleoclimatología e hidrogeoquímica (OG); 29= Geomorfología, morfogénesis y morfodinámica litoral y submarina (OG); 30= Otro (OG); 31= Acuicultura de Peces; **32= Acuicultura de Invertebrados**; 33= Acuicultura de Algas; Otras Áreas asociadas a las CDM: **34= Invertebrados**; 35= Algas; 36= Vigilancia ambiental, marea roja; 37= Modelación; 38= Economía; 39= Legislación; 40= Otro. Se indican en **negrita** las áreas indicadas con mayor frecuencia por los investigadores.

Las instituciones con mayor número de IA en CDM (más de 5) corresponden a universidades: Universidad de Concepción (UDECE), Universidad Austral de Chile (UACH), Universidad Católica del Norte (UCN), Universidad de Chile (UCH), Pontificia Universidad Católica de Chile (PUCCH), Universidad de Los Lagos (ULAGOS), Universidad de Antofagasta (UANTOF), Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC) y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) (Figura 17.5). En el resto de las instituciones el número de IA es menor a cinco: Instituto de Fomento Pesquero (IFOP); Universidad Santo Tomás (UST); Universidad de Valparaíso (UV);

Universidad de Magallanes (UMAG); Universidad de Santiago de Chile (USACH) Instituto Antártico de Chile (INACH); Universidad Arturo Prat (UNAP); Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA), Museo Nacional de Historia Natural (MNHN); Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), Universidad del Mar (UMAR) y Universidad de La Serena (ULS).

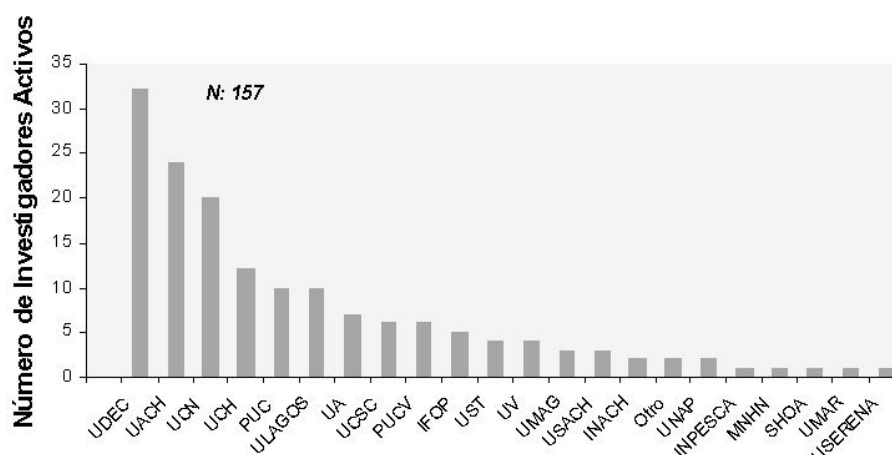


Figura 17.5. Número de Investigadores Activos en CDM que trabaja en cada institución. En porcentajes: UDEC= 20,4%; UACH= 15,3%; UCN= 12,7%; UCH= 7,6%; PUCCH= 6,4%; ULAGOS= 6,4%.

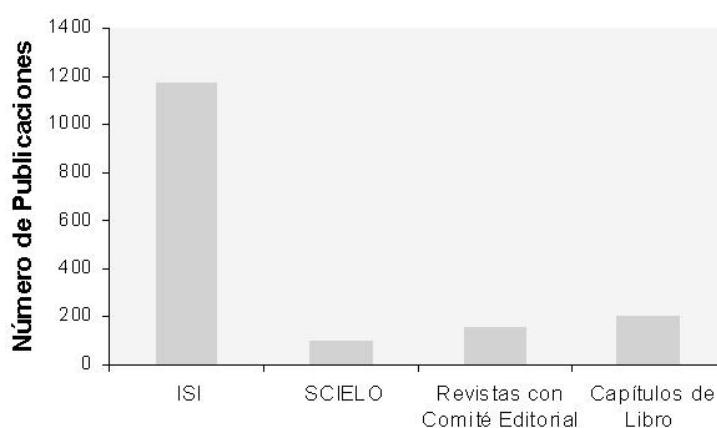


Figura 17.6. Número de artículos publicados por el grupo de Investigadores Activos en CDM en el período 2000-2004, según tipo de publicación.

3.2 Productividad Científica

Durante el quinquenio analizado los IA en CDM publicaron 1.621 trabajos: 1.172 (72,3%) artículos en revistas ISI; 200 (12,3%) capítulos de libros, 151 (9,3%) artículos en revistas chilenas con comité editorial y 98 (6,1%) artículos en revistas SCIELO (Figura 17.6). Las publicaciones multiautores fueron registradas más de una vez. La moda para las publicaciones en CDM durante el quinquenio fue de 3 publicaciones por IA aunque el 60% de los IA publicó entre 3 y 8 trabajos ISI en el período (Figura 17.7).



Figura 17.7: Número de IA en CDM, según número de publicaciones en revistas ISI (14% con 3 publicaciones, 12,1% con 4 publicaciones, 11,5% con 5 publicaciones, 7,6% con 6 publicaciones, 7,6% con 7 publicaciones, 6,4% con 8 publicaciones, etc.).

3.3. Financiamiento

Para establecer los montos del financiamiento científico en CDM en Chile para el quinquenio 2000-2004, establecer las áreas de investigación a la que se asignan dichos montos, identificar tanto las principales fuentes como también las instituciones albergantes y determinar la proporción de estos montos que son asignados a IA, se realizaron búsquedas en las siguientes fuentes de financiamiento: (1) SHOA (CIMAR y Cruceros oceanográficos), (2) COPEC-UC, (3) CORFO-INNOVACHILE, (4) FIP, (5) CONICYT (FONDAP, FONDECYT, FONDEF), (6) Fundación Andes y (7) Direcciones de Investigaciones de Universidades. Para el quinquenio se recopiló información para 535 proyectos para los cuales se obtuvo la siguiente información: (1) fuente, (2) año de inicio del proyecto, (3) título, (4) monto total asignado por parte del Estado y de contraparte (empresas, universidades), (5) institución albergante y (6) investigadores involucrados. Sobre la base de esta información se categorizaron los proyectos en 4 grandes áreas de investigación: (1) Cultivos, (2) Pesquerías, (3) Oceanografía, (4) Otros (incluye ecología, taxonomía, censos, genética, biogeografía, contaminación, marea roja, etc.). Aunque la mayoría de los proyectos sobre mareas roja están relacionados con pesquerías, éstos fueron clasificados en Otros porque no se centran estrictamente en especies de interés comercial (criterio utilizado para categorizar proyectos dentro de cultivos o pesquerías). Los proyectos de Cultivo fueron categorizados según tuvieran como foco especies nativas o exóticas. Los montos se indican en millones de dólares.

El financiamiento en CDM para el período 2000-2004 ascendió en total a 116 millones de dólares. El monto promedio asignado anualmente a financiamiento científico-tecnológico fue de 23 millones, aunque los montos asignados anualmente, considerando todas las fuentes de financiamiento, variaron sustancialmente (Figura 17.8). Aproximadamente 70% del financiamiento proviene de las fuentes mencionadas (Estado o Privados) y el 30% restante corresponden a fondos de contraparte de empresas privadas o instituciones albergantes (ej. universidades) o empresas privadas ligadas fundamentalmente a Cultivos o Pesquerías. El financiamiento ligado a empresas privadas en la mayoría de los casos no corresponde a dinero fresco, sino infraestructura pre-existente y valorización de la fracción horaria de dedicación a los proyectos de profesionales ya contratados de las mismas. Llama la atención la falta de financiamiento por parte de las empresas privadas para solventar proyectos, en especial por el gran impacto económico que ha tenido el conocimiento científico adquirido y por haberse comprobado la buena calidad de la formación de profesionales y técnicos, para apoyar el desarrollo económico de la industria de la acuicultura en Chile. Lo mismo es válido para otras empresas pesqueras, en las cuales sólo una fracción de su aporte en impuestos es utilizada para financiar la investigación científica, sin que exista un aporte empresarial directo. Además, los impuestos de la industria pesquera son invertidos casi exclusivamente en beneficio del sector productivo.

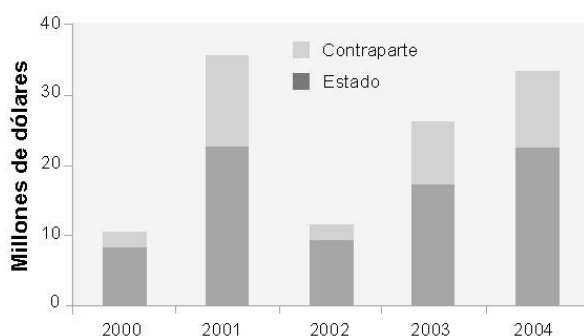


Figura 17.8: Montos aportados para investigación en CDM por Fuentes de Financiamiento y por las contrapartes durante el quinquenio 2000 a 2004.

Las fuentes de financiamiento que aportaron mayores fondos en el quinquenio 2000-2004 fueron FONDEF, FIP y CORFO (Figura 17.9). Esta tendencia es independiente del origen de los fondos (Estado, privados o contraparte de empresas o instituciones). El 79% del financiamiento proviene de estas tres fuentes, seguidos por FONDAP (9%) y FONDECYT (7%). El resto de las fuentes de financiamiento es menor, aunque en algunos casos los fondos fueron adjudicados mayoritariamente a una sola institución y han tenido un gran impacto: Fundación Andes y la Agencia Sueca de Cooperación para la Investigación (SAREC) en relación con proyectos de oceanografía en la UDEC. Los IA en CDM acceden a sólo 28% de los fondos nacionales de investigación. Las principales áreas de investigación en CDM que recibieron financiamiento fueron Acuicultura (47%), Pesquerías (21%) y en menor grado, Oceanografía (14%; Fig. 17.10). El 18% restante es asignado a las otras áreas de investigación, incluidas ecología, biogeografía y taxonomía. Es importante destacar que en los últimos cinco años en Chile no se ha financiado, por parte de FONDECYT, ningún proyecto dirigido directamente a la Conservación marina; aunque el FIP financia proyectos sobre áreas marinas protegidas. Esta situación es preocupante, debido a la fuerte dependencia económica del país de la producción marina, la creciente explotación pesquera y la floreciente industria de cultivos, sobre todo de especies exóticas (salmones, abalones).

Esa tendencia también se ve reflejada en la proporción de financiamiento que es asignado a instituciones relacionadas con explotación pesquera y cultivos (ej. IFOP, Fundación Chile) que capitalizan la mayor cantidad de fondos de investigación, tecnología o ambos (Figura 17.11). La Universidad de Concepción es la segunda institución receptora de fondos de investigación en CDM, principalmente por proyectos pesqueros y de acuicultura y secundariamente por fondos asignados a oceanografía (Figura 17.11). Durante el quinquenio analizado las universidades UCN, ULAGOS, UANTOF, UACH y PUCCH, captaron en promedio 6,2 millones de dólares en fondos de investigaciones para CDM de las diferentes fuentes.

En el área de las CDM, la mayoría de las relaciones empresa privada-investigación son altamente variables en la forma, montos e impactos científicos logrados, como publicaciones y patentes. En este estudio no ha sido posible conseguir información fidedigna sobre el número de patentes en el área de CDM para el quinquenio analizado. Sin embargo, información global (no confirmada) indica que existirían alrededor de 67 solicitudes de patentes relacionadas con el área, pero un número importantes de ellas serían para patentes externas (patentes de otros países que se protegen en Chile).

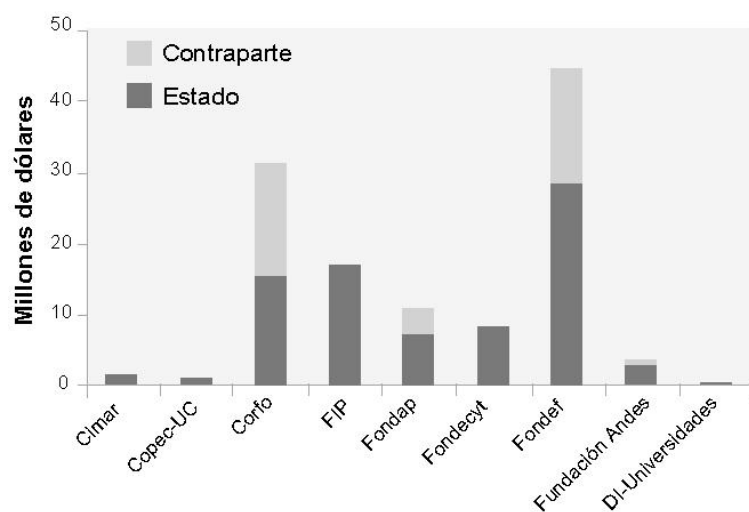


Figura 17.9: Financiamiento de las investigaciones en CDM por el Estado y contrapartes (empresas).

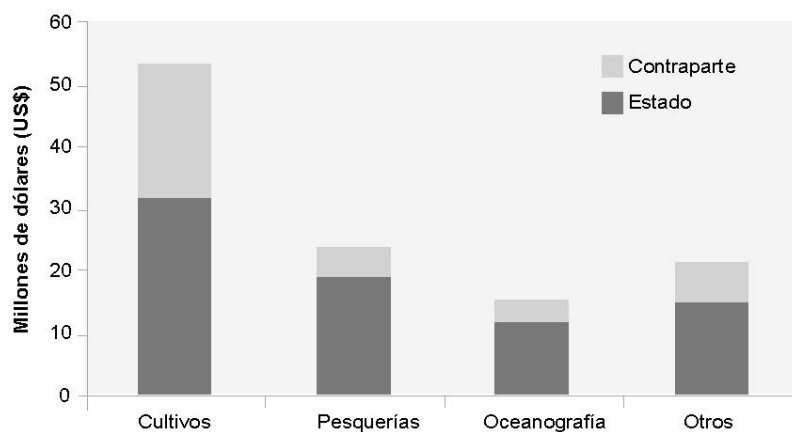


Figura 17.10: Financiamiento otorgados por áreas temáticas principales de investigación

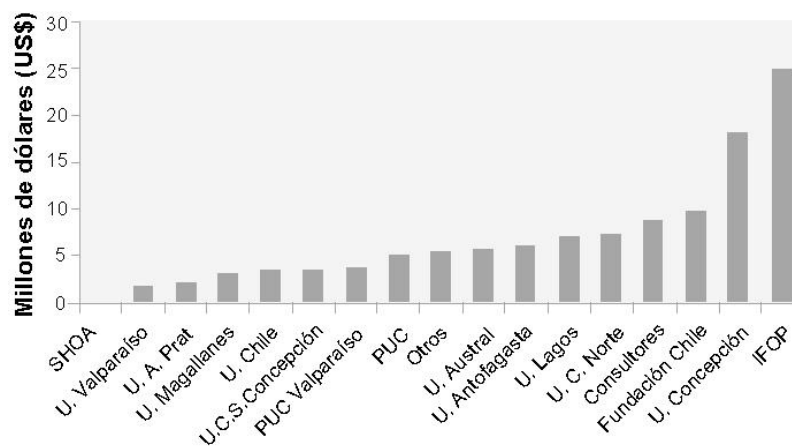


Figura 17.11: Financiamiento recibido por Universidades, Centros, Institutos del Estado y Consultores (US\$ 116 millones).

3.4. Formación de Pregrado

Durante los últimos cinco años aumentaron sistemáticamente las vacantes a disposición de los estudiantes interesados en CDM, hasta llegar el año 2004 a 1.280 (Tabla 17.1).

Tabla 17.1. Carreras Profesionales de Ciencias y Tecnologías del Mar y cupos de cada una, ofrecidas por las universidades del Consejo de Rectores, universidades privadas e Institutos Profesionales, período 2000 – 2004. Fuente: Tarifeño (2004) y Consejo Superior de Educación (www.cse.cl).

UNIVERSIDAD	CARRERA	CUPOS				
		2000	2001	2002	2003	2004
Universidad Arturo Prat	Biología Marina	30	30	30	35	35
Universidad Arturo Prat	Biología Pesquera	30	30	30	35	35
Universidad de Antofagasta	Ingeniería en Acuicultura	45	45	45	45	45
Universidad de Antofagasta	Ecología Marina	50	50	50	50	50
Universidad Católica del Norte	Biología Marina	50	50	50	50	50
Universidad Católica del Norte	Ingeniería en Acuicultura	50	50	50	50	50
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	Ingeniería Pesquera	50	50	50	30	30
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	Ingeniería en Acuicultura	—	—	—	30	30
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	Oceanografía	20	20	20	20	20
Universidad de Valparaíso	Biología Marina	30	30	31	32	30
Universidad de Valparaíso	Ingeniería Oceánica	—	—	—	43	50
Universidad del Mar	Ingeniería en Acuicultura	—	—	—	—	15
Universidad Nacional Andrés Bello	Biología Marina	—	70	60	60	60
Universidad Nacional Andrés Bello	Ingeniería en Acuicultura	100	70	60	60	60
Universidad Católica de la Santísima Concepción	Biología Marina	80	80	75	60	60
Universidad Católica de la Santísima Concepción	Ingeniería en Acuicultura y Pesca	60	60	50	50	50
Universidad Católica de la Santísima Concepción	Químico Marino	40	40	40	40	40
Universidad Católica de la Santísima Concepción	Ingeniería Marítimo Portuaria	—	—	75	70	70
Universidad de Concepción	Biología Marina	65	65	65	65	65
Universidad de Concepción	Ingeniería en Biotecnología Marina y Acuicultura	—	—	—	—	50
Instituto Profesional Diego Portales	Ingeniería en Acuicultura	—	—	—	50	40
Universidad Católica de Temuco	Ingeniería en Acuicultura	50	50	50	50	60
Universidad Austral (Valdivia)	Biología Marina	45	45	45	45	45
Universidad Austral (Valdivia)	Ingeniería Naval	60	60	60	60	60
Universidad Austral (P. Montt)	Ingeniería en Acuicultura	40	40	40	40	40
Universidad de Los Lagos (Osorno)	Biología Marina	40	40	40	40	40
Universidad de Los Lagos (Osorno)	Ingeniería en Acuicultura	40	40	40	40	40
Universidad de Los Lagos (P.Montt)	Ingeniería en Medio Ambiente y Manejo Costero	—	—	—	40	40
Universidad de Magallanes	Biología Marina	—	—	—	—	20
	Totales	915	1.015	1.056	1.190	1.280

En 2004 se ofrecieron 29 alternativas de 12 carreras profesionales de pregrado, todas de 10 semestres de duración, en 11 universidades del Consejo de Rectores, 2 privadas y 1 instituto profesional, siendo Ingeniería en Acuicultura con 10 y Biología Marina con 8 las carreras más comunes (Tabla 17.1). La actual duración de las carreras en CDM ya es un problema para los planes

de asimilar esos programas de formación profesional con las normas europeas. Sin embargo, varias de las carreras se han incorporado al proceso de acreditación de la Comisión Nacional de Acreditación de Pregrado y, tanto en las carreras de Biología Marina como en las carreras de Ingeniería en Acuicultura, las universidades están desarrollando proyectos MECESUP, donde se incorpora la equivalencia curricular, nuevas formas de enseñanza-aprendizaje y la movilidad estudiantil entre ellas. Esto representa un avance con respecto a la iniciativa tradicional hasta este momento de sólo modificar planes de estudios eliminando o refundiendo asignaturas, pero sin hacer un cambio sustancial en cuanto a las orientaciones y modalidades de enseñanza (Tarifeño, 2004).

Durante el quinquenio analizado se incorporaron dos nuevas alternativas en Biología Marina: UNAB (2000) y UMAG (2004). En cuanto a las Ingenierías en Acuicultura, aparecieron tres alternativas: el Instituto Profesional Diego Portales de Concepción en 2003, la PUCV y la Universidad del Mar en Viña del Mar el 2004. Otras dos alternativas, la Universidad de Puerto Varas en esa misma ciudad y la Universidad Santo Tomás en Puerto Montt ofrecieron Ingeniería en Acuicultura el 2005, para iniciarse el 2006, y por este motivo no fueron incluidas en el análisis del período 2000 – 2004.

Tabla 17.2. Cupos totales ofrecidos, número de carreras profesionales de Ciencia y Tecnología del Mar y porcentajes por Universidad e Instituto Profesional, año 2004, por Región. Fuente: Tarifeño (2004) y Consejo Superior de Educación (www.cse.cl).

UNIVERSIDAD	CUPOS	N	%	Región	%
Universidad Arturo Prat	70	2	5,5	I	5,5
Universidad de Antofagasta	95	2	7,4	II	7,4
Universidad Católica del Norte	100	2	7,8	IV	7,8
Universidad Nacional Andrés Bello	120	2	9,4	RM	9,4
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	80	3	6,3	V	13,7
Universidad Valparaíso	80	2	6,3	V	
Universidad del Mar	15	1	1,2	V	
Universidad Católica de la Santísima Concepción	220	4	17,2	VIII	29,3
Universidad de Concepción	115	2	9,0	VIII	
Instituto Profesional Diego Portales	40	1	3,1	VIII	
Universidad Católica de Temuco	60	1	4,7	IX	4,7
Universidad Austral de Chile	145	3	11,3	X	20,7
Universidad de Los Lagos	120	3	9,4	X	
Universidad de Magallanes	20	1	1,6	XII	1,6
TOTAL	1.280	29	100		100

Los cupos ofrecidos en 2004 se concentraron en las UCSC y UACH con 28,5% de la oferta y geográficamente en la VIII y X regiones con un 50% de la misma (Tabla 17.2), mientras que por carrera profesional durante el año 2004, éstos se concentraron en las carreras de Biología Marina e Ingeniería en Acuicultura, con el 61,3% del total (Tabla 17.3).

Al agrupar los cupos totales ofrecidos por tipos de carrera profesional durante el año 2004, se observa que éstos se concentran en las carreras relacionadas con las Ingenierías, con un 57% del total (Tabla 17.4).

Tabla 17.3. Cupos ofrecidos por Carrera Profesional de Ciencia y Tecnología del Mar y porcentaje de cada una de ellas, en las universidades del Consejo de Rectores, privadas e Institutos Profesionales, año 2004. Fuente: Tarifeño (2004) y Consejo Superior de Educación (www.cse.cl).

Carrera	Cupos	%
Biología Marina	405	31,6
Ingeniería en Acuicultura	380	29,7
Ingeniería Marítimo Portuaria	70	5,5
Ingeniería Naval	60	4,7
Ecología Marina	50	3,9
Ingeniería en Biotecnología Marina y Acuicultura	50	3,9
Ingeniería en Acuicultura y Pesca	50	3,9
Ingeniería Oceánica	50	3,9
Ingeniería en Medioambiente y Manejo Costero	40	3,1
Químico Marino	40	3,1
Biología Pesquera	35	2,7
Ingeniería Pesquera	30	2,3
Oceanografía	20	1,6
TOTAL	1.280	100

Tabla 17.4. Tipos de carreras profesionales de pregrado de Ciencia y Tecnología del Mar y porcentaje, ofrecidas en las universidades del Consejo de Rectores, privadas e Institutos Profesionales, año 2004. Fuente: Tarifeño (2004) y Consejo Superior de Educación (www.cse.cl).

TIPO DE CARRERAS	CUPOS	%
Biologías – Ecologías	490	38,3
Ingenierías	730	57,0
Oceanografía - Químico	60	4,7
TOTAL	1.280	100

Paralelamente, el año 2004 se ofrecieron 9 alternativas de 6 carreras técnicas en 5 universidades del Consejo de Rectores, 1 privada y 4 institutos profesionales, siendo Ingeniería de Ejecución en Acuicultura (3) la más frecuente (Tabla 17.5), con 165 (40,2%) cupos (Tabla 17.6).

Tabla 17.5. Carreras técnicas de Ciencias y Tecnologías del Mar, ofrecidas por las universidades del Consejo de Rectores, privadas e Institutos Profesionales, período 2000 - 2004 y cupos de cada una. Fuente: Consejo Superior de Educación (www.cse.cl).

		CUPOS				
UNIVERSIDAD	CARRERA	2000	2001	2002	2003	2004
Universidad Arturo Prat	Ing. Ejecución en Pesca y Acuicultura	35	35	35	35	35
Instituto Profesional DUOC	Ing. Ejecución en Acuicultura	40	55	47	77	60
Instituto Profesional ZIPTER	Ing. Ejecución en Pesca	25	-	60	-	50
Universidad del Mar	Ing. Ejecución en Pesca y Acuicultura	40	40	40	35	40
Instituto Profesional Diego Portales	Ing. Ejecución en Acuicultura	—	—	20	20	70
Universidad Católica de la Santísima Concepción	Técnico en Recursos del Mar	30	30	30	30	30
Universidad Católica de Temuco	Técnico Universitario en Acuicultura	—	45	45	40	40
Universidad de Los Lagos	Técnico Universitario en Acuicultura		30	30	30	30
Instituto Profesional La Araucana	Ing. Ejecución en Acuicultura	—	—	—	—	35
Universidad Magallanes	Técnico en Recursos Acuáticos	—	—	30	30	20
Total		170	235	337	297	410

Tabla 17.6. Cupos ofrecidos por Carrera Técnica de Ciencias y Tecnologías del Mar, ofrecidas por las universidades del Consejo de Rectores, privadas e Institutos Profesionales, año 2004. Fuente: Consejo Superior de Educación (www.cse.cl).

CARRERA	CUPOS	
	2004	%
Ing. Ejecución en Pesca y Acuicultura	75	18,3
Ing. Ejecución en Acuicultura	165	40,2
Ing. Ejecución en Pesca	50	12,2
Técnico en Recursos del Mar	30	7,3
Técnico Universitario en Acuicultura	70	17,1
Técnico en Recursos Acuáticos	20	4,9
Totales	410	100

Un análisis de la estructura curricular de las carreras de pregrado de ciencia y tecnología del mar ofrecidas en las universidades del Consejo de Rectores permite detectar los siguientes problemas: (1) diseño de lo particular a lo general; (2) asignaturas como compartimentos estancos; (3) pre-requisitos establecidos por tradición, no por aplicación real; (4) asignaturas no biológicas en los primeros semestres, desincentivantes y con alta repitencia (5) falta de prácticas y ejercicios en resolución de problemas reales; (6) carencia de planes de estudios que otorguen títulos intermedios (técnicos, tecnólogos) en aquellos con duración de 5 años, que permitan a los alumnos salir de la Universidad con un título si tiene problemas de continuidad, o poder reintegrarse a los estudios después de un período de ejercicio laboral (Tarifeño, 2004).

3.5. Formación de Posgrado

Uno de los principales problemas para obtener información fidedigna acerca de la formación de posgrado en CDM es que un porcentaje muy importante de los investigadores activos en esta área de las ciencias se forma en programas de posgrado más generales, tanto en Chile como en el extranjero (ej. ecología, zoología, sistemática). Por ello, las estadísticas de los programas de posgrado en CDM que se manejan en Chile a nivel de CONICYT, del Consejo de Rectores o del CONA, no reflejan la realidad del área. Por ejemplo, en la Propuesta de Política Nacional de Investigación Científica Marina (CONA 2005) se reconoce la existencia de 2 doctorados y 7 magísteres en CDM en Chile. Esta propuesta de política científica hace hincapié en los doctorados y magísteres en CDM más directamente relacionados con el área, como los que otorgan la UDEC, UACH, UCN y PUCV. Sin embargo, en el período 2000-2005 han existido 8 doctorados y 10 magísteres en los cuales los estudiantes han desarrollado tesis directamente relacionadas a CDM (Tabla 17.7). Algunos de estos doctorados, como el Doctorado en Ciencias Biológicas, mención Ecología de la PUCCH, el Doctorado en Zoología y el Doctorado en Ciencias Ambientales de la UDEC, el Doctorado en Ecología y Biología Evolutiva de la UCH, el Doctorado en Ecología y Sistemática de la UACH y el Doctorado en Biotecnología de la PUCV y de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) incluyen un amplio espectro de temáticas tanto marinas como terrestres y no figuran en las estadísticas nacionales de CDM. De estos programas, los programas de doctorado de la UDEC y de la PUCCH han formado un porcentaje muy significativo (57%) de los investigadores en CDM graduados en el país entre los años 2000 y 2004. Este porcentaje es aún mayor si se considera que el doctorado de la PUCCH (mención Ecología) es el más antiguo de esta área en el país.

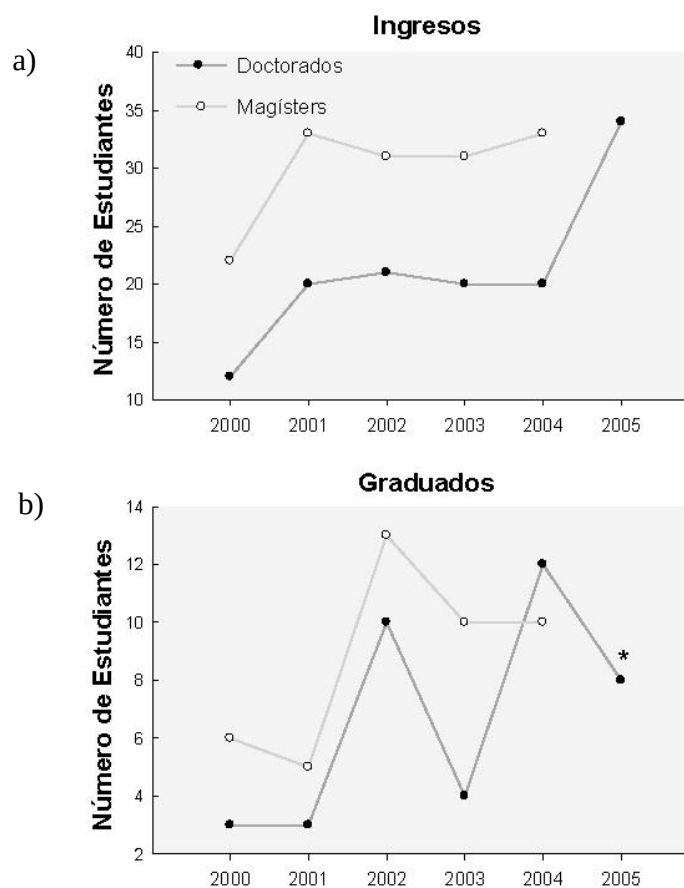
En vista de lo anterior, para la elaboración de este informe se obtuvo información primaria de los programas de posgrado por medio de una encuesta que se envió por correo electrónico a la mayoría de los directores de los programas de doctorado y magíster vigentes. En el caso de programas más amplios (que consideran CDM y otras áreas), se consultó por el número de los estudiantes que desarrollan temas de tesis en CDM. Por ello, la información contenida en este informe no coincide con la información general nacional analizada para el área CDM en el Capítulo de Formación de posgrado de la Academia Chilena de Ciencias. Tampoco es aditiva con la información de cada programa de posgrado en particular, pues la información que aquí se presenta sólo incluye estudiantes que están desarrollando tesis o están interesados en el área de CDM. El Doctorado en Zoología de la UDEC fue cerrado hace dos años y el Doctorado en Ciencias Marinas y Limnológicas de la UACH se fusionó con el Doctorado en Ecología y Sistemática, actualmente vigente y acreditado. El Doctorado en Ciencias Ambientales de la UDEC aún no ha sido acreditado, pero está vigente.

Tabla 17.7. Programas de Doctorado y Magíster en universidades chilenas en el período 2000-2005, en los cuales se desarrolla investigación y tesis en CDM. La “acreditación” corresponde al sistema Comisión Nacional de Acreditación de Posgrado (CONAP).

POSGRADO	INSTITUCIÓN	ACREDITADO	ESTADO ACTUAL
Doctorado en Ciencias Marinas y Limnológicas	UACH		Fusionado a Ecología y Sistemática
Doctorado en Ecología y Sistemática	UACH	Sí	Vigente
Doctorado en Oceanografía	UDEC	Sí	Vigente
Doctorado en Zoología	UDEC		Cerrado
Doctorado en Ciencias Ambientales	UDEC		Vigente
Doctorado en Ciencias Biológicas, Mención Ecología	PUCCH	Sí	Vigente
Doctorado en Acuicultura	UCH - PUCV – UCN		Vigente desde 2005
Doctorado en Ciencias Ecológicas y Biología Evolutiva	UCH	Sí	Vigente
Doctorado en Biotecnología	PUCV-UTFSM	Sí	Vigente
Magíster en Ciencias de la Acuicultura	UCH		Vigente
Magíster en Ciencias del Mar	UCN	Sí	Vigente
Magíster en Acuicultura	UCN		Vigente
Magíster en Ciencias del Mar, mención en Oceanografía	UDEC		Vigente
Magíster en Ciencias del Mar, mención en Pesquerías	UDEC	Sí	Vigente
Magíster en Oceanografía	UV		Vigente
Magíster en Oceanografía	PUCV		Vigente
Magíster en Zoología	UDEC	Sí	Vigente
Magíster en Ciencias del Mar, mención en Producción, Manejo y Conservación	ULAGOS	Sí	Vigente
Magíster en Recursos Ambientales Marinos	UMAG		Vigente

El número de estudiantes admitidos (matrículas nuevas por año) en programas de posgrado aumentó en más de 66% entre el año 2000 y 2001, tanto en doctorado como en magíster (Figura 17.12a). Después del 2001, el número promedio de ingresos se estabilizó en alrededor de 22 y 32 estudiantes nuevos por año en doctorado y magíster (Figura 17.12a). No se cuenta con información sobre el número de estudiantes que ingresaron a programas de magíster el año 2005, pero el número de nuevos matriculados en programas de doctorado en CDM aumentó de 22 a 34.

El número de graduados en CDM de programas de posgrado ha sido fluctuante en el período 2000-2005, especialmente en los doctorados. Se aprecia una tendencia al aumento en el número de graduados a partir del año 2002 (Figura 17.12b), que en el caso de los magísteres parece haberse estabilizado en alrededor de 11 graduados por año (Figura 17.12b). El número de graduados de los doctorados ha sido errático, llegando a un máximo de 12 graduados el año 2004. En 2005 ya se han graduado 8 estudiantes de doctorado en CDM, lo que sugiere que el número de graduados está realmente aumentando.



* Dato para el año 2005, aún en curso

Figura 17.12. (a) Número de estudiantes en CDM matriculados por año (Ingresos) y (b) número de egresados (Graduados) por año de los programas de Magíster y Doctorado.

De acuerdo con las mallas curriculares de las distintas instituciones, la duración de los programas de magíster y doctorado es de 4,6 y 7,5 semestres académicos, respectivamente. Sin embargo, la duración real en estos programas, desde que los estudiantes se matriculan hasta el egreso, es de 8,1 semestres en magísteres y 11,8 semestres en el doctorado. Esto significa que los estudiantes completan los programas de posgrado en casi el doble del tiempo estipulado en las mallas curriculares.

El incremento en el número de estudiantes matriculados en posgrados en el período 2000-2005, junto con el escaso aumento que aún se observa en el número de egresados, ha llevado a un aumento muy importante en el número total de estudiantes en programas de posgrado, especialmente en programas de magíster (Figura 17.13). El número total de estudiantes en programas de magíster en CDM aumentó de 91 en el año 2004 a 116 en el 2005.

El porcentaje de estudiantes mujeres en programas de doctorado en CDM es $< 33\%$ y aún menor en programas de magíster ($< 23\%$, Figura 17.14). El porcentaje de estudiantes extranjeros en estos programas es mucho mayor en doctorados que en magísteres (Figura 17.14).

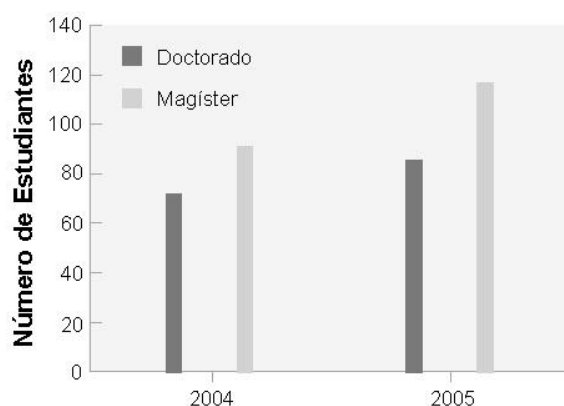


Figura 17.13. Número total de estudiantes en régimen en programas de Magister y Doctorado en 2004 y 2005 para las CDM.

En términos de fuentes de financiamiento para los estudiantes, la principal fuente en el Doctorado es por medio de Becas CONICYT (41,5%), seguido de becas internas de las universidades (31%), becas MECESUP y becas Internacionales (ej. DADD, especialmente Universidad de Concepción) (Figura 17.15). Una situación distinta se observa en los magísteres, donde la principal fuente de financiamiento son las mismas Universidades, que financian cerca del 90% de las becas (Figura 17.15).

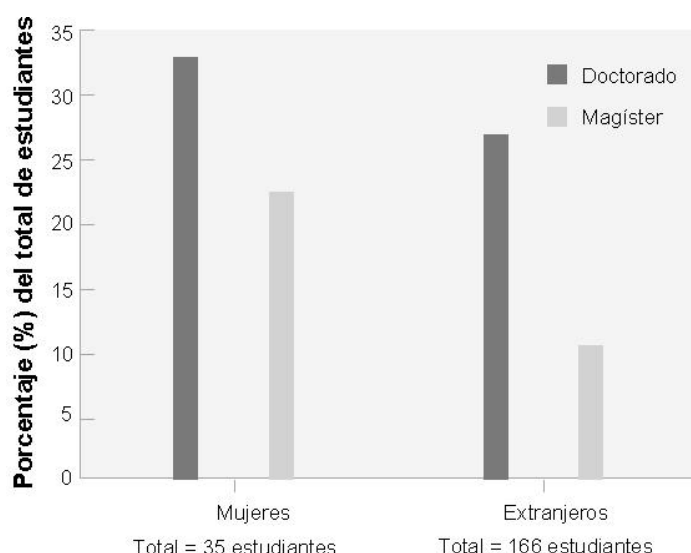


Figura 17.14. Porcentaje de estudiantes mujeres y extranjeros matriculados actualmente (año 2005) en programas de doctorado y magister de universidades chilenas para CDM.

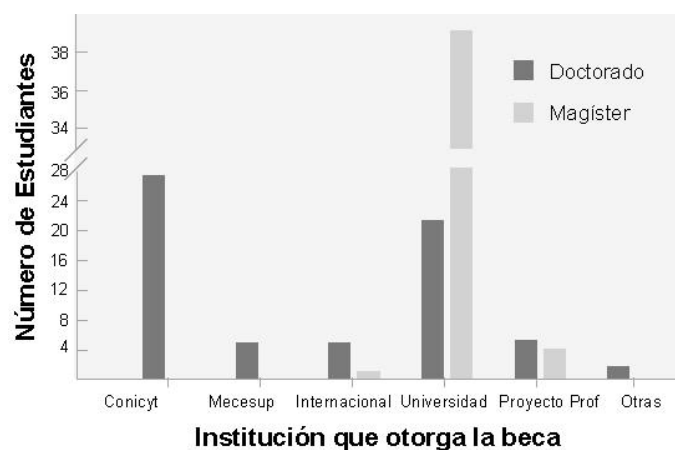


Figura 17.15. Número total de alumnos dedicados a CDM, con beca de posgrado en 2005, según institución que las otorga.

En el período 2000-2005 los estudiantes de programas de posgrado han publicado un número importante de artículos científicos en revistas de corriente principal tanto ISI como SCIELO (Figura 17.16). Como es de esperar, la contribución de los estudiantes de doctorado en publicaciones ISI fue muy superior a la de los estudiantes de magíster.

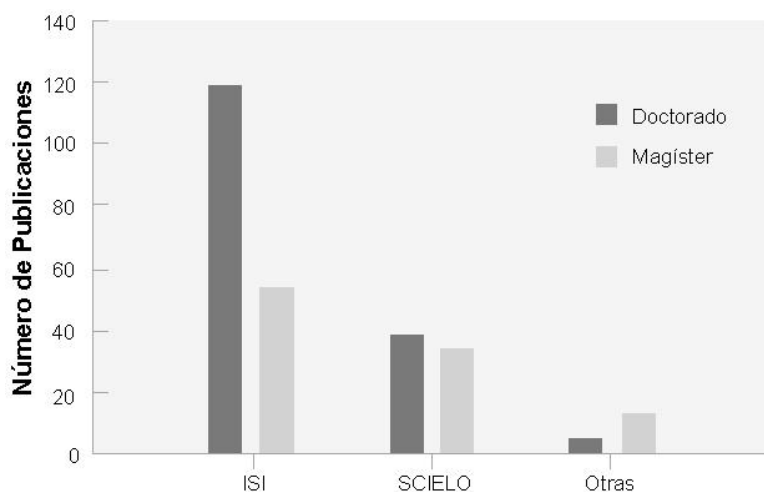


Figura 17.16. Número total de publicaciones para el período 2000-2005 en revistas ISI, revistas SCIELO y otras revistas, publicados por estudiantes de los programas de posgrado en CDM, mientras estaban adscritos a los programas.

Este análisis muestra que en relación a la situación de 1993, ha habido un fuerte incremento en el número y diversidad de los programas de posgrado, tanto a nivel de Magíster como Doctorado. El informe de la ACHC de esa época destaca la falta de posgrados en Acuicultura y Pesquerías, situación que está cambiando en el último quinquenio (en particular en lo relacionado con Acuicultura). Resulta también obvio que el número de becas CONICYT disponibles para realizar doctorados es muy insuficiente para el número actual de estudiantes en programas de CDM. Si se considera el aumento en la cantidad de estudiantes que ingresaron en el último año, esta situación sólo empeorará. Además, resulta claro que el país debe tomar una decisión con respecto a los programas de Magíster tanto en áreas netamente académicas como más aplicadas (ej. Acuicultura). Estos programas se han multiplicado en los últimos años y puesto que no existe un programa sustancial de becas CONICYT para magíster, las universidades o los estudiantes, o ambos, están asumiendo esos costos.

La Figura 17.17 muestra las estadísticas para los 32 posdoctorandos en CDM para el quinquenio analizado. Es de resaltar que de ellos más de 50% fueron financiados con fondos internacionales o privados (Figura 17.17a) y sólo 41% con fondos FONDECYT o FONDAP. Por otra parte, 66% de dichos posdoctorandos tuvieron como institución albergante a la Pontificia Universidad Católica de Chile, en su programa FONDAP-CASEB o en programas de la Estación Costera de Investigaciones Marinas de Las Cruces; la Universidad de Concepción recibió 28% y la Universidad Católica del Norte 6% (Figura 17.17b). Los posdoctorandos provenían de 9 países (Figura 17.17c).

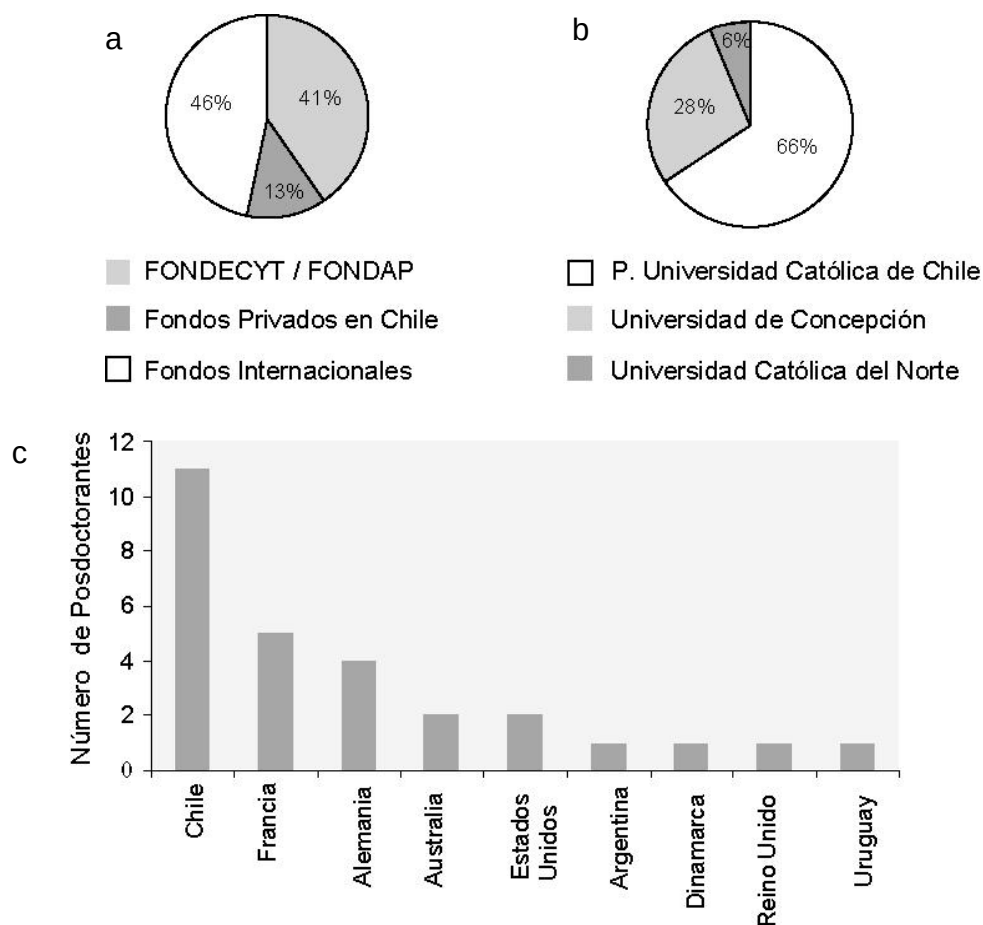


Figura 17.17: (a) Distribución relativa de las fuentes de financiamiento para los 32 proyectos de postdoctorado desarrollados durante el período 2000-2004. (b) Distribución relativa de los 32 proyectos posdoctorales en las distintas instituciones nacionales para el período 2000-2004 (c) Distribución de los posdoctorandos según país de origen para el período 2000-2004.

4. Las Ciencias del Mar en Chile y el contexto internacional

Se comparó la producción científica nacional en el área de CDM para el período 2000-2004 con aquella de Argentina, Brasil y México en América Latina y con Sudáfrica, Nueva Zelandia, Irlanda, Finlandia y Suecia (en estas comparaciones no se consideró la dependencia, económica u otra, de cada uno de los países respecto del mar). Debido a que no se pudo contar con el número total de publicaciones por país en la disciplina, se analizó el número de publicaciones en 16 revistas especializadas en CDM con alto índice de impacto (Tabla 17.8). Como fuente de información se utilizó la base de datos Web of Science del ISI Web of Knowledge (<http://isiknowledge.com>) y como criterio comparativo de productividad científica general para el período se utilizó la publicación total de artículos científicos ISI en cualquier idioma y en dos revistas de alto prestigio, *Nature* y *Science* (Tabla 17.8). Se eligió a Argentina, Brasil y México en América Latina debido a que son los países que presentan una mayor producción científica en la región (tanto en términos absolutos como por habitante), con un desarrollo económico comparable al de Chile (según el índice del producto geográfico bruto *per capita*, PGBC). Sin embargo, es necesario notar que el número de habitantes de esos países latinoamericanos es significativamente superior al de Chile.

También se incluyó a Sudáfrica, ya que al igual que Chile es considerado un país con una economía emergente y con un PGBC similar. Además, se incluyó a Nueva Zelanda, Irlanda, Finlandia y Suecia, países desarrollados con los cuales se hacen actualmente comparaciones para el modelo de desarrollo que se busca para Chile. Además de las publicaciones indexadas, se analizaron las plataformas oceanográficas de más de 20 m de largo con las que cuenta cada uno de estos países como una medida de la infraestructura disponible para la investigación en CDM.

Tabla 17.8. Número de publicaciones científicas indexadas (ISI) y normalizada por número de habitantes para el período 2000-2004 de Chile, Argentina, Brasil, México, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Irlanda, Finlandia y Suecia. También se entrega en número de publicaciones en Ciencias del Mar considerando 16 revistas de la disciplina: *Limnology and Oceanography*, *Journal of Geophysical Research Oceans*, *Marine Ecology Progress Series*, *Marine Biology*, *Journal of Physical Oceanography*, *Marine Chemistry*, *Marine Geology*, *Paleoceanography*, *Deep Sea Research Part I*, *Deep Sea Research Part II*, *Estuarine Coastal and Shelf Science* y *Journal of Phycology*

	Total Artículos ISI	Artículos ISI por 1.000 hab.	Artículos en <i>Nature + Science</i>	Artículos en <i>Nature + Science</i> por 100,000 hab.	Artículos en 16 revistas de Ciencias del Mar	Artículos en 16 revistas de Ciencias del Mar por 10.000 hab.
Chile	10.840	0,68	32	0,20	184	0,115
Argentina	22.275	0,56	31	0,08	95	0,024
Brasil	61.295	0,33	53	0,03	203	0,011
México	26.323	0,25	84	0,08	267	0,025
Sudáfrica	17.320	0,43	48	0,12	166	0,041
Nueva Zelanda	19.615	4,86	59	1,46	263	0,652
Irlanda	20.094	5,00	52	1,29	138	0,344
Finlandia	36.242	6,94	68	1,30	127	0,243
Suecia	72.558	8,06	214	2,38	375	0,417

En el contexto regional de América Latina, Chile publicó en el período 2000-2004 poco menos de la mitad de artículos científicos que Argentina y México y menos de un quinto que Brasil. Sin embargo, en CDM (considerando las revistas analizadas), Chile duplicó el número de publicaciones de Argentina y publicó aproximadamente sólo 10% menos que Brasil y 30% menos que México (Tabla 17.8). Al analizar las cifras normalizadas por número de habitantes (Tabla 17.8), Chile aparece a la cabeza de la región en el número total de publicaciones por número de habitantes, seguido de Argentina, Brasil y México. Sin embargo, la diferencia entre Chile y el resto de esos países latinoamericanos es mucho mayor en CDM, factor de entre 3 y 10, reflejando claramente el liderazgo regional de nuestro país en esta área. La comparación con Sudáfrica muestra resultados similares a los encontrados con Argentina, Brasil y México. Si bien Sudáfrica publicó en total aproximadamente 85% más de artículos que Chile, en CDM publicó 10% menos, y estas publicaciones por número de habitantes fueron menos del doble de las chilenas (Tabla 17.8). La comparación con los países desarrollados, muestra que Chile publicó en el quinquenio 2000-2004 menos de la mitad de artículos científicos que Nueva Zelanda e Irlanda, menos de un tercio que Finlandia y menos de un sexto que Suecia (Tabla 17.8). A diferencia de los países latinoamericanos analizados, esos países tienen una menor población que Chile, por lo tanto, la diferencia de publicaciones por número de habitantes es mucho mayor, llegando en promedio casi a un factor de 10. Sin embargo, en CDM las diferencias con los países desarrollados es mucho menor, incluso Chile supera a Irlanda y Finlandia en el número de artículos publicados en el área. Sin embargo, al

normalizar los datos por el número de habitantes, Chile aparece claramente por debajo de estos países con diferencias que van entre 2 y 6 veces.

Al comparar el número de buques disponibles para la investigación marina se puede apreciar que Chile no difiere de países desarrollados como Nueva Zelanda e Irlanda, pero sí de otros como Argentina, México, Sudáfrica y Suecia (Tabla 17.9). Sin embargo, una diferencia muy importante es que Chile es el país cuya embarcación mayor es la más antigua (40 años) y pronto a ser dada de baja. Otra gran diferencia, es que en Chile los investigadores deben pagar por el uso de embarcación directamente de los fondos operacionales de sus proyectos. En cambio, en la mayoría de los otros países existe un sistema en donde se postula a días de buque, los cuales son financiados directamente por las agencias que financian las investigaciones oceanográficas. Por otro lado, Chile también destaca en que el principal buque oceanográfico es operado por la Marina y no como en otros países por instituciones civiles de investigación o bajo convenios mixtos de operaciones (ej. USA).

Tabla 17.9. Buques de Investigación de más de 20 metros de largo.			
	Número de embarcaciones de más de 20 m	Largo del buque mayor (m) no polar	Año de construcción
Chile	2	63	1965
Argentina*	5	77	1976
Brasil	1	49	1967
México	5	64	1966
Sudáfrica*	4	78	1982
Nueva Zelanda	2	70	1991
Irlanda	2	66	2002
Finlandia	3	60	1989
Suecia*	6	61	1974

* Países con buques de investigación polar.

5. Ciencias del Mar y sociedad

Las principales expresiones de las CDM en Chile son la educación superior y la publicación de los resultados de la investigación. En este sentido, las carreras de pregrado han aumentado sus cupos en la última década, sin que haya existido un incentivo específico para incrementar más la formación técnica con el fin de lograr una pirámide de formación y laboral más equilibrada. Al respecto, a partir de 2003 se están gestando redes de articulación de la formación técnica acuícola bajo el Programa Chile Califica, que reúne al sector productivo y educacional con el objetivo de potenciar la formación técnica de nivel medio y superior. En esta iniciativa impulsada por el MINEDUC, MINECOM y MINTRAB y financiada por el Banco Mundial, participan la UCN en la III y IV Regiones, la UACH en la X Región y la Fundación Chinquihue en la XI Región.

La SCHCM tiene dentro de sus objetivos la difusión y divulgación de la investigación científica y tecnológica de su ámbito. Así, anualmente realiza durante el Mes del Mar el Congreso de las Ciencias del Mar en Chile en diferentes ciudades del país. En los últimos dos años, la

Sociedad ha producido discos Compact con versiones en *postscript data file* (pdf) de las publicaciones ISI y SCIELO de sus asociados y de otros investigadores en CDM. Otros eventos especializados son realizados por instituciones en forma esporádica, como son por ejemplo: el Congreso de Acuicultura, el Congreso de Genética en Acuicultura, Talleres de Proyectos del FIP, Talleres del CONA, Jornadas de Pesquerías y Acuicultura de la PUCV. En tanto que otras instituciones organizan eventos con mayor concurrencia de público, como Expo-Pesca, Aqua-Sur y Expo-Naval. En este sentido, el programa “Explora” de CONICYT ha desarrollado una serie de proyectos dirigidos particularmente a la educación básica y media, dentro de los cuales las CDM han estado presente. En estas actividades han participado activamente instituciones tales como IFOP, UCN, PUCCH y SHOA. En tanto que en forma independiente y en el mismo sentido, realizan actividades asociadas diferentes instituciones, como por ejemplo, la Liga Marítima de Chile, UDEC, Fundación Nuestro Mar, PUCV, UV, UCN, SHOA, PUCCH, UCSC, ECOGESTION, ULAGOS y Museo de Historia Natural de Concepción, y las jornadas de las juventudes científicas del MNHN.

Una preocupación particular se desarrolla en torno a los pescadores artesanales. Así, las Confederaciones de Pescadores Artesanales (CONAPACH y CONFEPACH), la Fundación Chiquihue, la Consultora en Gestión y Comunidades Pesqueras, la Consultora en Educación de Adultos y el SHOA promueven la capacitación y educación, y la protección y cuidado del medio ambiente. Una actividad pionera realizada por la UCN es la utilización de acuarios y espacios interactivos, ya sea a través del uso de recursos vivos en cautiverio o a través de videos, o ambos, que invitan a la comunidad a conocer el mundo marino natural. Al respecto cabe mencionar el proyecto de prefactibilidad presentado recientemente para construir un Museo del Mar en Valparaíso, el cual incluye un Acuario impulsado por la PUCV.

6. Ejemplos de contribuciones de las Ciencias del Mar al país

En esta sección se incluyen seis ejemplos, entre los muchos posibles, que grafican la importancia de las CDM en el desarrollo del país y en especial ejemplos relacionados con actividades recientes dentro del quinquenio analizado.

6.1 Hidratos de Gas

Los hidratos de gas son estructuras cristalinas sólidas, en las que cada unidad está constituida por una celda de moléculas de agua, y el interior está ocupado por una molécula pequeña, como metano, etano, CO_2 o H_2S . En la tierra los hidratos se encuentran ya sea bajo la capa de *permafrost* de regiones de alta latitud, o bajo el fondo marino de los márgenes continentales. Allí, los hidratos rellenan los poros de rocas sedimentarias hasta la profundidad a la cual la temperatura ambiente es igual o superior al punto de fusión de los hidratos a dicha profundidad. Bajo esta profundidad, frecuentemente hay gas en forma de microburbujas en el agua de poro de las rocas. Tanto este “gas libre”, como el “gas” contenido en los hidratos constituyen enormes depósitos de gas natural que, a escala mundial, se estiman en 10^{15} m^3 . En Chile, la PUCV, la UCH y el SHOA realizaron un proyecto pionero FONDEF de evaluación de la distribución geográfica y de volúmenes de gas natural (metano) en forma de hidratos que yacen bajo el talud continental frente a las costas entre Papudo y Valdivia. Los primeros resultados arrojan un volumen de 10^{13} m^3 , que de ser explotados en el futuro, permitirían no sólo abastecer en gran medida de gas al país, y con ello no depender tan fuertemente del abastecimiento externo, sino también permitirían el desarrollo de una completa actividad económico-industrial, comparable a la industria del cobre. Junto a la importancia geológica los hidratos de gas sustentan comunidades quimiosintéticas, constituyéndose en una materia de investigación interdisciplinaria de avanzada.

6.2 Acuicultura

Durante las dos últimas décadas, el desarrollo de la acuicultura en Chile ha sido explosiva, con una producción, durante el año 2003, de 607.214 toneladas. La mayoría de esta producción está relacionada con salmonídeos (92,7%). La salmonicultura ha transformado a Chile en el segundo productor mundial, tras Noruega, con una producción equivalente a 33% del total mundial. El principal aporte de las CDM a esta actividad (no siempre reconocido) es la formación de personal de alta calificación que han desarrollado las universidades nacionales. Por otra parte, un análisis mundial de publicaciones referidas a salmones indica que Chile produce solo 2% de la ciencia y tecnología en este rubro (Figura 17.18). Esto indica que el desarrollo de la salmonicultura en Chile se ha realizado casi exclusivamente basado en la importación y adaptación de tecnología. Esto contrasta con las estrategias de desarrollo que se han llevado a cabo en otros recursos marinos como es el caso de las algas, como *Gracilaria* sp., alga productora de geles para alimento, en la que el desarrollo de ciencia básica con aspectos aplicados ha sido fundamental (Santelices 1996, Buschmann et al. 2001).

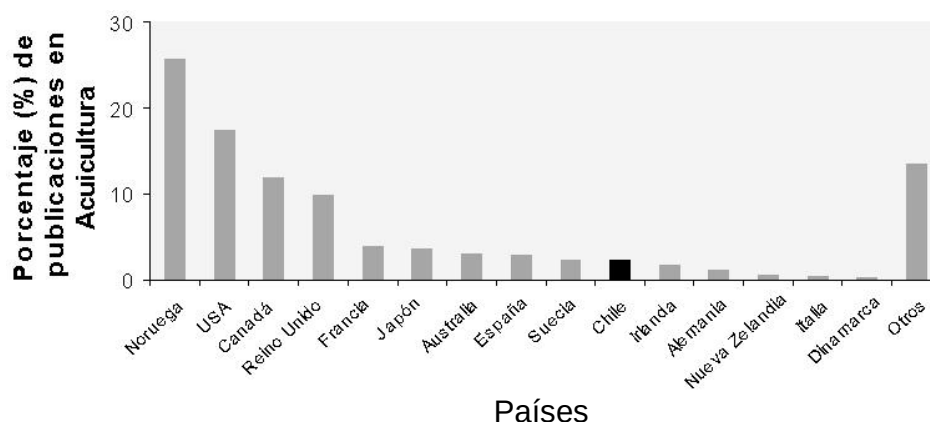


Figura 17.18: Porcentaje de publicaciones de salmonídeos por país. La barra negra corresponde a Chile y representa 2,2% (fuente: Riquelme y Buschmann, en preparación).

6.3 Áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos

En el manejo de pesquerías de pequeña escala o artesanales de recursos bentónicos (loco, erizos, algas, jaibas, piures, etc.) Chile ha dado un paso muy significativo, que es admirado por otros países del mundo. Gracias a experiencias piloto en áreas marinas de reserva (concesiones) en manos de universidades (PUCCH, UACH) se generó, en la década de 1980, suficiente conocimiento básico como para incluir en la Ley de Pesca de 1991 el concepto pionero de las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERBs), aplicable a recursos bentónicos en plena explotación. Las AMERBs han modificado completamente el concepto de pesca abierta y sin control o regulación, asignando parcelas costeras de explotación exclusiva a grupos de pescadores artesanales organizados. El concepto de co-manejo de recursos bentónicos está, por ello, bien establecido en el país. A la fecha, en especial en el último quinquenio, se han establecido con autorización del gobierno más de 200 de estas AMERBs a lo largo de Chile y hay varias centenas de peticiones pendientes. Sobre la base de esta medida de manejo y conservación, algunas pesquerías de recursos bentónicos, económica y socialmente claves para el país (ej. loco) se han racionalizado y muestran sustentabilidad temporal. En relación a las AMERBs es importante reconocer el aporte del IFOP, PUCV, UCN, UACH y PUCCH, e instituciones privadas, en el escalamiento y desarrollo metodológico en el estudio de estas áreas. En Chile hay más de 60.000

pescadores y buzos artesanales que dependen directamente de recursos bentónicos, cuyos montos de exportación superan los 150 millones de dólares por año.

6.4. Mareas Rojas

En el quinquenio analizado, FONDECYT y otros fondos competitivos del Estado (FONDEF, CORFO) han apoyado investigaciones tendientes a detectar oportunamente mareas rojas en el sur de Chile, elaborar pruebas rápidas de terreno y en mariscos, avanzar en los aspectos de su biología molecular y proponer modelos predictivos. La especie en que se han concentrado la mayoría de los estudios es *Alexandrium catenella*. En ellos han participado investigadores de la ULAGOS, IFOP, UDEC, UCH y de la Fundación Ciencia para la Vida. Algunos de los mayores avances se relacionan con la elaboración de pruebas que usan la radiactividad para medir cantidades mínimas de las toxinas producidas por esta especie del fitoplancton en los mariscos. Los estudios sugieren que quistes de esta especie, que estaban presentes en los sedimentos, posiblemente preceden a las intensas actividades de cultivo en la zona sur de Chile. La zona de Chiloé y de la Región XI son claves para las actividades de cultivo en el país y las mareas rojas representan allí un peligro latente para el desarrollo de dichas actividades y la salud humana.

6.5. Pesquerías pelágicas: Integración ambiente-recursos pesqueros con fines de manejo

En 1985 la PUCV inició un programa de investigación para entender de mejor forma las relaciones entre las fluctuaciones del medio ambiente y de las principales pesquerías pelágicas del país: anchoveta, sardina, jurel, sardina común y pez espada. Estas pesquerías representan cerca del 90% de los desembarques nacionales. El establecimiento de dichas relaciones permitió introducir en modelos globales de producción, variables ambientales que influyen en la abundancia y en la capturabilidad de estos recursos. También se incorporaron variables ambientales en modelos stock-reclutamiento, considerando ventanas ambientales óptimas. La introducción de dichas variables ha mejorado significativamente el valor explicativo de dichos modelos y la comprensión del efecto de los fenómenos El Niño y de cambios inter-decadales que conllevan cambios de regímenes ambientales. Actualmente, junto con oceanógrafos físicos de la UDEC, se consideran bases ambientales y bio-pesqueras disponibles entre 1950 y 2005 para re-analizar en diferentes escalas espacio-temporales (diarias, semanales, estacionales, intra-estacionales, inter-anales e inter-decadales) las tendencias de sus relaciones. En estos modelos se atribuye una importancia especial a forzantes físicos del Ecuador, que en forma remota alteran el ecosistema y, por ende, la distribución y abundancia de los recursos pesqueros pelágicos. Finalmente, con fines de manejo se han identificado variables proximales e indicadores ecosistémicos, así como un modelo conceptual que considera los efectos que tendrían el tiempo (desde el día a la década) y el espacio (desde lo local a la cuenca del Pacífico), sobre los recursos pelágicos. El próximo paso es el establecimiento de un modelo operativo, de carácter predictivo, que apoye directamente el manejo de dichas pesquerías. Estos avances han sido posible gracias a los aportes de proyectos FONDECYT, FONDEF y FIP.

6.6 Programa CIMAR

Desde 1995 en adelante, el CONA ha venido organizando el mayor esfuerzo interinstitucional a nivel nacional, para enfrentar un programa de investigación oceanográfica con el objetivo central de “estudiar en forma multidisciplinaria aspectos oceanográficos, meteorológicos, de biodiversidad marina y de morfología submarina en zona geográficas remotas, donde el conocimiento del medio ambiente marino tiene una fuerte influencia en el desarrollo socio-económico sustentable de las comunidades locales y del país” (Silva y Palma, 2005). Este programa, denominado CIMAR, permitió aunar el esfuerzo de la mayoría de las universidades e instituciones de investigación marina, para realizar estudios de línea base y de procesos en la zona de canales y fiordos australes,

generando los datos y conocimientos necesarios para la realización de actividades marinas productivas en una zona prácticamente desconocida hasta 1995. Este programa ha generado la mayor base comprensiva de datos oceanográficos, para la toma de decisiones en el control ambiental en áreas donde se desarrollan actividades de cultivos marinos de importancia para el país. Instituciones como SUBPESCA, SERNAPESCA, CONAMA, DGTM, ISP disponen ahora de una línea base para contrastar la evolución del uso del recurso agua y recursos biológicos asociados. En el futuro, los resultados de este programa permitirán comprender cómo se produce y mantiene la alta productividad de la zona, permitiendo además elaborar modelos predictivos que expliquen las interacciones y permitan inferir sobre la fortaleza o vulnerabilidad (o ambos a la vez) de la zona.

7. Áreas y tópicos emergentes en Ciencias del Mar

Entre las numerosas áreas y tópicos emergentes en CDM en el mundo se puede destacar lo que ha sido denominado como “la nueva frontera del océano”; esto es el uso y aplicación de técnicas moleculares y genómicas y la integración de la información desde los genes a las poblaciones y ecosistemas oceánicos (Doney et al. 2004). En el quinquenio analizado en Chile se han iniciado estudios preliminares relacionados con dichos tópicos, principalmente en relación con el análisis de un sistema único cual es la zona de la mínima de oxígeno, que se desarrolla principalmente frente a las costas de Chile norte y central. Otro tópico relevante, también emergente en el país, es el estudio del talud continental, no sólo en relación con su biota, sino que también a sus riquezas mineralógicas, como se mencionó previamente. Para avanzar en tales investigaciones la nación en forma permanente debería programar fuertes inversiones en embarcaciones modernas que permitan realizar trabajos científicos y tecnológicos de avanzada. Adicionalmente, para estos estudios y otros relacionados en que se requieren inversiones mayores (buques, equipos mayores) se necesita que en el país se establezca una nueva cultura cooperativa interinstitucional, que incluya el concepto de Consorcios entre diferentes entes de investigación. Dos ejemplos de consorcios claves que podrían hacer avanzar significativamente la investigación oceánica en Chile son: (1) el que debería formarse en torno a tiempo compartido de embarcaciones mayores y medianas en el país, liderado por las 4-6 universidades en que se realiza la mayor cantidad de investigación básica en CDM, quizás en conjunto con organismos del Estado; (2) el que debería establecerse entre todos los Laboratorios y Estaciones Marinas costeras a lo largo de Chile, con proyectos que incluyan normalización de metodologías y equipos para toma de datos; esto podría incrementar significativamente la investigación litoral/costera en el país.

Chile es un país pesquero por excelencia y la pesca (aún excluyendo la acuicultura) representa un rubro clave en la economía del país (Castilla et al., 1996). En los pasados 10 años los desembarques pesqueros chilenos han fluctuado entre aproximadamente 8 millones de toneladas métricas anuales (1994) y 3,8 millones de toneladas (1998) (el desembarque pesquero mundial bordea las 100 millones de toneladas anuales). En los últimos años se observan descensos importantes en los desembarques nacionales y existe un desafío siempre creciente para enfrentar esta situación de sobreexplotación basándose en mejores conocimientos de la biología de los recursos marinos e interacciones dinámicas con factores ambientales cambiantes (ej., Fenómeno del Niño, La Niña, etc). Un tópico científico incipiente en el país, que debe ser impulsado con urgencia, lo constituye la modelación pesquera con miras a predecir el futuro de nuestras pesquerías (para otros desafíos ver Castilla et al. 1996). Una falencia del sistema en esta área es la falta de un doctorado en Pesquerías. Por otro lado, sólo en 2005 aparece un doctorado en Acuicultura. No hay antecedentes de investigación ni actividades de posgrado en Ingeniería oceánica.

8. Conclusiones y proyecciones

En este análisis sobre las CDM en Chile para el quinquenio 2000-2004 se observan avances muy significativos y también estancamientos. Aunque no es fácil establecer comparaciones con otros análisis precedentes, por aspectos metodológicos, se puede destacar lo que sigue.

- Los números totales de profesionales o especialistas en CDM en Chile han incrementado desde 420 en 1993 (Santelices et al., 1993) a 563. Por su parte, los Investigadores Activos han incrementado desde aproximadamente 113 en 1993 a 157 (aunque las metodologías seguidas en ambos análisis son diferentes). De lo anterior se deduce que aunque se ha avanzado hay aún una brecha considerable entre el número total de investigadores en CDM y los IA (según la metodología usada). Los IA muestran una edad promedio de 50 años, que se puede comparar con el promedio de 36,7 años informado en el análisis de Sánchez y Castilla (1982).
- Una conclusión sobresaliente de este análisis es que actualmente el 73,2% de los IA en CDM tienen el grado de doctor y que el 33% de esos doctorados fue obtenido en universidades europeas. En segundo lugar aparecen los doctorados otorgados en Chile (25,2%), superando en porcentaje a los obtenidos en USA (24,3%).
- La principal área de investigación sigue siendo la Oceanografía biológica y sub-áreas relacionadas como Ecología, Taxonomía, Medio Ambiente. Se observa un estancamiento en el desarrollo de áreas como Oceanografía física, química, pesquera y muy en especial geológica. Según la metodología utilizada en este estudio, seis universidades chilenas concentran al 68% de los Investigadores Activos en CDM.
- Durante el quinquenio analizado los IA publicaron 1.621 trabajos científicos de los cuales 72,3% fueron en revistas ISI (trabajos con multi-autores fueron considerados más de una vez). Durante el quinquenio la moda para el número de trabajos publicados fue de 3 trabajos por IA. Otro aspecto destacado es la gran inversión de fondos en proyectos competitivos que recibió el área de las CDM. En el quinquenio se recibieron en total 116 millones de dólares. Aproximadamente 70% del financiamiento es del Estado y 30% es contraparte. También es notorio que el área de Cultivos recibió la mayor parte de dichos fondos (54 millones de dólares), mientras la Oceanografía recibió el monto menor (16 millones de dólares). Las instituciones mayoritariamente receptoras de estos fondos fueron 5: IFOP, UDEC, Fundación Chile, Consultores y UCN.
- La formación de pregrado en CDM tiene una matrícula anual que sobrepasa los 1.200 estudiantes. Las carreras que se ofrecen en forma mayoritaria son las de Biología Marina e Ingeniería en Acuicultura y tienen una duración de aproximadamente 10 semestres. En la formación de posgrado en CDM también se nota en el quinquenio un desarrollo sobresaliente. Se identificaron 8 programas de doctorado (la mayoría acreditados) y 10 magísteres en el área de las CDM o áreas directamente relacionadas. Las admisiones en el doctorado y magíster han fluctuado anualmente, pero en el año 2004 fueron 37 y 20 respectivamente, mientras que los graduados en el año 2004 fueron 10 y 12 respectivamente. En 2005 el total de estudiantes matriculados en CDM en programas de magísteres y doctorados es de 116. El número de becas CONICYT y MECESUP resulta insuficiente para esa población de estudiantes: 31 becas para 116 estudiantes.
- La UDEC y de la PUCCH albergan los programas de doctorados en CDM más productivos en términos de ingresos y alumnos graduados. Al mismo tiempo, en especial en la UDEC, gracias al aporte de importantes fondos por parte de la Fundación Andes y de la Cátedra UNESCO durante el quinquenio, se han desarrollado numerosas acciones de posgrado y

cursos, a través del Instituto Austral de Verano y del Programa de Cursos Internacionales de Posgrado en Oceanografía.

- Donde quizás se visualiza el desarrollo más espectacular del área CDM es en relación con los posdoctorados, que en estudios precedentes eran inexistentes. En el quinquenio analizado se contabilizaron 32 posdoctorados en CDM, de los cuales un 66% estuvieron albergados en la PUCCH y 28% en la UDEC; de ellos 11 fueron chilenos y 21 extranjeros.

Un resumen de las fortalezas y debilidades en el área de las CDM en Chile, para el quinquenio analizado, y en forma comparativa con otros análisis, indica lo siguiente:

1. Existen importantes avances en el número total de investigadores y en Investigadores Activos en CDM. Pero las áreas de investigación están restringidas mayoritariamente en torno a la Oceanografía biológica, con fuertes déficits en las otras Oceanografías y muy en particular la Oceanografía geológica. Existe una carencia de investigación en el área de Ingeniería oceánica.
2. El área de CDM ha recibido sustanciales aportes monetarios vía concursos abiertos para optar a fondos de investigación. El tema que recibe más apoyo financiero es Acuicultura y el con menor apoyo es Oceanografía, aunque los proyectos FIP incluyen importante investigación en esta área. No parece existir una relación directa entre los fondos que reciben áreas/sub-áreas/temas como la acuicultura y pesquerías y sus productos en términos de publicaciones (ejemplo, trabajos en salmonicultura) o incluso en la generación de patentes, que para CDM es muy reducida.
3. Los IA en CDM sólo reciben aproximadamente el 28% de los fondos totales y sin embargo, dan cuenta de la gran mayoría de las publicaciones en CDM del país. Se detecta una falta de políticas científicas, incentivos y en algunas situaciones problemas para publicar resultados que se consideran estratégicos para el país (por ejemplo en pesquerías).
4. El país no cuenta con plataformas (buques) modernas y bien equipadas que faciliten la investigación oceanográfica de avanzada lejos de la costa, ni de un sistema de financiamiento para días buques que no recaiga directamente sobre los proyectos de los investigadores. Esto, de no resolverse en un futuro cercano, constituirá en un freno para el desarrollo de las CDM en Chile.
5. Las tasas de publicaciones y el nivel de las revistas en que publican los IA en CDM en Chile son altamente competitivas y líderes a nivel de Latinoamérica. Sin embargo, cuando se les compara con los de países altamente desarrollados (Suecia, Finlandia, Nueva Zelandia) la productividad científica es entre 2 y 6 veces menor.
6. Las CDM en Chile, al compararse con las de otros países equivalentes, aparece como bien posicionada en término de publicaciones en revistas de avanzada. Esto contrasta con el déficit de plataformas (buques) en un número suficiente y con equipamiento adecuado para hacer investigaciones en el área y claramente indican el enorme esfuerzo y calidad de los investigadores chilenos en el área de las CDM.
7. Existen numerosas carreras profesionales y técnicas en CDM, pero la pirámide aparece poco balanceada. Se requieren más carreras en áreas tecnológicas.
8. Los programas de posgrado se han desarrollado en forma eficiente y muy velozmente en el país, pero faltan programas en áreas aplicadas como Pesquerías, Acuicultura, Biotecnología marina e Ingeniería oceánica.

9. Los posdoctorados son una señal evidente de progreso en la calidad de las CDM en el país y constituyen un mecanismo eficiente y rápido de incorporar recursos humanos al sistema nacional.
10. Hay una necesidad urgente de mejorar las relaciones científicas y establecer consorcios de cooperación permanentes de largo alcance tanto en el país como con países limítrofes y/o de la cuenca del Pacífico Sur. En este último caso por la necesidad de abordar los procesos y fenómenos oceanográficos a escala regional (ej. Fenómeno de El Niño), o debido a que existen numerosos recursos pesqueros compartidos (anchoveta, sardina).

9. Referencias

- Buschmann AH, Correa J, Westermeier R, Hernández-González M, Norambuena R (2001) Cultivation of red algae in Chile: A review. *Aquaculture* **194**: 203-220.
- Castilla JC, Quiñónez R, Silberman M, Valenzuela A (1996) Estudio prospectivo sobre oportunidades y requerimientos tecnológicos para el desarrollo de la pesca y acuicultura 1995. Comisión Nacional Científica y Tecnológica-CONICYT, Comité de Pesca-FONDEF, pp 1-43.
- Castilla JC (2003) Ciencias del Mar. En Ureta T (ed.) *Chile Ciencia 2000, un Encuentro Histórico*. Ediciones Academia Chilena de Ciencias. Santiago, pp. 108-111.
- Comité Oceanográfico Nacional (CONA) (2005) *Propuesta de Política Nacional de Investigación Científica Marina*. Valparaíso.
- Doney SC, Abbott MR, Cullen JJ, Kart DM y Rothstein L (2004) From genes to ecosystems: the ocean's new frontier. *Frontiers in Ecology and the Environment* **2**:457-466.
- Muñoz CF y López D (2004) La productividad científica en Ciencias del Mar en Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar* **27**(2): 101-111.
- Sánchez P y Castilla JC (1982) Las Ciencias del Mar en Chile. Programa Conjunto Academia de Ciencias y Corporación de Promoción Universitaria. *Las Actividades de Investigación y Desarrollo en Chile*, Santiago, pp. 1-69.
- Santelices B (1996) Seaweed research and utilization in Chile: moving into a new phase. *Hydrobiologia* **326/327**, 1-14.
- Santelices B, Bahamonde N, Andrade H, Bernal P, Cancino J, Castilla JC, Morales E y Trucco R (1993) Ciencias del Mar. En Allende J y Ureta T (eds.) *Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena*. Academia Chilena de Ciencias. Santiago, pp.150-178.
- Silva N y Palma S (2005) *Programa CIMAR*, Memoria Gestión 1995-2004. Comité Oceanográfico Nacional, Valparaíso. 84 pp.
- Tarifeño E (2004) La formación de pregrado en Ciencias y Tecnologías del Mar: ¿Estamos haciendo lo correcto?. XXIV Congreso de Ciencias del Mar, p. 92. Coquimbo.
- UNESCO (1981) Seminario Latinoamericano sobre enseñanza de la Oceanografía, Sao Paulo, Noviembre 1980. Informes de la UNESCO sobre Ciencias del Mar, N° 13. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y El Caribe. Montevideo.
- Vergara P y Güell A (1988) *La Investigación y Desarrollo Nacional en Ciencia y Tecnología del Mar*. CONICYT, Santiago. 81 p.

Conclusiones y Recomendaciones

18

Jorge Allende (*Coordinador*), Juan Asenjo, Jorge Babul, Francisco Brieva, Gloria Cárdenas-Jirón, Francisco Hervé, Nibaldo Inestrosa, Servet Martínez, Bernabé Santelices y Pablo Valenzuela.

1. Introducción

Los 17 capítulos anteriores presentan un estudio analítico y cuantitativo de 11 áreas de las ciencias básicas y aplicadas y 6 visiones transversales de componentes claves en la evaluación del estado actual del desarrollo científico-tecnológico de Chile. Este capítulo no pretende resumir el rico contenido de los capítulos anteriores, sino recoger un conjunto de ideas y matrices que surgen de este estudio y de plantear algunas primeras recomendaciones que la Academia de Ciencias, las sociedades científicas, los jóvenes del programa Ciencias de Frontera y la comunidad científica que ellas convocan, quisieran hacerle a las autoridades y al país con respecto a la urgente necesidad de incrementar más decididamente nuestros esfuerzos en el área científica y tecnológica y dar un eficaz direccionamiento de los mismos.

La información obtenida en este estudio por medio del trabajo de más de un centenar de científicos y tecnólogos que laboraron medio año en su recolección y análisis, merece ser estudiada en los futuros meses y años con mayor detención y profundidad. No cabe duda que este análisis permitirá sacar valiosísimas conclusiones sobre el rumbo que es necesario tomar para el desarrollo individual de las disciplinas y también para definir una sabia estrategia de país en el campo científico-tecnológico. La existencia de un estudio similar llevado a cabo por la Academia y las sociedades científicas el año 1993, nos permite un punto de referencia para poder medir el progreso alcanzado en los últimos doce años.

Al hacer esta comparación, se observa que hemos avanzado en todos los parámetros. La ciencia y la tecnología de Chile del año 2005 es más fuerte que la que teníamos en 1993 en número de investigadores, en la cantidad y calidad de las publicaciones, en los fondos disponibles para apoyar a los proyectos de ciencia y tecnología e innovación y en el número de programas que forman doctores en todo el país. En general se han más que doblado los índices de productividad, se ha aumentado el impacto de la ciencia hecha en el país y se ha cuadruplicado la formación de capital humano de excelencia.

Paralelamente, se ha incrementado el interés del sector productivo por invertir en componentes de investigación, desarrollo e innovación en sus procesos productivos y en la cobertura de los descubrimientos científicos por los medios de comunicación. La educación en ciencias de nuestros niños y jóvenes se ha convertido en una preocupación nacional y la comunidad científica chilena ha asumido su responsabilidad de colaborar con el mejoramiento de la calidad y pertinencia de esa educación.

A pesar de estos importantes avances, que reconocemos y apreciamos, las principales conclusiones que derivamos de este Estudio son más bien de preocupación que de satisfacción. Esto deriva del hecho que es necesario calibrar la velocidad de nuestro progreso frente a la meta de lograr el desarrollo socioeconómico de nuestra nación en la actual generación y frente al acelerado avance de otras naciones con las que debemos competir en un mundo cada vez más globalizado. La visión general que nos brinda nuestro estudio es que el ritmo de nuestro avance en ciencia y tecnología, la pendiente por la que ascendemos, es claramente insuficiente para lograr la meta del desarrollo de Chile en la próxima década.

Sin embargo, este mismo análisis de nuestra realidad en Ciencia y Tecnología, nos dice que Chile cuenta con personas y con instituciones capaces de impulsar el desarrollo científico y tecnológico hasta velocidades compatibles con las ambiciosas metas que nos hemos puesto. Chile tiene una comunidad científico-tecnológica pequeña pero de alta calidad e impacto, con un gran compromiso con el país, inserta en redes internacionales de alto nivel y en que se ha ido asentando liderazgo entre los jóvenes científicos. También tenemos algunas universidades de investigación, centros e institutos de excelencia que son capaces de desarrollar proyectos de relevancia y varias empresas con éxito en los mercados mundiales que han captado la idea de que su futura competitividad depende del nuevo conocimiento que le introduzcan a sus productos lo que se refleja en las primeras inversiones que se están efectuando en este campo. Afortunadamente, tenemos también líderes políticos que comprenden la relevancia y la urgencia de realizar inversiones significativas en ciencia y tecnología y el país dispone de una situación económica que permite incrementarlas hasta los niveles requeridos para emular el camino de países que han conseguido alcanzar el desarrollo en las últimas décadas.

Tenemos todos los ingredientes para incrementar drásticamente nuestro ritmo de avance en ciencia y tecnología, solo necesitamos la decisión de una Política de Estado de largo plazo que congrege esos componentes en una estrategia nacional bien reflexionada y apoyada en los estudios y los liderazgos científico-tecnológicos que aseguren su éxito. Esperamos que el actual estudio contribuya a generar el consenso necesario para establecer esa política.

Parece obvio expresar que las opiniones presentadas en este capítulo son las de sus autores y no necesariamente comprometen a las instituciones que contratan dicho estudio.

A continuación se revisaron algunos de los temas abordados en este estudio y sus principales conclusiones.

2. Principales conclusiones del estudio

2.1. Los recursos humanos disponibles actualmente.

Hemos estudiado los recursos humanos disponibles mediante la confección de un Directorio de Investigadores que incluye a las personas residentes en Chile que han generado conocimientos mediante la investigación científica en los últimos 5 años en una o varias de las 11 grandes disciplinas que abarca el estudio. Como ya se explicó en la Presentación de este Estudio, el criterio de incluir a personas con publicaciones en revistas indexadas internacionalmente por el Institute for Scientific Information (ISI), fue general, aunque cada Comité de Pares adaptó ese criterio a las condiciones de cada disciplina, seleccionando a las personas que hacen investigación en forma continuada con estándares internacionales y que ya han concluido su etapa de formación de posgrado.

El Directorio reúne a un total aproximado a 2.250 personas en las 11 áreas del conocimiento. Al comparar este número con el obtenido en un ejercicio similar hace doce años, vemos que ha habido un incremento de 66% (el total de investigadores entonces fue de 1.342). Este incremento es diferente en diversas áreas, algunas áreas como astronomía se han duplicado, mientras que otras como biología han demostrado aumentos menores.

En forma global vemos que el área con mayor número de investigadores es biomedicina (22%), seguido de biología (19%), química (11,6%), ciencias de la ingeniería (10,9%), física (8,9%), agronomía (8,5%), ciencias ambientales (7,3%), matemáticas (7,5%), ciencias del mar (7,2%), ciencias de la tierra (6,6%) y astronomía (1,9%).

La conclusión más importante que arroja este Directorio es el muy bajo número de investigadores que el país tiene en estas 11 áreas que cubren gran parte de la ciencia y la tecnología. En base a este resultado, nos atrevemos a asegurar que usando criterios similares,

pero extendiendo el presente Directorio a todas las áreas del conocimiento que se cultivan en Chile, es muy probable que el número total de investigadores no alcance a 3500.

Para que estos datos adquieran la dimensión correcta, conviene dar algunos ejemplos de los números de investigadores en sub-disciplinas de obvia importancia nacional. Por ejemplo, tenemos en Chile sólo 29 personas que investigan en el campo de la fruticultura, 24 que investigan las ciencias atmosféricas que incluye la climatología, el cambio global, hoyo de ozono y las neblinas del “norte desértico”; 4 personas que investigan la microbiología marina y 21 investigan toda el área de la geofísica en la que Chile es un rico laboratorio de placas, volcanes y sismos. En áreas básicas también tenemos poquísimas personas, por ejemplo en genética, en la era de los genomas tenemos solo 24 personas, solo hay 8 personas cuya tarea principal estudiar la preservación de la biodiversidad y en toda el área de la estadística sólo tenemos 13 investigadores.

Hay varios aspectos que se pueden deducir del Directorio. Ha habido un importante recambio pues la edad promedio de los investigadores ha disminuido un par de años a 51 años de edad comparado con el Directorio de 1993 y solo el 44% de los investigadores incluidos en el Directorio de 1993 sigue estando presente en el Directorio de 2005. Sin embargo, hay grandes diferencias entre las disciplinas y sub-disciplinas. En farmacología la edad promedio es de 57 años, mientras que la edad promedio de bioinformática es solo de 45 años. En fruticultura, sólo 9% de los investigadores tiene menos de 40 años y 27% está por sobre 60. Aproximadamente el 25% de las personas son de sexo femenino. Pero este porcentaje varía. En biología hay 33% de mujeres. En general el porcentaje de mujeres es mayor entre los grupos de investigación más jóvenes.

Esto indica que además de la muy clara necesidad de incrementar los números, será necesario hacer un importante esfuerzo para el recambio generacional de varias áreas y hacer esfuerzos para mejorar balance de género. Un aspecto positivo es que el porcentaje de los investigadores con grado de doctor se ha más que duplicado, desde 33% en 1993 a alrededor de 70%. En los grupos más jóvenes el porcentaje se aproxima al 100% con doctorado. Sin embargo en esto también varía en las disciplinas. En biomedicina, el porcentaje con doctorado es sólo 55% ya que muchos investigadores tienen el título de médico, mientras que en astronomía hay 90% de doctores.

Otro aspecto que es interesante comparar es la distribución porcentual por institución que los alberga. La comparación con el estudio de 1993 se muestra en la Tabla 18.1.

Al igual que en 1993, 5 instituciones universitarias (3 de la Región Metropolitana y dos de Regiones) concentraron gran parte de los investigadores en el año 2005. En 1993 esas mismas instituciones reunían el 71% de los investigadores mientras que ahora reúnen al 70,8%. Ha habido, sin embargo importantes cambios porcentuales en algunas de ellas como la Universidad de Concepción, la Universidad de Santiago y la Pontificia Universidad Católica de Chile que han incrementado su porcentaje y la Universidad de Chile y la Universidad Austral han disminuido porcentualmente. En la lista actual aparecen nuevas instituciones que no se detallaban en la lista original como el INIA, CODELCO, La Universidad Andrés Bello y el Centro de Estudios Científicos para mencionar algunos ejemplos interesantes.

Otros aspectos que son notorios son el reducido número de investigadores en los institutos tecnológicos del Estado (INIA, ISP, IFOP, IIN, INFOR, INACH, CIMM, Comisión de Energía Nuclear, Hospitales, etc.). Ellos suman 3,1% de los investigadores del país. De la misma manera, el número de investigadores en empresas del sector productivo es bajo y se concentran en empresas estatales como CODELCO y ENAP. Es evidente que el criterio, usado en la preparación del Directorio que se basa en publicaciones científicas de calidad internacional, no favorece a las personas implicadas en innovación tecnológica pero, como se muestra en el capítulo sobre publicaciones y patentes, los investigadores de los institutos

tecnológicos y de las empresas privadas tampoco aparecen con la productividad esperada en patentes.

Tabla 18.1. Distribución porcentual de los investigadores del Directorio 2005 comparada con la del año 1993, por instituciones.

Institución	% año 1993	% año 2005
Universidad de Chile	37	32,9
Pontificia Universidad Católica de Chile	13	15,4
Universidad de Concepción	9	12,1
Universidad Austral de Chile	8,8	4,7
Universidad de Santiago de Chile	3,8	5,7
Universidad Católica de Valparaíso	3,1	2,8
Universidad Técnica Federico Santa María	2,8	2,7
Universidad Católica del Norte	2,4	2,4
Universidad de la Frontera	1,4	2,1
Universidad de Talca	0,8	1,9
INIA	sin registro	1,7
Universidad de Valparaíso	2	1,6
Universidad Andrés Bello	sin registro	1,2
Universidad de Antofagasta	1,3	1
Servicio Nacional de Geología y Minería	sin registro	0,8
Centro de Estudios Científicos	sin registro	0,8
Universidad de la Serena	1	0,7
Universidad de Tarapacá	0,4	0,6
Universidad de Magallanes	0,7	0,6
CODELCO	sin registro	0,6
Universidad de los Lagos	sin registro	0,6
Comisión Nacional de Energía Nuclear	sin registro	0,4
Universidad del Bío-Bío	0,2	0,5
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación	0,1	0,2
Otras	9,5	6,4

Una última conclusión de este Directorio es la necesidad de profundizar en el análisis de los datos sobre esta pequeña comunidad de investigadores chilenos para la generación de políticas que aprovechen su gran calidad y su compromiso en beneficio del país. También surge la conclusión de mantener al día este Directorio con revisiones frecuentes, lo que nos permitiría tener una visión clara y actualizada de los recursos humanos a los que se puede recurrir para enfrentar los más importantes problemas del país. Junto con este Directorio se está construyendo una base de datos que deberá ser de gran utilidad para estudios posteriores sobre nuestra capacidad en temas multidisciplinarios emergentes como biotecnología, ciencias de los materiales y ciencias de la información. Esta información puede ser también clave para fundamentar los esfuerzos para recuperar científicos chilenos residentes en el extranjero.

2.2. Formación de nuevos recursos humanos en Ciencia y Tecnología.

Una de las principales conclusiones de este estudio es que el pequeño número de investigadores con que el país cuenta es insuficiente para responder al desafío de desarrollo en

nuestro país. Además una parte importante de nuestros actuales investigadores tienen edades que harían necesario su reemplazo. Todo nos indica que una primera prioridad en cualquier política de desarrollo científico-tecnológico es el incremento acelerado en la formación de nuevos recursos humanos altamente calificados para poder desempeñarse en la complejidad de los desafíos científicos de las primeras décadas del siglo 21. Este imperativo nos ha hecho examinar críticamente en este estudio como lo estamos haciendo actualmente en el campo de la formación de estos recursos. Los capítulos “Enseñanza de las ciencias a nivel escolar y formación en ciencia en el pregrado universitario” y “Formación de posgrado en ciencias” tratan de este tema.

Para captar jóvenes con vocación científica-tecnológica es indispensable que ellos sean estimulados cuando niños y adolescentes por una educación científica de calidad a nivel básico y medio. Sin embargo, en la gran mayoría de nuestras escuelas y liceos la calidad de la educación en ciencias es muy deficiente, no se entusiasma a los niños con la fascinación de la ciencia, y no se transmiten los valores que acompañan al quehacer científico.

Para remediar esta situación es importante la colaboración de autoridades, instituciones y personas. Las instituciones responsables de la formación de los profesores de ciencias deberían elevar el nivel de la formación científica de sus egresados con la colaboración de la comunidad científica para preparación y actualización de los profesores. Es indispensable que las autoridades estimulen a las escuelas, liceos y profesores a adoptar nuevas metodólicas, como la basada en la indagación, que aumente el interés de los niños y jóvenes por la ciencia y por sus metodólicas.

Los jóvenes que se interesan por seguir carreras científicas deben recibir una educación de pregrado universitario de gran calidad y de mucha exigencia. Para fundamentar una opinión de lo que está ocurriendo al respecto, el Estudio se centró en el análisis de las licenciaturas en ciencias. Las Universidades del Consejo de Rectores ofrecen 61 licenciaturas en ciencias que están localizadas principalmente en Facultades de Ciencias. La matrícula total de estas licenciaturas en las principales universidades es de aproximadamente 5.300, con 930 vacantes por año. Hay mucha heterogeneidad entre los programas de cursos ofrecidos por estas licenciaturas y en las exigencias de la formación. El estudio de la formación de pregrado que da origen a los becarios de doctorado de CONICYT ha sido una buena fuente para indagar sobre los programas de pregrado que más inciden en la formación de investigadores. Los resultados obtenidos indican que solo 6 universidades de las 60 existentes son responsables del 89% de los licenciados becados por CONICYT para seguir al doctorado. Del total de 859 becarios, 640 provienen de licenciaturas en ciencias y 219 de carreras profesionales, siendo las ingenierías, la medicina y la veterinaria las carreras profesionales que más doctores aportan.

El capítulo de Posgrado recoge importantes datos sobre la formación de personal altamente capacitado. En comparación con 1993, cuando existían 15 programas de doctorado en ciencia y tecnología, ahora existen 91, lo que constituye el 69% de todos los programas de doctorado del país. En esas mismas áreas existen 226 programas de magíster. Este alto número de programas, sin embargo, se puede contrastar con el hecho que los 91 programas de doctorado sólo graduaron 117 doctores en las áreas de ciencia y tecnología en el año 2003 (último año con datos completos), lo que da un promedio de 1,28 doctores por cada programa. Otro aspecto llamativo es que de los 117 doctorados en ciencia y tecnología graduados en 2003, 94 pertenecen a las ciencias básicas, solo 1 a las ciencias agropecuarias, 10 al sector salud y 12 a las ingenierías y tecnologías. Sin duda que estas magras cifras, de todas maneras significan un importante crecimiento con respecto a 1993 cuando se graduaban solo 22 doctores en todas las áreas en todo el país. Otra cifra que muestra ese avance se encuentra en el hecho que el año 1993 teníamos 238 estudiantes de doctorado inscritos mientras que en 2003 habían 1.985 matriculados en estos programas, sin embargo el aumento en los estudiantes de posgrado en estos años ha sido menor al incremento de la matrícula en la educación superior en general. Así, en 1992, los estudiantes de posgrado eran el 1,3% de la matrícula en educación superior y ahora

son sólo 0,66%. Para dimensionar los datos chilenos, es bueno compararnos con otros países. Chile gradúa actualmente 8 doctores en ciencia y tecnología / millón de habitantes, mientras que México gradúa cerca de 9 / millón de habitantes, Brasil 29 (44 el año 2004) y Nueva Zelanda está en 120 / millón de habitantes. Otro aspecto importante de los datos recogidos es que sólo 6 universidades (Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Concepción, Universidad Austral, Universidad de Santiago de Chile y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso) de las 60 existentes gradúan el 97% de los doctores y 70% de ellos se graduaron en la Región Metropolitana.

El crecimiento de los programas de posgrado requiere de la integración en mejor forma de dichos programas con el pregrado.

Al estudiar las tasas de crecimiento de la formación de doctores lograda en los últimos años (1997-2003), se puede estimar que en 2010 se estarían graduando un total de 369 doctores en todas las áreas de los cuáles 289 corresponderían a ciencia y tecnología. Para llegar a la meta propuesta de 1.000 doctores por año para 2010, menos de la mitad de lo que ahora hace Nueva Zelanda, tendríamos que subir la tasa de crecimiento hasta 35% anual, lo que es el doble de lo que se ha logrado en estos años. Es importante también concluir que existen los programas y una comunidad científica de gran calidad que es capaz de responder a ese enorme desafío.

2.3. Productividad Científica medida por Publicaciones y Patentes.

La ciencia genera conocimientos y la actividad científica tiene como resultado muchos beneficios para la sociedad que la sostiene. Algunos de esos beneficios, como la transmisión de los valores y el pensamiento crítico a la sociedad, son intangibles y de difícil cuantificación.

En el ámbito de las ciencias, los nuevos aportes al conocimiento, sólo son reconocidos como tales si son publicados en una revista científica que somete a dichos resultados, sus métodos y conclusiones, al escrutinio de exigentes pares evaluadores y un comité editorial de prestigio. Esa es la razón por la que la capacidad científica de un país está reflejada por la cantidad y calidad de las publicaciones. Aunque la calidad o importancia de un aporte científico no es fácilmente medible, un factor que se usa es el llamado “impacto” que se basa en el número de veces que dicha publicación es mencionada en otros trabajos publicados. Esta medición del “impacto real” es reemplazada por el impacto que tiene en general la revista que se utilizó para publicar los trabajos con el supuesto que un trabajo publicado en una revista de alto impacto será mejor que un trabajo publicado en una revista con menor impacto. Este supuesto es cuestionable, pero por comodidad y dificultad de encontrar otros parámetros mejores, es muy usado internacionalmente.

En algunos casos, se puede proteger el valor del uso de un descubrimiento mediante el patentamiento. El patentamiento de hallazgos científicos con posibles usos comerciales puede generar considerables ingresos a los investigadores y a las instituciones que ostentan dicha propiedad intelectual. En los países de América Latina no ha existido la cultura del patentamiento pero las presiones de la globalización de la economía ha resultado en la necesidad de adoptar este procedimiento legal.

El capítulo de Publicaciones y Patentes del Estudio analiza estos dos índices de la productividad científica de Chile. Este análisis se hace en forma global, comparando la productividad en publicaciones desde 1993 hasta 2003, y también examinando los cambios que han ocurrido por diversas disciplinas científicas con referencia a las publicaciones. El análisis comparativo de diferentes disciplinas permite conocer cómo Chile se ubica en el contexto regional (principalmente países de América Latina) y también a nivel mundial. Chile ha subido gradualmente de 1.252 en 1993 a 2.550 publicaciones científicas en 2003. Estas son publicaciones registradas por el Institute of Scientific Information (ISI). El aumento observado en Chile en este período es menor al aumento que ha experimentado América Latina en general

y mucho menor a los de Brasil y México. En las áreas de astronomía y de matemáticas, Chile tiene un índice de impacto a la par con países desarrollados, aunque el número de los trabajos es mucho menor. En la mayoría de las áreas, la calidad de las publicaciones chilenas medidas por su impacto supera el promedio de América Latina pero es apreciablemente menor a los niveles de los países desarrollados. Separando la década de los estudios en dos fragmentos (1993-1997 y 1998-2003), se observa que las disciplinas que más han crecido con respecto a sus publicaciones son las ingenierías, las ciencias de la tierra, las matemáticas, la ecología y la física (todas sobre el 100%). La que menos creció fue el área agropecuaria (48%), mientras que la química, la biomedicina, las ciencias del espacio, han crecido entre 65% y 85%.

Al investigar las instituciones que son responsables de las publicaciones vuelve a resultar que más del 75% de las publicaciones se originan en solo 5 de las 60 universidades existentes en Chile (Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Concepción, Universidad de Santiago y Universidad Austral de Chile), las mismas que son responsables de la gran mayoría de los doctorados. También se observa que más del 60% de las publicaciones se originan en la Región Metropolitana. Algunas de las universidades regionales muestran una interesante especialización en sus investigaciones a temas ligados al quehacer socioeconómico de esas regiones. Sin embargo, la escasa actividad científica en la mayoría de las regiones es un serio problema nacional que debemos enfrentar.

En el tema de patentes el país está muy rezagado. En 1995 se presentaron sólo 170 solicitudes de patentes por entidades chilenas, número que subió a 382 en 2004. Sin embargo, el número de patentes concedidas a residentes en Chile fue de 19 en 1995 y de 17 en 2004. Otro dato interesante es que de las patentes otorgadas entre 1995 y 2004 (total de 194), el 57,2% fue otorgada a personas naturales, 33,5% a empresas, 6,2 a universidades y 3,1% a centros y fundaciones. Llama la atención el bajo número otorgado a universidades que son responsables de más del 80% de la investigación científica-tecnológica. Al revisar las solicitudes de patentes presentadas a la Oficina de Patentes de Estados Unidos por chilenos, vemos que en 2003 el número llegó a 33 de los cuáles se otorgaron 11. Comparando el índice de patentes otorgadas por millón de habitantes, Chile muestra valores cien veces menores a los de Irlanda, Francia y el Reino Unido y más de 400 veces inferior al de Estados Unidos. Entre las empresas que se destacan por haber obtenido patentes están CODELCO y Minerales Michilla S.A. y entre las universidades, la Universidad de Concepción.

Como conclusión de este capítulo podemos acotar que la pequeña comunidad científica produce publicaciones científicas que en general se destacan por su calidad y por su número, con respecto a población en el ámbito latinoamericano, y que el número de patentes solicitadas u otorgadas es mínimo y requiere de un fuerte incentivo para lograr instalar la cultura del patentamiento.

2.4. Financiamiento de la Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología.

En el Capítulo titulado Inversión Nacional en Investigación y Desarrollo (1995-2004) el Estudio hace un análisis de los instrumentos que el Estado ha usado para apoyar la investigación y el desarrollo científico-tecnológico durante la década pasada. En este análisis se reconocen varias categorías de recursos. Existen aportes directos a las universidades y a los institutos del Estado y fondos concursables. Estos últimos se subdividen en aportes a la investigación básica con un criterio de asignación preponderantemente definido por la calidad de los proyectos y de sus proponentes y en segundo término, aportes a la aplicación de conocimiento y desarrollo tecnológico, en cuya asignación incide en forma importante la relevancia y el impacto socioeconómico del problema que se pretende solucionar. El tercer tipo de aporte son los fondos concursables dedicados a becas y al apoyo a programas de formación de recursos humanos.

Durante la década se han incrementado los aportes directos de los institutos del Estado en 38,9% mientras que el AFD a las universidades solo se ha incrementado en 21,7% en el mismo período, bajando su aumento a menos de 1% anual en los últimos dos años.

Con respecto a los fondos concursables, dedicados en un 67% a ciencia básica, se ha podido establecer que si bien el FONDECYT y la Iniciativa Milenio han aumentado de \$ 16.167,70 millones en 1995 a \$ 24.874,20 en 2004, o sea aproximadamente 54%, en los últimos años ha habido un estancamiento y aún una leve disminución de estos fondos. De hecho, el número de proyectos nuevos aprobados por FONDECYT ha disminuido de 445 apoyados en 1995 a 364 apoyados en 2004. Estos datos son muy preocupantes porque FONDECYT es el principal instrumento de apoyo a los proyectos científicos y en esa misma década se formaron más de 600 nuevos doctores y el número de investigadores aumentó en un 66 %.

En el mismo período, hemos tenido un aumento de 112,6% en los fondos dedicados a formación de recursos humanos, lo que ha resultado en un importante aumento del número de becas y de doctores en ciencia y tecnología graduados en el país. Aún con ese aumento, los aportes llegan a sólo USD \$ 15-18 millones lo que es un bajo porcentaje de la inversión en ciencia y tecnología que se hace al país. Esto contrasta con lo que realiza otros países como Brasil, y hace deseable que Chile invierta considerablemente más fondos en becas doctorales.

Un aporte inédito a los Programas de Doctorado se ha materializado mediante el Programa MECESUP con apoyo de un crédito del Banco Mundial, el que ha permitido aumentar becas y adquirir equipamiento sofisticado de investigación. Al término de este proyecto en 2004 se aprobó la idea de contratar un nuevo crédito para continuar con este apoyo que ha impulsado la creación de nuevos programas de posgrado.

Otro aspecto que se incluye en los datos presentados de este estudio está en la estimación de los aportes por el sector productivo a las tareas de investigación y desarrollo. Usando una nueva metodología, que incluye el gasto de empresas estatales junto con las privadas y una encuesta especialmente diseñada por el Programa Chile-Innova, para medir el gasto privado en I + D en Chile, se ha modificado notoriamente el monto estimado para este aporte a partir de 2002. Con esas cifras, el aporte del sector productivo se ha estimado para 2004 en US \$ 162.4 millones, lo que corresponde al 40% del total de US \$ 425 - 450 millones que invertiría el país en I + D. La cifra oficial del aporte del sector productivo es del 35% del total el año 2003. Este porcentaje es un incremento importante de 19% que se tenía en 1995.

El país ha tomado una importante decisión de aportar los fondos que se recaudarán a partir de 2006 por el Royalty a las empresas mineras al desarrollo tecnológico y a la innovación. Esta decisión es bienvenida por la comunidad científica en la medida que estos nuevos aportes se hagan con los antecedentes necesarios, fundamentos claros y sabiduría. Esto significa mantener un adecuado balance mediante el aumento al apoyo a las ciencias básicas y en especial a la formación de recursos humanos. En la actualidad se estima que 22% de los recursos se destinan a investigación básica, 37,4% a investigación aplicada y 41% a desarrollo tecnológico.

2.5. La inserción de la Ciencia Chilena en la Ciencia Mundial.

La ciencia nació globalizada. Desde los tiempos de Copérnico, Galileo y Bacon, las ideas y los conocimientos científicos traspasaron las fronteras libremente. La ciencia chilena se inició con la visita a Chile de sabios europeos; Gay, Domeyko, Darwin y más recientemente de científicos como Lipschutz y Noé. De todas maneras, la lejanía geográfica, el alto costo de los pasajes y de las revistas y libros científicos causaron un aislamiento que constituyó un importante freno para el desarrollo científico-tecnológico chileno durante gran parte del siglo 20. El viaje para asistir a un congreso internacional o a la visita de un investigador extranjero eran acontecimientos memorables. La facilidad para viajar y especialmente la extraordinaria revolución en el acceso a la información y a la comunicación que han aparecido con Internet,

han casi eliminado el aislamiento y permitido un notable incremento en la cooperación científica de los investigadores chilenos.

Otro aspecto que ha motivado la internacionalización de nuestros investigadores ha sido el aumento extraordinario de la complejidad y competitividad de la investigación científica. En las últimas décadas, el logro de nuevos conocimientos requiere cada vez más de grupos de investigadores que aportan diferentes enfoques y destrezas en el manejo de técnicas y de procesos. Este requerimiento de masa crítica para investigar se ha incrementado notoriamente y esto significa que con frecuencia haya que buscar la colaboración fuera de las fronteras nacionales, lo que es aún más necesario en países como Chile con una comunidad científica pequeña. La exigencia y competitividad de las revistas científicas que han elevado sus requerimientos para publicación, han empujado en el mismo sentido.

Los datos recogidos en el capítulo sobre las Relaciones Internacionales de la Ciencia Chilena comprueban que la internacionalización de la investigación se presenta con gran fuerza en Chile. Usando las publicaciones científicas indexadas en el ISI con autores de instituciones chilenas entre los años 1981 y 2001 encontramos que 47% de esos trabajos tienen co-autores de otros países. Si la ventana de tiempo se toma en períodos más cortos, se ve que el porcentaje de trabajos chilenos en colaboración va aumentando, llegando en el último quinquenio por sobre el 60%. Un beneficio de esa cooperación es el hecho que el impacto de las publicaciones realizadas con laboratorios de otro país es superior al impacto promedio de las publicaciones realizadas enteramente en Chile. Es interesante notar que el efecto positivo de la colaboración sobre el impacto de los trabajos también se observa cuando ésta se desarrolla con países latinoamericanos.

Ese capítulo muestra cuáles son los principales países con grupos que colaboran con autores chilenos. No es muy sorprendente que el principal socio sea Estados Unidos, dada su prominencia en ciencia y tecnología. De Europa destacan Alemania, España, Francia, Reino Unido e Italia en ese orden. Dentro de América Latina colaboramos principalmente con Brasil, Argentina y México. Es interesante que en algunas áreas de las ciencias, es posible notar un esfuerzo focalizado que han hecho programas bilaterales. En Química, España es el principal socio, duplicando a Estados Unidos en el número de trabajos conjuntos; en Matemáticas, Francia ocupa un elevado segundo lugar y en Física, Bélgica aparece en un destacado tercer lugar que no ocupa en otras áreas.

Otro dato muy relevante relacionado con la gran importancia de la colaboración internacional para la ciencia chilena se refiere a la formación de nuestros recursos humanos. Se identificaron los países donde obtuvieron su grado académico los cerca de 2.000 doctores en ciencias que participan en proyectos FONDECYT. El resultado indica que 70% de ellos lo obtuvieron en el extranjero: 27% en Estados Unidos y 35% en la Unión Europea y 5 % en América Latina.

Frente a esta realidad de la importancia de la cooperación internacional es necesario contrastar el mínimo esfuerzo que hace nuestro país para aprovechar las oportunidades que se presentan para fortalecer nuestro desarrollo científico-tecnológico mediante la cooperación internacional. Muestra de esto es que el presupuesto disponible para contrapartidas nacionales en proyectos de colaboración y todo el apoyo a intercambio científico-tecnológico suma alrededor de 2% del presupuesto de CONICYT.

2.6. Inserción de la Ciencia en la Sociedad Chilena.

En las últimas décadas en las que el avance científico se ha tornado vertiginoso y en las que el impacto de este avance ha remecido la sociedad hasta sus cimientos, el diálogo entre la comunidad científica y tecnológica y el resto de la sociedad se ha hecho imperativo. Es necesario que la sociedad entienda y valore los objetivos y motivaciones de la ciencia y los

científicos y que la comunidad científica escuche y comprenda las preocupaciones de la sociedad. Sin este diálogo, se generan temores y desconfianzas que perjudican a la ciencia y limitan el desarrollo de los pueblos. El capítulo Ciencia y Sociedad presenta una breve mirada a lo que ocurre en Chile actualmente en esta interfase. Una definición primordial es que “la ciencia y la tecnología son parte fundamental de la cultura” por lo que la sociedad debe apropiarse del quehacer científico-tecnológico como algo propio, valioso e indispensable.

Un aspecto que se discute como esencial para que la ciencia y la tecnología sean parte de la agenda de la sociedad chilena es una institucionalidad que asegure que las políticas nacionales de desarrollo científico-tecnológico se generen con la participación y compromiso de sus principales actores y que corresponde a una reflexión profunda y seria sobre las necesidades del país y sobre el rumbo y las oportunidades que presenta el desarrollo científico-tecnológico a nivel mundial. Hay consenso en la comunidad científica de que la institucionalidad existente está obsoleta y que no cumple con las esenciales tareas de proponer a las autoridades y a la sociedad un mapa de ruta que nos guíe al mejor aprovechamiento de los conocimientos para estimular el desarrollo de nuestro país. La falta de recursos humanos en general y la absurda falta de capacidad para generar conocimientos en áreas de obvia importancia para Chile, nos dicen que nuestra institucionalidad en este campo no está funcionando con los requerimientos de los tiempos.

Este capítulo hace hincapié en la responsabilidad de la comunidad científica en estar muy activa y dispuesta a presentar su visión y sus propuestas a la sociedad y de demostrar su vocación social en las actividades de educación y cultura que benefician al gran público. Por otra parte, se plantea la necesidad de intensificar la alfabetización científica mediante diferentes mecanismos como los museos de ciencia, que son parte de la educación informal que ayuda a la sociedad a mantenerse al día del progreso y la científico-tecnológico. En este campo, Chile ha dado pasos importantes con la construcción del MIM y con el continuado desarrollo de otros museos de ciencia y tecnología.

Un factor fundamental son los medios de comunicación social y en este campo se han logrado avances, especialmente en los medios escritos, pero todavía hay una cobertura insuficiente de ciencia y tecnología, especialmente de las contribuciones endógenas. Para avanzar más en este aspecto es necesario una mejor preparación de los periodistas que cubren las noticias científicas, en cuya preparación es fundamental que la comunidad científica colabore activamente y que también haga esfuerzos para dar a conocer su obra en un lenguaje accesible al gran público. El Programa Explora de CONICYT es un excelente ejemplo de lo que se puede hacer para dar a conocer la ciencia y tecnología chilena al público en general y a los escolares en particular.

Se concluye que en el construir puentes de diálogo entre la Sociedad y la comunidad científica-tecnológica, la educación formal en las escuelas y liceos del país juega un papel fundamental. Se ejemplifica con el Proyecto de Educación en Ciencias Basada en la Indagación (ECBI) que hace dos años y medio se está implementando con participación del Ministerio de Educación, la Academia Chilena de Ciencias y las Universidades de Chile, Concepción, Playa Ancha y Santa María. Este proyecto reproduce en la sala de clase el proceso que los científicos desarrollan en sus laboratorios y los niños aprenden haciéndose preguntas, proponiendo predicciones, haciendo experimentos y comparando los resultados. La metódica que está siendo impulsada en todo el mundo por las Academias de Ciencias, despierta en los niños gran interés y aprecio por la ciencia.

Otro importante tema que se discute es el de la interacción de los científicos y tecnólogos con los empresarios. Sólo con un activo encuentro entre esos dos mundos será posible generar proyectos de investigación, desarrollo e innovación que puedan dar valor agregado a los productos chilenos y aumentar nuestra competitividad. Sería deseable que el Estado fomente el diálogo y estimule la generación de proyectos que involucren a las empresas

en conjunto con las universidades y otros centros de formación. Un tema relacionado es la preocupación por la preservación del medio ambiente que está surgiendo con fuerza en la sociedad chilena. La formulación de normas y decisiones relativas a la interacción Industria-Medio Ambiente, área de gran complejidad técnica, requerirán en forma creciente de sustento científico, y por otra parte se hace necesario que se establezca una política nacional para aumentar nuestra capacidad científica que apoye un desarrollo sustentable.

3. Recomendaciones

3.1. Una Institucionalidad adecuada a los desafíos del Chile del siglo 21 en Ciencia, Tecnología e Innovación.

A. Antecedentes

El documento aprobado por la comunidad científica en el Encuentro Chile-Ciencia 2000 y el Informe “Ciencia, Tecnología e Innovación Programas y Políticas en Chile” de una misión internacional patrocinada por Chile y el CIID-Canadá, 1999, han recomendado que con urgencia se renueve la institucionalidad con que contamos en Chile para impulsar el desarrollo científico-tecnológico y de innovación a nivel nacional. Se constata que la institucionalidad actual está obsoleta con respecto al país real en los inicios del siglo 21 y no está cumpliendo con la tarea de diseñar estrategias y políticas nacionales en aquellos campos que puedan guiar los esfuerzos del país hacia las ambiciosas metas de desarrollo cultural y socioeconómico.

En los últimos meses, durante la realización del estudio “*Análisis y Proyecciones de la Ciencia Chilena-2005*” se han detectado varias carencias y descoordinaciones en las capacidades que hemos construido o dejado de construir en los últimos años, en relación a las necesidades y prioridades que Chile debería plantearse en las áreas de ciencia y tecnología. También las deficiencias que se tiene en la información y los estudios que son necesarios para definir las políticas.

En estos momentos el Ejecutivo ha propuesto un Proyecto de Ley que crea un Fondo de Innovación para la competitividad y modifica significativamente la institucionalidad en toda el área de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI). Este proyecto supera con creces el manejo de un fondo específico sugerido del nuevo impuesto a las grandes empresas mineras y tiene como uno de sus objetivos la formación de un Consejo con iniciativa para formular políticas de largo plazo en CTI.

Este hecho crea un cuadro nuevo al que hay que integrar discusiones y propuestas previas sobre institucionalidad científica y tecnológica; hace necesario que la Academia Chilena de Ciencias y la comunidad científica manifiesten sus ideas sobre los aspectos más importantes de la nueva institucionalidad propuesta. Sin embargo, desde ya hacemos presente que la ciencia no se agota en la innovación por lo que una ley centrada en la innovación sólo da cuenta de una parte del desarrollo científico nacional.

La innovación involucra una reflexión sobre la empresa chilena y su competitividad, tema de la mayor importancia para el desarrollo nacional, y sobre el cual, instituciones estatales y privadas han debido realizar estudios y tener diagnósticos claros. Seguramente uno de los elementos recurrentes en tales estudios es la dramática falta de capital humano especializado: ingenieros, tecnólogos y científicos y por otra parte, la identificación de mecanismos que permitan una mayor vinculación entre científicos y empresas, para así generar una cultura y un trabajo conjunto (por ej. Patentes) que permita al país dar un salto en innovación. Nuestras propuestas apuntan a complementar aquello, destacando el capital que Chile ya tiene en ciencia y tecnología y clarificar el importante rol de la ciencia y la tecnología en la innovación, lo que da una base sobre lo que se pueda construir una política nacional en CTI. Debemos considerar asimismo que la institucionalidad debe también hacerse cargo del indispensable desarrollo de la

ciencia básica y de la formación de investigadores en las universidades e institutos de investigación.

B. Funciones que debería desempeñar la institucionalidad en CTI

- i) Asesorar al Presidente de la República y a los Poderes del Estado en estas materias.
- ii) Generar y proponer políticas y estrategias de Estado en CTI.
- iii) Coordinar la acción de los diferentes elementos e instrumentos del Estado que participan en el desarrollo de CTI y decidir sobre los recursos que se asignan a estos instrumentos.
- iv) Incentivar el diálogo y crear los mecanismos de interacción, entre los actores en investigación e innovación con la sociedad en su conjunto.

C. Requisitos para el funcionamiento de la institucionalidad

- i) Participación y representatividad de los principales actores de CTI que asegure un fuerte compromiso nacional con las políticas y su implementación.
- ii) Acceso directo del directivo de la nueva Institucionalidad a las más altas autoridades de la nación para poder desempeñar sus funciones de asesoría y coordinación. Participación de ese directivo en las principales decisiones del gobierno
- iii) Vínculos operativos con las principales instituciones y agencias del Estado que ejecutan acciones de desarrollo en CTI.
- iv) Vínculos con instituciones autónomas de reconocido prestigio en la materia, que realicen estudios atinentes a la generación de políticas y estrategias nacionales para el desarrollo en CTI.
- v) Generación y análisis de la información sobre la que se fundamente las políticas: capacidad del país en CTI, inversiones en este campo (proyectos, formación, equipamiento, interacción universidad-empresas) y evaluaciones de esta inversión. Estudio de casos internacionales que se estimen relevantes.
- vi) Distinción entre políticas y mecanismos de largo plazo para preservar e incrementar los capitales que tiene el país en CTI, -en particular de su capital científico-, de las políticas puntuales y exploratorias y de mecanismos específicos.

D. Modernización de instituciones o mecanismos del Estado que apoyan a la investigación.

- i) Restituir un Consejo como organismo de gobierno para CONICYT. La composición de este Consejo debería por una parte asegurarle eficacia y por otra representatividad de los actores principales en ciencia y tecnología, y de empresas e instituciones que la generan y utilizan.
- ii) Todos los fondos estatales para apoyo a investigación en CTI existentes debieran tener Consejos con una composición que asegure expertise técnico del más alto nivel y una rotación periódica de sus miembros y autoridades. La evaluación técnica de los proyectos sometidos a dichos fondos debiera hacerse por pares externos y el funcionamiento, efectividad y transparencia de estos fondos y sus consejos deberían ser evaluados periódicamente por comités externos.

E. Instituciones autónomas en la generación de estudios que sirvan de fundamento a las estrategias y políticas nacionales.

i) Se debería estimular a instituciones autónomas de prestigio nacional e internacional que agrupen a expertos en CTI, a realizar estudios pertinentes a problemas o nuevas oportunidades que requieren de decisiones o políticas públicas en este campo. Estos estudios o informes, sean o no solicitados, debieran ser considerados por la institucionalidad que defina políticas nacionales.

ii) Un caso especial debiera ser la Academia Chilena de Ciencias por su nivel y reconocimiento, su visión nacional y su privilegiada inserción internacional. Ella debiera ser dotada de una capacidad permanente para monitorear el desarrollo nacional en ciencia y tecnología con el encargo de emitir informes anuales con un análisis de los diversos indicadores de esta actividad. Además debiera recibir el encargo de estudios prospectivos que sean pertinentes tanto para la labor ejecutiva como para generar estrategias y políticas de largo plazo.

iii) Comités de estudio en temas y problemas de relevancia o estratégicos para el país. El objetivo de esta reflexión hecha por expertos de diferentes campos, es asegurar nuestra inserción internacional de acuerdo a las exigencias y estándares sociales, culturales y económicos, de nuestro país al que se quiere desarrollado en un plazo breve. Ejemplos de temas nacionales a ser estudiados por estos comités serían: energías alternativas; recursos hídricos; transición demográfica de la población chilena; contaminación atmosférica en las ciudades; educación en ciencia y tecnología.

1. Se recomienda que la renovación de la Institucionalidad de Ciencia, Tecnología e Innovación cumpla con: asesorar al Presidente de la República y a los Poderes del Estado en temas de CTI; generar y proponer las políticas y estrategias para el desarrollo en CTI; coordinar la acción de los diferentes mecanismos del Estado que impulsan el desarrollo de CTI; incentivar el dialogo entre la Sociedad en general y la comunidad de CTI y debieran concentrar tanto la innovación y el desarrollo tecnológico como las ciencias básicas. El máximo organismo de CTI debiera ser representativo de las principales actores: científicos y tecnólogos, sector productivo y gobierno; representatividad que también es deseable para un Consejo de CONICYT, que debiera ser restituido para el gobierno de esa institución.

2. Recomendamos que la Institucionalidad considere estudios generados por organizaciones autónomas como base para construir las políticas y estrategias en este campo y se promueva la constitución de grupos de estudio interdisciplinarios que indaguen permanentemente sobre temas de relevancia nacional; que la Academia Chilena de Ciencias tenga un sitio especial en el asesoramiento y realización de estudios, dotándola de una capacidad para monitorear el desarrollo del país en CTI.

3.2. Un programa integral para el desarrollo y captación de Recursos Humanos altamente calificados.

Es necesario acelerar la dinámica actual del desarrollo científico-tecnológico de Chile para forjar una base sólida sobre la que se construya un avance socio-económico sostenido del país en las próximas décadas y nos permita ser competitivos internacionalmente.

Como se ha visto en los datos recogidos en este Estudio, el factor que limita más significativamente nuestro desarrollo científico-tecnológico está en el número y cobertura de

áreas de los recursos humanos con capacidad para generar nuevos conocimientos y en la generación de diálogos y estructuras que permitan aplicar dicho conocimiento en una forma creativa en la solución de problemas relevantes para nuestro país.

Parece, necesario y urgente, que se adopte como política nacional el incrementar en forma acelerada el número de personas con capacidad para realizar investigación original y con una formación al más alto nivel en ciencia y tecnología asentados en las capacidades y liderazgos que dispone el país.

Esta política debiera distinguir algunas áreas específicas de las ciencias y, especialmente, de las tecnologías que el país quisiera desarrollar para poder responder a sus más importantes desafíos y oportunidades. Evidentemente, que los datos del actual Estudio y del Directorio de Investigadores que se han recogido son un punto de partida para indagaciones más profundas que pudieran definir las características de los recursos humanos que serían necesarios preparar y captar en el próximo decenio.

A. Incremento en las Becas de Doctorado y Focalización. El número de becas de doctorado debería ampliarse gradualmente; un número deseable sería 700 / año en 2010. Una parte sustancial del incremento debería darse en doctorados en ciencia aplicada (ingeniería en ciencias agropecuarias, ciencias de la salud, ciencias ambientales, biotecnología), y también debería haber una inflexión positiva en ciencias de la tierra, ciencias del mar, ciencias exactas y naturales. Será necesario realizar estudios sobre los estipendios de las becas necesarios para captar estudiantes de muy buen nivel en las diferentes áreas.

B. Apoyo a los Programas de Doctorado. Un programa con las características de MECESUP debería continuar dando apoyo a los Programas de Doctorado acreditados en las universidades, en particular para estimular la contratación de académicos con excelentes antecedentes en concursos abiertos. También se debiera dar apoyo para mejorar la infraestructura de la investigación, permitir estadías cortas de tesis (2 a 6 meses) en laboratorios en otros países y la participación de calificados profesores invitados en concursos y exámenes de grado.

C. Becas de Pre-grado. Es necesario estimular a estudiantes de alto rendimiento y vocación a incorporarse a los pregrados en ciencias que aseguren una sólida formación y una especial oportunidad para iniciarse en tareas de investigación. Con ese fin se recomienda la creación de “becas de iniciación en ciencia y tecnología” que cubrirían aranceles y un modesto estipendio en programas de pregrado seleccionados por su excelencia académica y porque un alto porcentaje de sus egresados se incorporan a programas de doctorado. El Programa de Becas de “Iniciación en Ciencia y Tecnología” requerirá que los estudiantes mantengan un alto rendimiento y una gran dedicación a proyectos de investigación. Se estima en 200-400 el número de becas necesarias para estudiantes en sus últimos años del pregrado.

D. Incentivos para contratar doctores en las universidades y en centros de investigación. Renovación de las plantas académicas. Actualmente menos de 20% de los académicos que trabajan en universidades chilenas tienen doctorado. Para incentivar a las universidades a renovar sus cuadros académicos, se sugiere estimular la contratación de académicos con grado de doctor, de jornada completa, aportando fondos a las universidades durante un período inicial y haciendo un seguimiento de desempeño. También se debiera estimular a los Institutos Tecnológicos del Estado a contratar personal con doctorado y a renovar sus cuadros, como lo ha hecho la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

E. Estímulos a las empresas para contratar doctores que trabajen en Investigación e Innovación. Una forma de fomentar la aplicación del conocimiento a la generación de nuevos y mejores productos es la de incorporar a personal capacitado para buscar respuestas a difíciles y originales preguntas. Estos estímulos pueden estar a nivel tributario o de co-financiamiento por

parte del Estado de los contratos de los doctores en un período inicial y seguimiento del desempeño.

F. Captación de recursos humanos en Ciencia y Tecnología desde el extranjero. La globalización y la exigente competencia por lograr posiciones de liderazgo en la generación de conocimientos y en sus aplicaciones tecnológicas, han llevado a los países más desarrollados a implementar estrategias para captar científicos y tecnólogos o jóvenes talentosos de otros países. En muchas áreas de la ingeniería, la ciencia y tecnología, 40% de los estudiantes de doctorado en Estados Unidos son extranjeros y estudios de la National Science Foundation muestran que 75% de los doctorados de origen extranjero residen y trabajan en ese país 5 años después de su doctorado. Por otro lado, la Unión Europea ha calculado que para cumplir con su meta de invertir el 3% del PIB en CTI, necesitaría captar 700.000 científicos y tecnólogos de países externos a Europa. Esos datos muestran la gran competencia internacional por los recursos humanos bien calificados y que para cumplir con sus metas de desarrollo, Chile tendrá que entrar en esa competencia reteniendo y recuperando a científicos chilenos y captando recursos humanos de otros países.

La retención de científicos chilenos implica ofrecer remuneraciones dignas en el plano nacional y oportunidades para desarrollar proyectos ambiciosos que les permitan mantener y mejorar su reconocimiento y participación en la ciencia mundial. La recuperación de científicos chilenos que trabajan en el exterior se hace urgente en áreas que sea necesario reforzar y requerirá de ofertas atractivas.

La contratación de científicos extranjeros ya formados también debiera basarse en programas de desarrollo en áreas de importancia en la que se haya detectado deficiencia y debiera canalizarse apoyando propuestas de instituciones (universidades, institutos, empresas) que asuman compromisos con el impulso a esas áreas.

El otorgamiento de becas de doctorado y posdoctorado a ciudadanos extranjeros con excelente formación y la facilitación legal para su inserción institucional es otra estrategia para captar recursos humanos calificados que puedan fortalecer nuestros cuadros de investigadores. Se deberían abrir de manera decidida mayores oportunidades para extranjeros tanto para becas doctorales como posdoctorales.

G. Proyectos para Jóvenes Investigadores. Es fundamental que los jóvenes investigadores que hayan concluido su formación (doctorado) tengan opciones de investigación bajo su responsabilidad. Se recomienda que ellos postulen a financiamiento de proyectos en un concurso especial que debiera ser competitivo entre los investigadores de su generación, concurso que debiera estar restringido a doctores cuyo grado se haya obtenido en un período menor a 5 años. Posterior a este concurso especial deberían incorporarse a los mecanismos regulares abiertos.

H. Becas de Posdoctorado. La mayoría de los laboratorios de los grandes centros mundiales funcionan en base a investigadores financiados con becas posdoctorales que dedican 2-3 años a perfeccionarse y a construir las bases de lo que serán sus líneas de investigación futura. El aumento en graduados de doctorado y la captación de investigadores desde el extranjero implica incrementar drásticamente el número de becas de posdoctorado a un número entre 150-200 / año y a abrir la opción de financiar a posdoctorados en proyectos de investigación.

3. Se recomienda que el Estado, las universidades y el sector empresarial concuerden un programa integral para el desarrollo y captación de recursos humanos altamente calificados para generar conocimientos y aplicaciones novedosas. Este programa debiera incluir: aumento en el número de becas de doctorado otorgadas con fondos del Estado a 700 / año con una fracción importante dedicada a las tecnologías y áreas de aplicación; un mayor apoyo a programas de doctorado acreditados; creación de un programa de becas de iniciación en ciencia y tecnología para estudiantes destacados de pregrado en los programas de mayor excelencia académica; incentivos para contratar doctores en universidades, institutos y empresas; captación de investigadores formados desde el extranjero; incremento en las becas de posdoctorado y proyectos de investigación para jóvenes con menos de 5 años después de recibir su doctorado.

3.3. Una Política de Redes Nacionales para Impulsar la CTI en Regiones.

Una realidad que se ha hecho evidente en este estudio es que gran parte (entre 1/2 y 2/3) de la actividad científica-tecnológica de Chile se desarrolla en la Región Metropolitana. Este hecho, junto con el pequeño tamaño de la capacidad en ciencia y tecnología chilena, significa que en muchas regiones de nuestro país hay una dramática falta de capacidad en CTI. Esto es una realidad que debe ser enfrentada con decisión. Junto a continuar y fortalecer el Programa de Investigación, Científica y Tecnológica en Regiones desarrollado por CONICYT en los últimos años, la de valorar el incremento de la capacidad científica de varias universidades regionales, y apoyar el establecimiento en regiones de grupos científicos de alto nivel y su integración como Centros de Excelencia.

Una estrategia complementaria para lograr el incremento de capacidad en CTI en regiones es la generación de Redes Nacionales en temas científico-tecnológicos de importancia para las regiones del país para utilizar la masa crítica nacional, promover la formación de investigadores y apoyar su instalación en regiones y la de abordar proyectos relevantes con participación multi-institucional y con enfoque nacional. Por ejemplo, una Red de investigación en recursos marinos tendría la misión de vincular los mejores centros nacionales con centros emergentes en regiones.

Subrayamos que un enfoque similar se está empleando en la iniciativa MILENIO en Brasil y las Redes de Investigación en Salud en España, con un singular éxito en la potenciación de grupos en áreas del país con déficit en ciencia y tecnología. En este mismo espíritu la Unión Europea promueve y financia Redes Científicas para generar una mayor integración científica entre los países miembros y para alcanzar una masa crítica en temas relevantes.

Las Redes Nacionales de CTI deben contar con un importante financiamiento que permita instaurar una cultura colaborativa y el desarrollo de formación y proyectos en ciencia básica y aplicaciones, que comprenda tópicos relevantes para las diferentes regiones, que logren el apoyo y compromiso de las autoridades nacionales y regionales, y de académicos y empresarios destacados de cada región.

Igualmente deberíamos utilizar los Centros de Excelencia existentes para incrementar la capacidad en CTI en las regiones, formando recursos humanos, generando alianzas con instituciones emergentes en las regiones que se traduzcan en proyectos conjuntos que involucren una o más instituciones regionales.

4. Se recomienda al Estado que desarrolle un nuevo programa de Redes Nacionales de Investigación para impulsar la CTI en las regiones del país. Estas Redes se centrarían en temas definidos con las regiones y vincularían a los mejores centros del país en esas temáticas específicas y tendrían como objetivo prioritario el de formar investigadores en disciplinas importantes para las instituciones regionales y de realizar proyectos de investigación relevantes con un enfoque nacional.

3.4. Bases para la Educación y para el conocimiento de la Ciencia y la Tecnología a la Sociedad.

El desarrollo y cultivo de la ciencia y la tecnología en un país requiere por parte de la sociedad de una real comprensión de los objetivos y motivaciones de la investigación científico-tecnológica y de los beneficios que la sociedad recibe de la actividad en este campo. A su vez es necesario fomentar en la comunidad científico-tecnológica una especial sensibilidad hacia los requerimientos culturales que la ciencia pueda entregar a una sociedad que enfrenta un mundo complejo, así como los problemas que la sociedad necesita resolver y los límites éticos que los valores de la sociedad definen para el ámbito de la investigación.

A. La educación en ciencias de los niños y jóvenes. La mejor manera de lograr que una sociedad comprenda y aprecie la labor científica es mediante una educación de calidad en ciencias en los niveles básico y medio, a los que accede el grueso de la población. La educación en ciencias no sólo aporta a los estudiantes conocimientos científicos indispensables para entender su entorno, sino que da una manera crítica de pensar y una serie de valores intrínsecos a la actividad científica que los hacen ciudadanos más libres y exigentes.

Este tipo de educación en ciencias requiere de la metodología indagatoria que reproduce en la sala de clase el proceso de descubrimiento que los científicos realizan en el laboratorio haciendo preguntas, elaborando predicciones, realizando experimentos y comparando resultados para llegar a conclusiones. Esta metodología se introdujo en el país en un proyecto gestado por la Academia Chilena de Ciencias con apoyo del Ministerio de Educación. Un componente esencial de la metodología es la participación de científicos junto con educadores en la implementación y seguimiento de dicha metodología.

B. Formación de Profesores de Ciencias. Es necesario que el país haga un gran esfuerzo para mejorar la formación de los profesores de ciencias de educación básica y media. Las universidades y otras instituciones que preparan a esos profesores debieran fortalecer y aumentar el contenido y rigurosidad de los ramos científicos que los docentes reciben en su formación inicial. Por otra parte, es fundamental que científicos activos participen activamente en la formación de los profesores de ciencias para compartir la dinámica del quehacer científico.

La comunidad científica ha reconocido progresivamente su responsabilidad en la tarea de la actualización y el perfeccionamiento de los profesores de ciencias, participando activamente en cursos, generación de materiales y creando vínculos con asociaciones de profesores para fomentar su formación continua. En este sentido, deben profundizarse los esfuerzos de la Academia para convocar a decanos de Educación y decanos de Facultades de Ciencias a dialogar sobre la formación de profesores de ciencias.

C. La divulgación de la ciencia y la tecnología. En la última década se ha observado un fuerte desarrollo de la divulgación de la Ciencia en Chile. Destacamos el Programa Explora de CONICYT y sus importantes campañas en el Metro de Santiago, en “La Semana de la Ciencia” y mediante sus publicaciones. También la instalación del Museo Interactivo El Mirador y sus

exposiciones permanentes e itinerantes han sido pasos muy importantes para difundir lo fascinante y entretenida que es la ciencia y como sus avances impactan en todo lo que nos rodea. Esos programas y su difusión en el país deberían seguir recibiendo un apoyo sustantivo.

D. La Ciencia y la Tecnología en las Noticias. Se ha consignado que en la última década los medios de comunicación escritos que cubren noticias han incrementado considerablemente las páginas dedicadas a los avances científicos y han hecho esfuerzos por destacar las contribuciones chilenas a la ciencia mundial.

Algo similar no ha ocurrido con la televisión. Sería de un alto beneficio social el que los medios de comunicación colaboren con la tarea de dar a conocer la ciencia, y destacar los logros y proyectos que se desarrollan en nuestro país aumentando su cobertura y desarrollando grupos de periodistas especializados en temas científicos quienes podrían ser asesorados por científicos nacionales.

Sería importante que los investigadores en ciencia y tecnología y de las instituciones que albergan o financian sus trabajos, hicieran un mayor esfuerzo para dar a conocer al público los temas, los resultados de las investigaciones, sus implicancias, y los beneficios que estas pueden generar para la sociedad chilena.

E. Contacto entre los empresarios, científicos y tecnólogos de Chile. Las aplicaciones de la ciencia y la tecnología para la innovación requieren de un fecundo diálogo entre empresarios, científicos y tecnólogos que ayude a reforzar confianzas mutuas y a fomentar una valorización conjunta para su acción en pos del desarrollo nacional.

Al Estado le cabe un papel importante en impulsar el diálogo y en la concreción de proyectos que surjan de estos contactos, así como a las instituciones representativas de los empresarios (SOFOFA) y los científicos (Academia Chilena de Ciencias y Sociedades Científicas). Recomendamos fuertemente que CONICYT, CORFO, Ministerio de Economía y otros organismos públicos convoquen a la Academia Chilena de Ciencias y a las sociedades científicas y a la SOFOFA para organizar un Foro Nacional de Investigación Científico-Tecnológica para la Innovación, el que podría aportar soluciones innovativas a la competitividad de Chile. Este foro podría organizarse por los grandes sectores de nuestra economía: minería, frutícola, acuícola, forestal, energético, salud, etc.

5. Se recomienda al Ministerio de Educación y a todas las autoridades a continuar con su apoyo para aumentar la cobertura en el país de la metodología de educación en ciencias basada en la indagación y para mejorar la formación de los profesores de ciencias. Llamamos a la comunidad científica y a las universidades a colaborar activamente en esta y otras iniciativas similares.

6. Se recomienda profundizar la difusión de la Ciencia en el país, en particular apoyar al Programa Explora de CONICYT y a los museos de ciencias de todo el país e invitamos a los medios de comunicación a incrementar su cobertura de los temas de CTI, en que se destaquen los avances logrados por investigadores chilenos. A la comunidad científica y a las instituciones que apoyan sus investigaciones a hacer un esfuerzo mayor para dar a conocer al público el significado y relevancia de sus resultados. Recomendamos a las instituciones que realizan investigación a tratar la difusión en ciencias mediante la contratación de periodistas científicos.

7. Se recomienda que el Ministerio de Economía, CONICYT, CORFO y los organismos públicos involucrados en CTI, convoquen a la Academia Chilena de Ciencias, a las sociedades científicas y a la Sociedad de Fomento Fabril (SOFOFA) a organizar un Foro Nacional de Investigación Científica y Tecnológica para la innovación que propiciaría un diálogo entre científicos, empresarios y gobierno.

3.5. Financiamiento de la Investigación científica-tecnológica y de la Innovación

Todos los países que han alcanzado el desarrollo durante las últimas décadas han debido incrementar notoriamente su inversión en CTI. Algunos de los gigantes del Tercer Mundo: China, India y Brasil han entendido esa lección y ya han incrementado su esfuerzo en ese campo a niveles superiores al 1% del PIB, lo que les está permitiendo grandes avances en su competitividad. Chile actualmente no supera el 0,7 % del PIB en este rubro.

Los resultados del presente estudio indican que en los últimos años no ha habido un significativo incremento en los recursos para ciencia y tecnología compatible con lo que el país necesita para elevar su desarrollo cultural y socio-económico. En este año 2005 y en el próximo (2006), se iniciarán importantes inversiones con la iniciativa Bicentenario y con el nuevo financiamiento generado por el “Royalty” a las grandes empresas mineras. Estos nuevos fondos pueden modificar importantemente el panorama si son invertidos con los antecedentes del caso y con la sabiduría necesaria para enfrentar un problema de múltiples aristas.

Aunque todavía no se conoce en detalle el destino de estos nuevos fondos, las ideas que se manejan es que se dedicarán principalmente a la innovación y al desarrollo tecnológico.

A. Apoyo a la excelencia y apoyo a la relevancia. El presente estudio ha revelado que, contrario a lo que se podría creer, Chile está apoyando mayormente a la investigación aplicada y tecnológica con respecto a la investigación básica o fundamental. La experiencia internacional recomienda que se mantenga un adecuado balance entre la investigación básica que busca primordialmente apoyar conocimiento y aquella otra que pretende aplicar el nuevo conocimiento a la solución de problemas. Este balance se da en países que dedican entre un 25 % y 34 % a la investigación básica cuyos fondos son aportados principalmente por el Estado y que debieran fundamentarse básicamente en el criterio de excelencia de las propuestas y de los proponentes. Los fondos para las aplicaciones de nuevos conocimientos en el desarrollo tecnológico y la innovación equivalen a 66 % - 75 % y debieran ser aportados conjuntamente por el Estado y el sector productivo y ser asignados con criterios tanto de excelencia como de pertinencia y relevancia para el desarrollo socioeconómico del país. Ambas vertientes debieran invertir un considerable porcentaje de los fondos (20%-30% del total) en la formación de recursos humanos altamente capacitados para llevar a cabo las investigaciones requeridas. Por otra parte es importante incrementar los recursos en los programas que han probado ser fundamentales para dar una base científica importante al país, siendo el principal FONDECYT, y también los programas Milenio y Fondap.

Una meta deseable de inversión para CTI en el año 2010 que permita que nuestro país este en condiciones básicas para competir internacionalmente, debiera ser el 1,3% del PIB.

B. El aporte del sector productivo. Uno de los resultados de este estudio es el haber detectado que usando una diferente metodología para estimar el aporte del sector productivo a la inversión en CTI, éste podría sumar hasta el 40% del total nacional; con métodos anteriores este aporte se situaba entre 25 y 30%. Sería importante concordar en una metodología clara y verificable. De todas formas, está claro que para poder traducir más conocimientos en nuevos y mejores productos, debiera aumentarse y estimularse la participación del sector productivo. Para lograr esto, en todos los países que han tenido éxito, ha sido necesario que el Estado comparta el

financiamiento de proyectos que le interesan a la industria y que ofrezca estímulos tributarios a la investigación e innovación. Sin embargo, más allá del financiamiento es fundamental que los proyectos de CTI se generen desde su origen con la determinante participación del sector productivo en un diálogo activo con la comunidad académica.

C. La cooperación internacional. De este estudio surge el papel fundamental que juegan los vínculos y colaboraciones que la ciencia y tecnología chilenas tienen con científicos e instituciones de otros países, las que potencian muy significativamente la fortaleza y calidad de nuestras investigaciones y la capacitación de los jóvenes científicos chilenos. La creciente complejidad de la ciencia y tecnología y la acelerada globalización hace cada vez más necesario intensificar la cooperación internacional. La proyección contrasta con la realidad actual en la que nuestro país dedica un mínimo financiamiento a apoyar la cooperación internacional, limitando el acceso a laboratorios, equipos y técnicas que necesitamos para mantenernos en la frontera científica.

8. Recomendamos que se adopten políticas que permitan aumentar la inversión del país en CTI, siendo 1,3% del PIB para el 2010 una meta deseable. Esas políticas debieran mantener un balance de inversión que apoye tanto a la ciencia básica (25-30%) como a la ciencia y tecnología destinada a resolver prioridades nacionales (70-75%). Ambos aspectos debieran dedicarle una parte importante de los fondos a la formación de recursos humanos, principal factor que limita el desarrollo en CTI del país. Es necesario y urgente incrementar el apoyo a los programas que financian la investigación básica especialmente FONDECYT y el apoyo a núcleos de excelencia como Milenio y FONDAP.

9. Se recomienda incrementar la inversión del sector productivo en Investigación, Desarrollo e Innovación y al Estado a estimular dichas inversiones mediante el co-financiamiento de proyectos y estímulos tributarios a la contratación de investigadores y a inversiones generadas por las empresas con este objetivo.

10. Recomendamos aumentar muy significativamente los fondos disponibles para fomentar la cooperación internacional en ciencia y tecnología.

3.6. Evaluación externa de la eficiencia, resultados y transparencia de los mecanismos e instituciones que reciben financiamiento estatal para CTI

En los últimos años se han creado varios instrumentos que apoyan la investigación científica-tecnológica y la innovación (por ejemplo: Institutos y Núcleos Milenio, Centros FONDAP, Proyectos FONDECYT regulares, Consorcios Tecnológicos Empresariales, INNOVA-Chile, etc.). También se han creado fondos sectoriales para investigación agropecuaria (FIA), investigación en salud (FONIS) y minería.

Es positivo que existan múltiples instrumentos que apoyen diversos tipos de proyectos y diversas temáticas de relevancia. Sin embargo, parece necesario que esos mecanismos sean

evaluados en profundidad para conocer su productividad, eficacia, gestión y la transparencia con que operan.

Las instituciones que reciben fondos del Estado bajo el rubro de investigación, docencia de posgrado y de innovación tecnológica también tienen la responsabilidad de dar cuenta, sometiéndose a evaluaciones externas, del uso de los fondos que recibieron de la sociedad chilena para estos fines.

El resultado de estas evaluaciones debiera darse a conocer públicamente. Esta evaluación debiera tener consecuencias en el presupuesto estatal que se le asigna al fondo o institución.

11. Recomendamos que todos los fondos estatales que apoyan la investigación en ciencia y tecnología y la innovación sean evaluados cada 5 años por grupos de expertos externos, preferentemente de instituciones internacionales, en cuanto a su productividad, eficacia, gestión y transparencia. Recomendamos que las Instituciones que reciben fondos en CTI del Estado mediante mecanismos no competitivos, también se sometan a evaluación externa periódica que califique la productividad y eficacia del uso de los fondos públicos.

3.7. Universidades de Investigación

En Chile tenemos un pequeño grupo de universidades de Investigación que concentran gran parte de los recursos humanos con capacidad de investigar y que también son responsables de la mayoría de los programas para la formación de los recursos humanos en ciencia y tecnología, así como de la generación de publicaciones científicas y ejecución de proyectos. Nos parece fundamental que el país haga un especial esfuerzo por apoyar y fortalecer esas instituciones que son el rostro de Chile en la competencia académica internacional, y que también estimule a otras instituciones para que avancen en la construcción de cuadros académicos que les permitan incrementar sus actividades de investigación y posgrado.

Una manera de prestar ese apoyo de una manera transparente es mediante instrumentos que premian la actividad demostrada en esos campos y el incentivar colaboración con otras instituciones en proyectos estratégicos para el país. Parece razonable aumentar el ítem de gastos de administración (*overhead*) en los proyectos competitivos de investigación financiados por el Estado hasta un máximo de 25 % dependiendo del destino de los fondos de “overhead” (sería deseable que una fracción importante se dedique a fortalecimiento de la planta académica, infraestructura de investigación, apoyo a proyectos internos). Un segundo mecanismo es otorgar un monto anual por cada nuevo alumno de doctorado matriculado en programas de doctorado acreditados por la CONAP (Comisión Nacional de Acreditación de Posgrado) con el compromiso de la universidad de invertir esos nuevos recursos en el fortalecimiento de sus posgrados.

Finalmente proponemos que se instituyan fondos para financiar proyectos institucionales para el desarrollo de nuevas áreas definidas como relevantes para el futuro del país. En esos proyectos se incentivaría la colaboración y participación de consorcios de universidades con participación de universidades regionales y asociados a universidades de investigación.

12. Recomendamos apoyar a las Universidades de Investigación y a instituciones que hacen esfuerzos por fortalecer sus cuadros de investigadores y sus programas de posgrado. Este apoyo se podría concretar mediante convenios en que se incrementan los gastos de administración (overhead) de los proyectos de investigación financiados por el Estado en base a proyectos de inversión para fortalecer sus capacidades de investigación y de formación de posgrado; y mediante la extensión del AFI a los posgrados, otorgando a las universidades un cierto monto por cada nuevo estudiante de doctorado de todos los programas acreditados por la CONAP.

13. Recomendamos apoyar proyectos institucionales de desarrollo y fortalecimiento de nuevas áreas de ciencia y tecnología, instando a que se formen redes inter-universitarias involucrando a las universidades de investigación.

3.8. Infraestructura Científica

La ciencia moderna requiere cada vez más equipamiento e infraestructura sofisticada y de alto costo. Para hacer ciencia de frontera y publicar en revistas de primera línea es necesario que nuestros investigadores tengan acceso a ese tipo de equipamiento o instalaciones.

1. Equipamiento Menor. Incluye equipos que por su alto uso y razonable costo se justifica que estén disponibles en prácticamente todos los laboratorios de investigación del área (balanzas, computadores, pHmetros, centrífugas, etc.) o que, aún siendo más sofisticados, son también de amplio uso y deben existir en cada departamento (de un costo entre US \$ 15.000 a US \$ 30.000, por ejemplo ultracentrifugas, contadores de radiactividad, espectrofotómetros, cámaras frías, etc.). Actualmente esos equipos se financian con proyectos individuales o con recursos conjuntos de dos o tres proyectos de investigación, para ser compartidos por varios grupos.

2. Equipamiento Medio. Incluye instalaciones o equipos que son necesarios para una facultad con alta densidad de grupos de investigación o por universidades. En esta categoría hay equipos entre US \$ 30.000 y US \$ 200.000 o instalaciones de servicios centrales. Algunos ejemplos son bibliotecas especializadas, bioterios de animales de investigación, servidores y computadores de alta capacidad, viveros y cámaras de crecimiento de plantas, aparatos de resonancia magnética nuclear, microscopios confocales, etc. Esos equipos actualmente pueden ser adquiridos por centros con un financiamiento importante (Institutos Milenio, FONDAP) en colaboración con otras instituciones.

3. Equipamiento Mayor. Incluye equipamiento de alta sofisticación y costo que por su relevancia para un número importante de grupos o por su importancia en la formación de recursos humanos es necesario que existan en el país. El costo de esos aparatos oscila entre US \$ 250.000 y varios millones. Dada la relevancia que ellos tienen para el desarrollo científico-tecnológico nacional y el costo de los mismos, es que su adquisición, prioridades o el eventual uso de alternativas debe estudiarse con cuidado por las autoridades gubernamentales y científicas. En esa categoría podrían estar laboratorios de difracción de rayos para análisis estructurales, laboratorios de espectrometría de masa, pequeños aceleradores de partículas, barcos de investigación oceanográfica, satélites nacionales de investigación, centros nacionales de secuenciación de genomas. Una instalación particularmente relevante es una Biblioteca

Bicentenario Nacional de Ciencia y Tecnología, que esté adscrita a las iniciativas de Bibliotecas Internacionales de países desarrollados, y que tenga suscripciones a las revistas más importantes, poniéndolas a disposición electrónica en todo el país. También parece urgente y necesaria la adquisición de un nuevo barco para investigaciones oceanográficas de gran relevancia nacional.

4. Equipamiento Multinacional. Son las grandes instalaciones que por su costo y sofisticación no se justifica adquirir o construir en el país. Para estos casos debe promoverse el financiamiento como contrapartida de proyectos multinacionales que aseguren el acceso para nuestros investigadores. Ejemplos de este tipo de equipamiento son observatorios astronómicos, grandes aceleradores de partículas, bioterios con grandes colecciones de animales transgénicos, etc.

14. Recomendamos que se establezca un Fondo para Infraestructura Científica que anualmente concurse y adjudique recursos para la implementación de equipos e instalaciones de las que aquí se denominan Medio y Mayor (categorías 2 y 3). Los fondos se otorgarían en base a la alta densidad de investigadores que los usarían y por su utilización en la formación de posgrado de estudiantes de una o más instituciones. La adjudicación de Equipamiento Mayor estaría supeditada a un compromiso de la institución receptora a otorgar acceso expedito a usuarios de otras instituciones del país y a la constitución de un Consejo Inter-Institucional que representara a los principales usuarios y monitoree el acceso y eficacia del manejo del equipo, su mantención y administración financiera. Se destaca una prioridad especial para la Biblioteca Bicentenario Nacional de Ciencia y Tecnología.

