

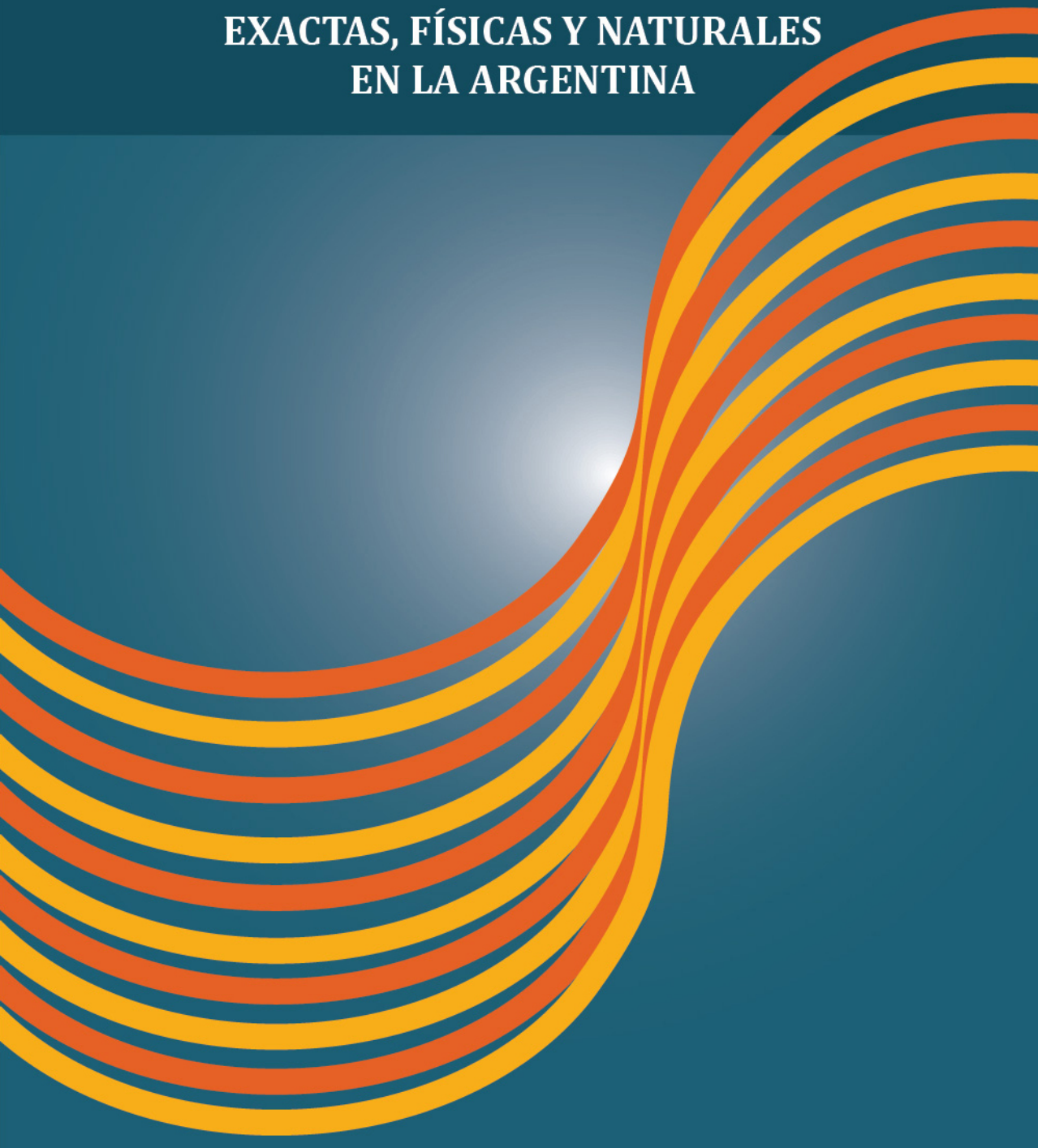


ACADEMIA  
NACIONAL  
DE CIENCIAS



ANCEFN  
Academia Nacional de  
Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

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



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

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

República Argentina  
Agosto 2015

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

En Tapa:

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

ISBN: 978-987-98313-9-7

**Diseño, Diagramación y Tapa:**

Lic. Lucía Hamity

**Revisión de Estilo:**

Dra. Liliana Tozzi

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

## **Comité Interacadémico**

Pedro Depetris, Roberto Rossi, Juan Tirao  
*Academia Nacional de Ciencias*

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

## **Coordinador General**

Enrique Vallés

## **Coordinadores**

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

República Argentina  
Agosto 2015

## TABLA DE CONTENIDOS

Prólogo .....	9
Capítulo 1: Ciencias Exactas, Físicas y Naturales .....	11
Capítulo 2: Astronomía .....	37
Capítulo 3: Biología de Sistemas .....	81
Capítulo 4: Ciencias de la Computación .....	129
Capítulo 5: Física .....	175
Capítulo 6: Geología .....	221
Capítulo 7: Matemática .....	267
Capítulo 8: Oceanografía .....	307
Capítulo 9: Paleontología .....	349
Capítulo 10: Química .....	373
Capítulo 11: Química Biológica y Biología Molecular .....	409
Abreviaturas .....	445

**CAPÍTULO 4**

**CIENCIAS DE LA  
COMPUTACIÓN**

**Coordinador**

Carlos Areces  
UNC, Córdoba

**Colaboradores**

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

## ***Agradecimientos***

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

## METODOLOGÍA

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

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

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

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



## DEFINICIÓN DEL ÁREA EVALUADA

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

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

### Subdisciplinas incluidas

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ESTADO DEL CONOCIMIENTO DEL ÁREA EN EL MUNDO

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

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

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

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

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

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

## **Temas de Frontera**

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

### **Complejidad Algorítmica**

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

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

### **Criptografía y Teoría de la información**

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

para la criptografía y el criptoanálisis.

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

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

### ***Redes de computadoras***

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



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

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

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

### ***Interfaces hombre-máquina***

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



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

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

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

## ANÁLISIS GLOBAL DEL ÁREA EN LA ARGENTINA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

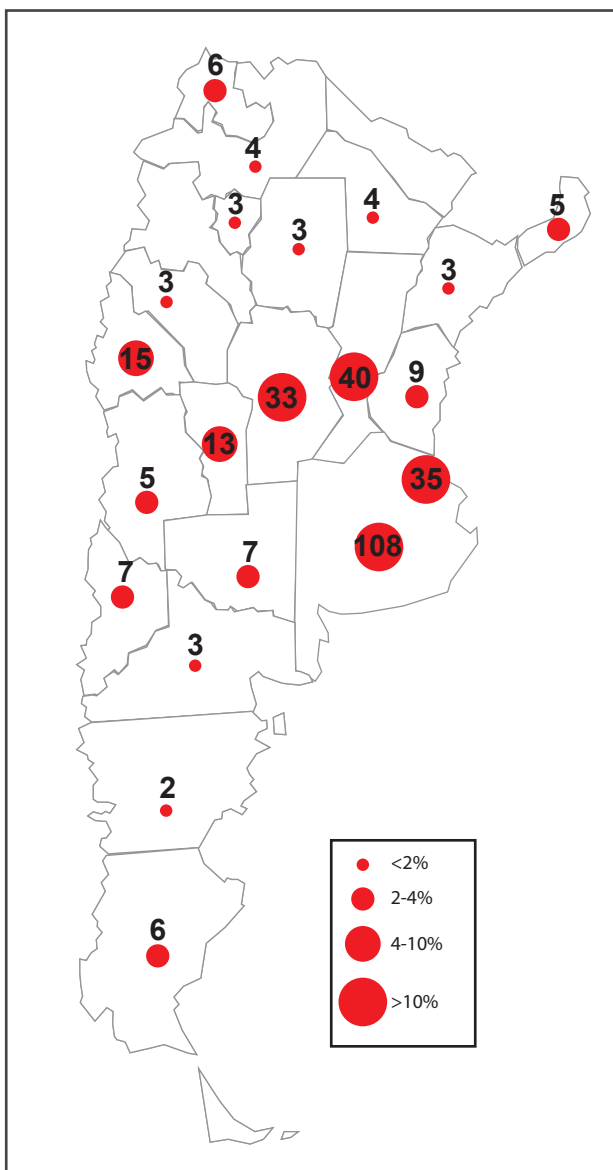
El plan de reinserción Bicentenario implementado en el 2010 permitió el regreso de numerosos investigadores al país, incluyendo algunos en el área de Ciencias de la Computación. Más recientemente, se ha implementado el Proyecto de Mejoramiento de la Enseñanza en Carreras de Informática (PROMINF) que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

## Grupos de Trabajo

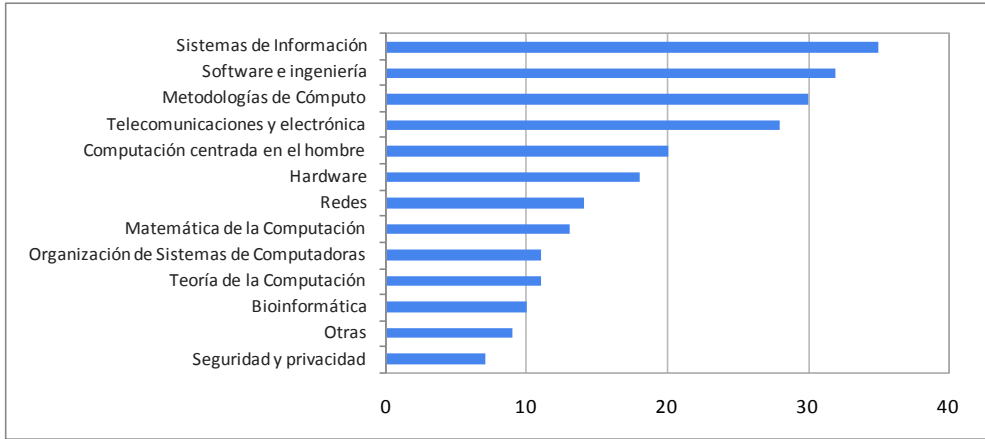
De los grupos de investigación encuestados en la ETIC (encuesta realizada por el Ministerio), más del 80% desempeñan sus actividades en 36 universidades públicas nacionales. Los grupos de los centros de investigación o las unidades asociadas del CONICET conforman el 11% de los encuestados, mientras que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

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

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



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



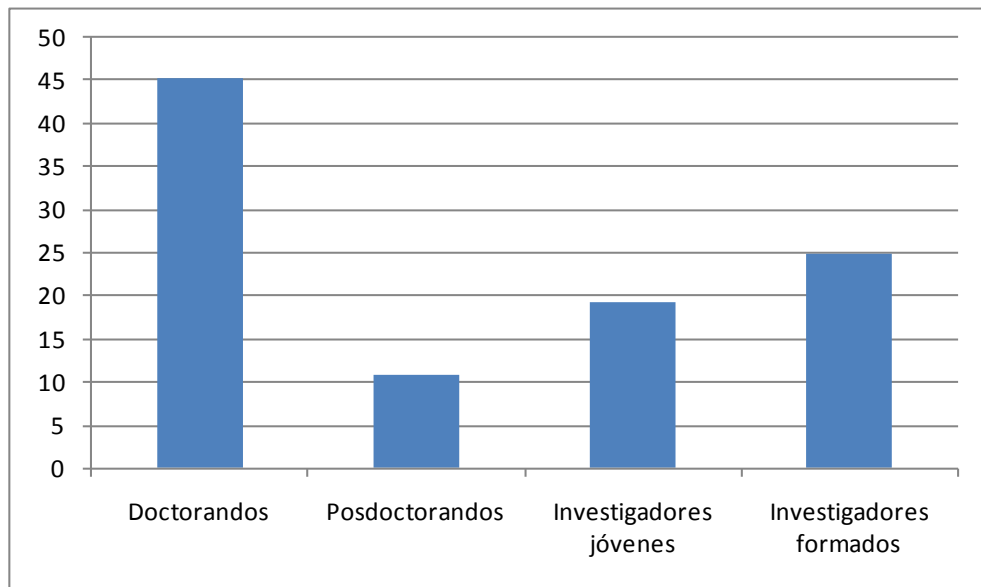
**Gráfico 4.2.** Cantidad de grupos por sus temas de investigación. *Fuente:* ETIC.

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



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

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



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

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

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

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



*Instituto Superior de Ingeniería del Software (ISISTAN).*

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

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

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

*Instituto de Ciencias de la Computación (ICC).*

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

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

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

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

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

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

## **Infraestructura y Financiación**

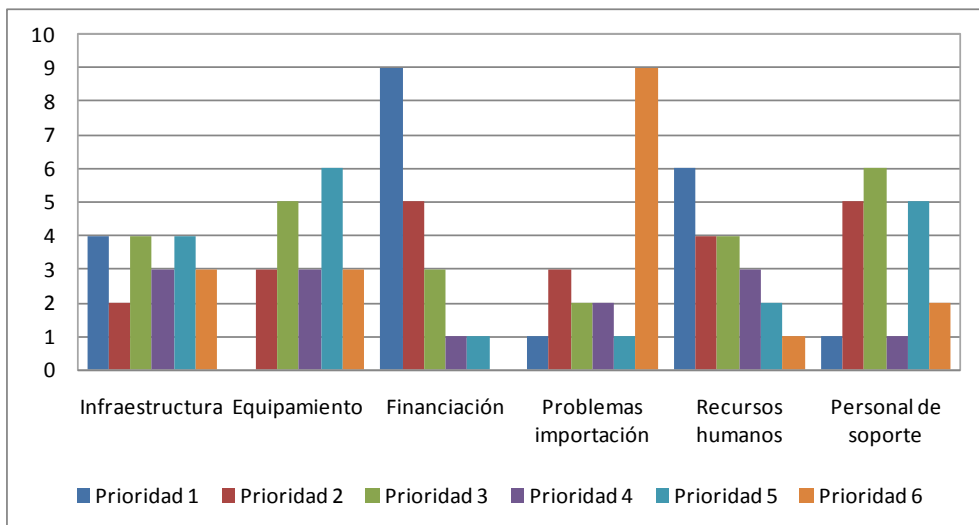
Del relevamiento realizado mediante la EP, surge que el principal problema actual entre los grupos de investigación en Argentina es la escasez de espacio físico para albergar a los investigadores y becarios. Las Ciencias de la Computación constituyen un área de muy reciente formación en el país, pero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

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

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

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

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

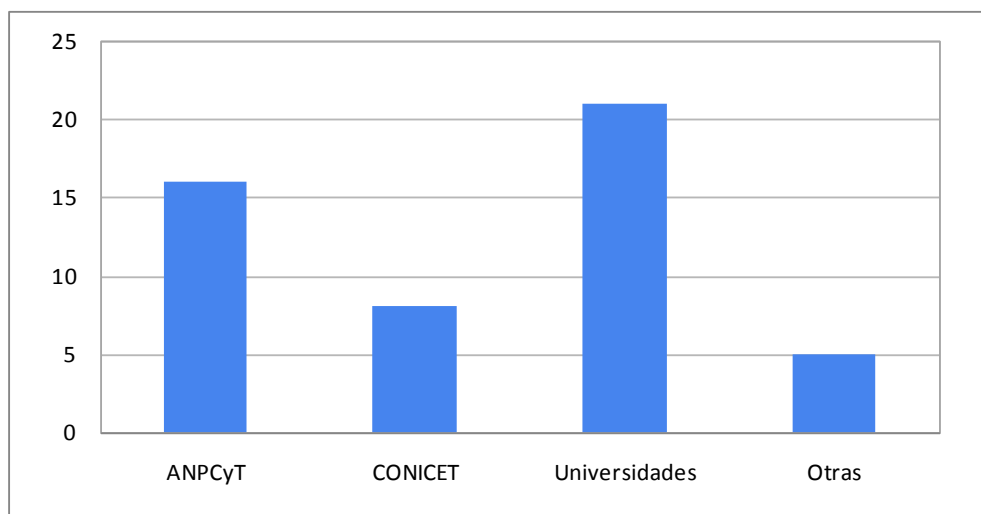


**Gráfico 4.5.** Para cada uno de los 6 escollos listados se indica la cantidad de veces que se identificó el problema respectivo como altamente importante (Prioridad 1), hasta poco importante (Prioridad 6). *Fuente:* EP.

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

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

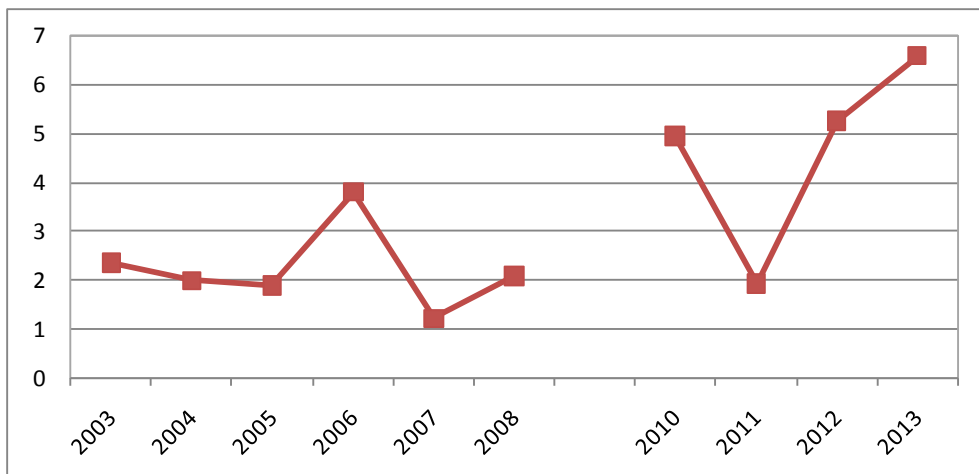
En la EP se recabó información acerca de las fuentes de financiamiento. El siguiente gráfico muestra la cantidad de grupos que respondieron haber recibido financiación de ANPCyT, CONICET, universidades y otras fuentes nacionales.



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

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

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

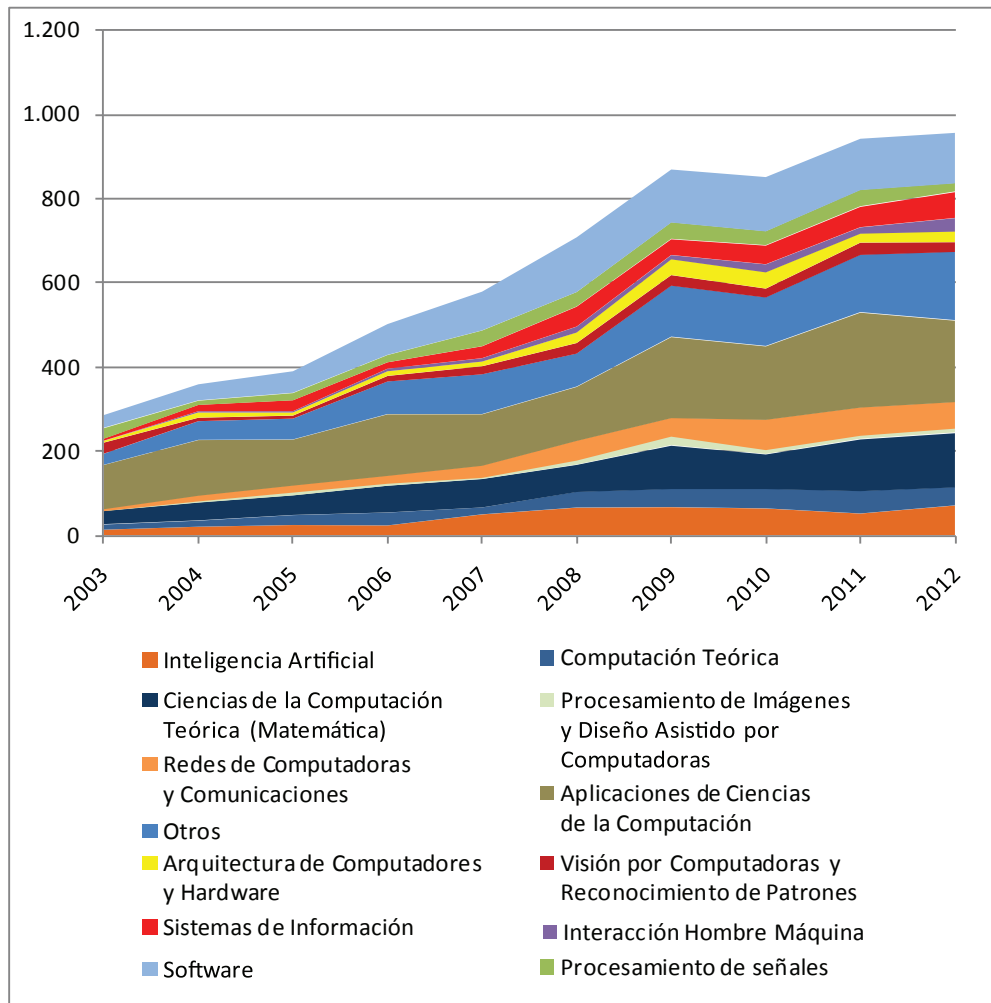


**Gráfico 4.7.** Financiamiento del FONCyT destinado a proyectos PICT en el área de Tecnología Informática de las Comunicaciones y Electrónica, expresado en millones de pesos. Fuente: FONCyT.

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

## Producción científica argentina

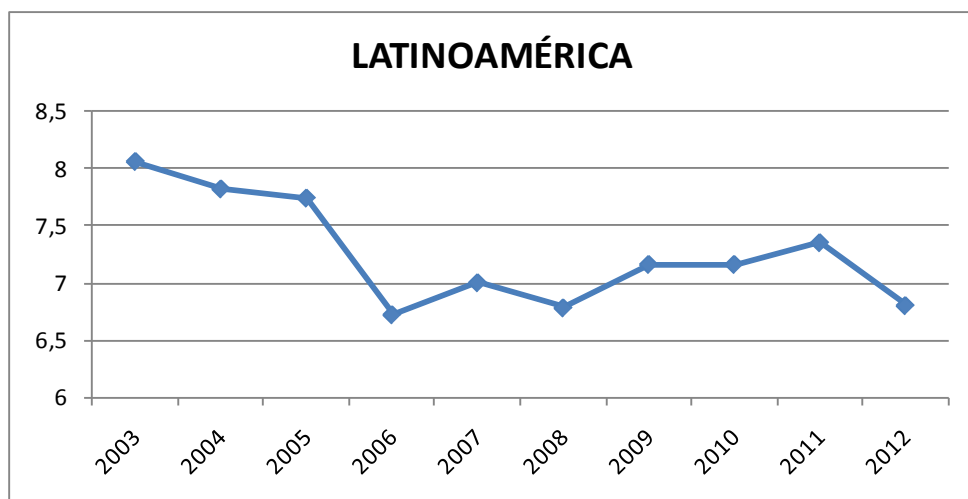
En esta sección se presenta un análisis de las publicaciones científicas realizadas por investigadores argentinos en los últimos diez años.



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

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

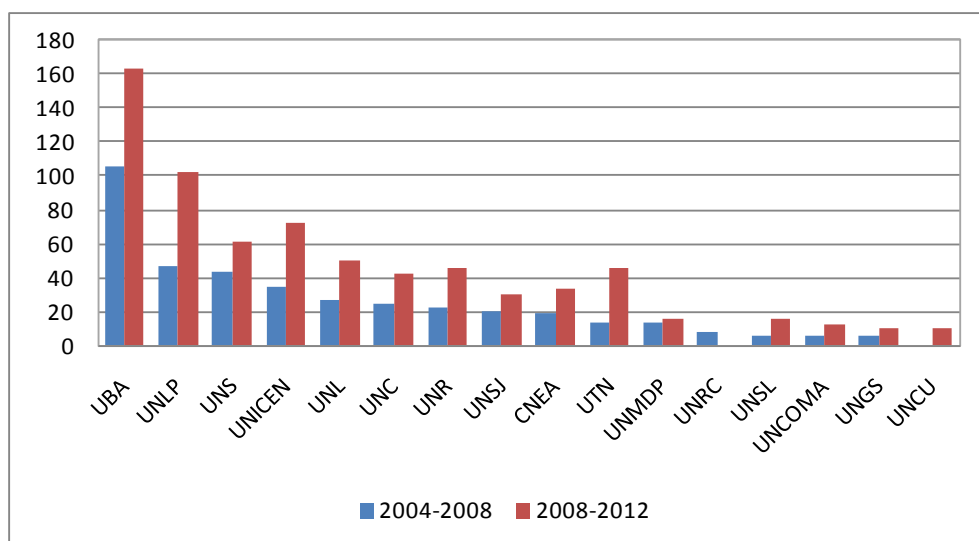
Los gráficos 4.9 ilustran la producción argentina en porcentaje entre los años 2003 y 2012, con relación a la correspondiente al mundo y a la producción latinoamericana.



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

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

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

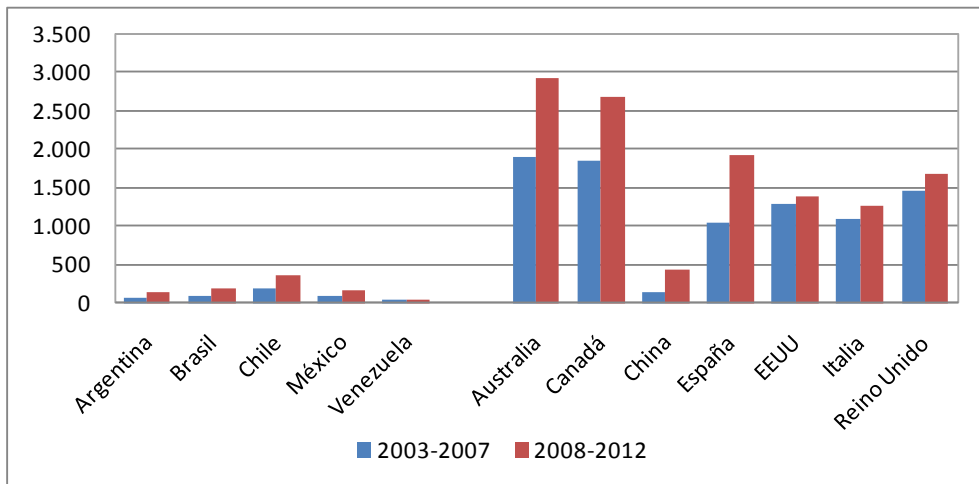


**Gráfico 4.10.** Producción científica discriminada por afiliación institucional de los autores para los períodos 2004-2008 y 2008-2012. Fuente: RICyT.

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

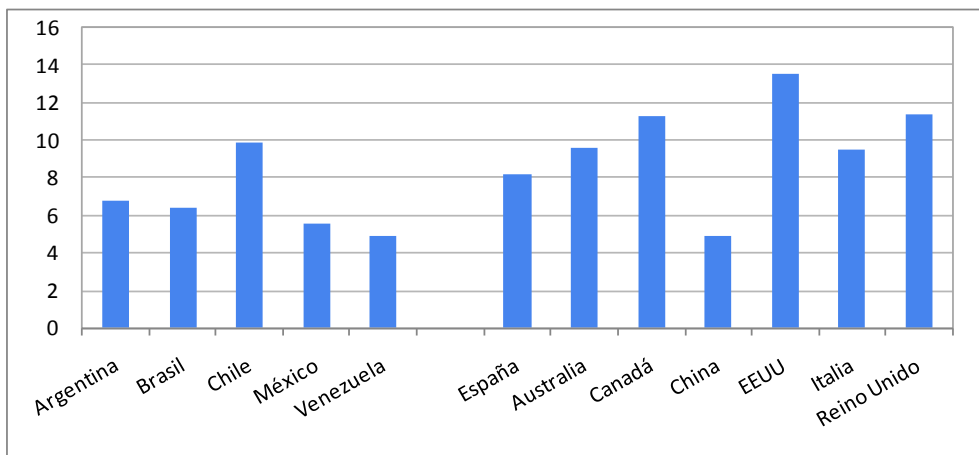
El gráfico muestra una clara delantera por parte de Chile que ha impulsado, desde hace años, distintas políticas de estímulo para la investigación en Ciencias de la Computación que claramente están dando resultados. Una comparación entre la producción argentina con otros países del mundo muestra la importante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





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

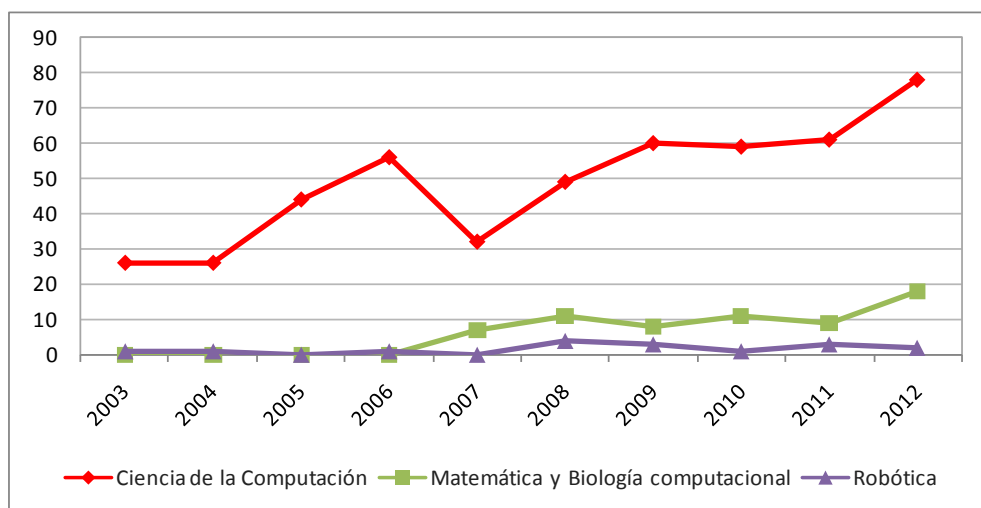
El siguiente gráfico muestra el número de citas promedio en el período 2003-2007, para intentar enfocarnos en los artículos que han tenido la oportunidad de recibir citas.



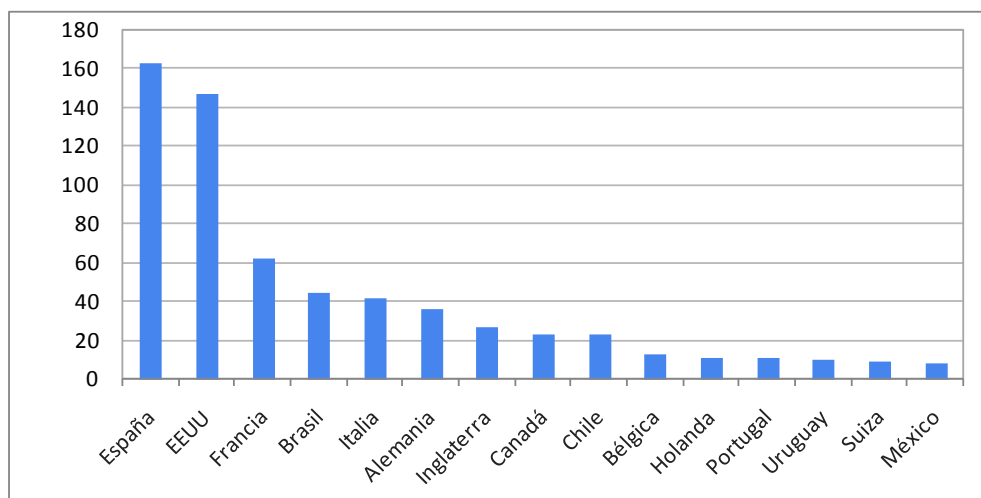
**Gráfico 4.12.** Número de citas promedio por artículo anual (excluidas autocitas) de cada país incluido en la comparación. Período analizado: 2003-2007. *Fuente:* SCOPUS.

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

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



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



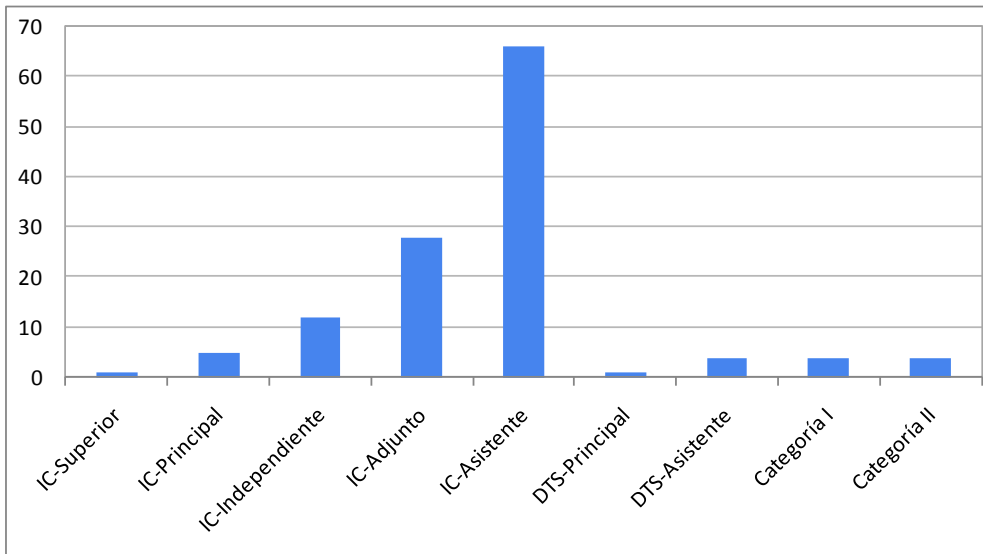
**Gráfico 4.14.** Cantidad de artículos en colaboración con los países con los cuales Argentina ha establecido mayores índices de colaboración, en el período 2003-2012. Fuente: RICyT.

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

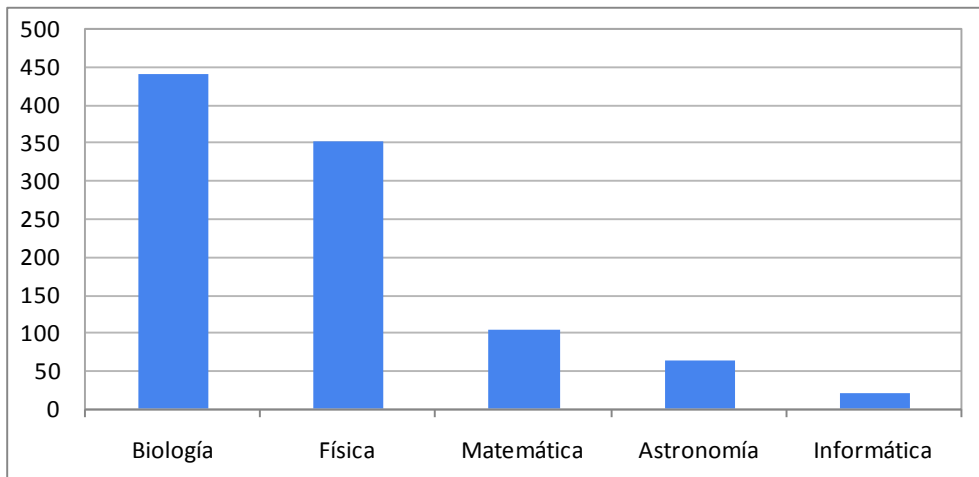
## FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

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

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

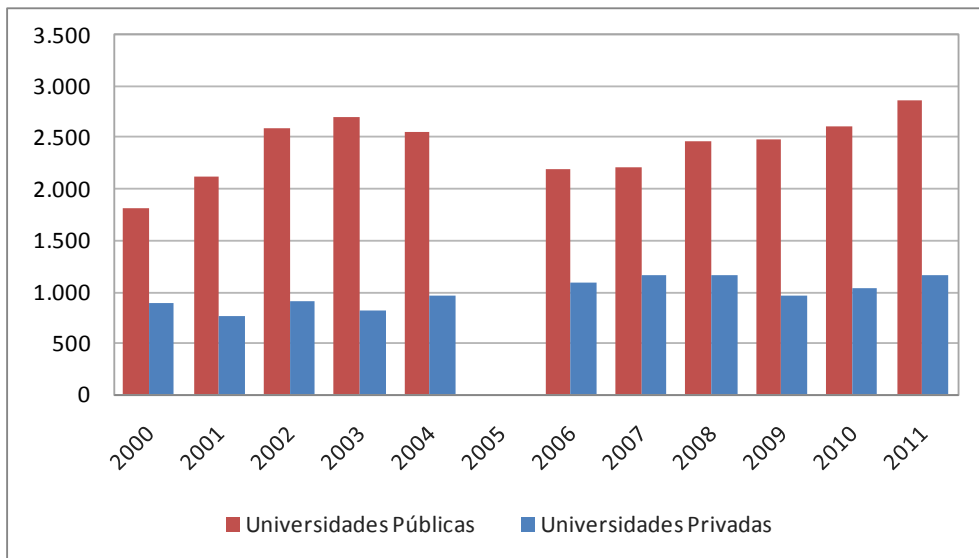


**Gráfico 4.15.** Cantidad de investigadores según clasificación de la base de especialistas de CONICET, año 2014. *Fuente:* CONICET.



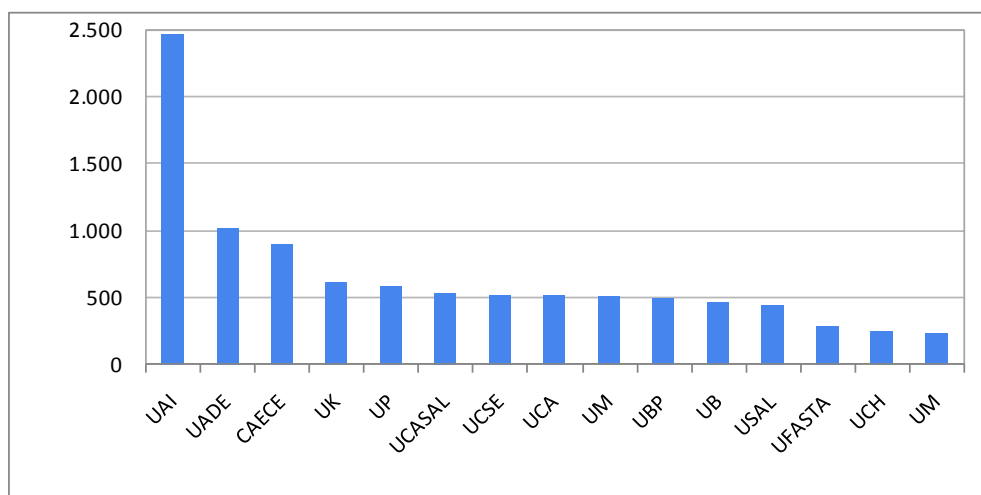
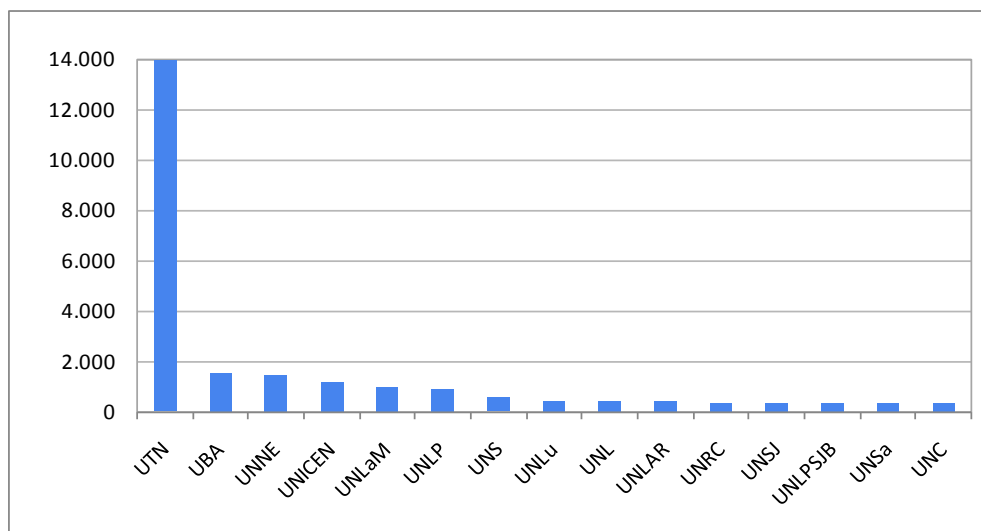
**Gráfico 4.16.** Cantidad de investigadores Independientes, Principales y Superiores por disciplina. *Fuente:* CONICET.

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



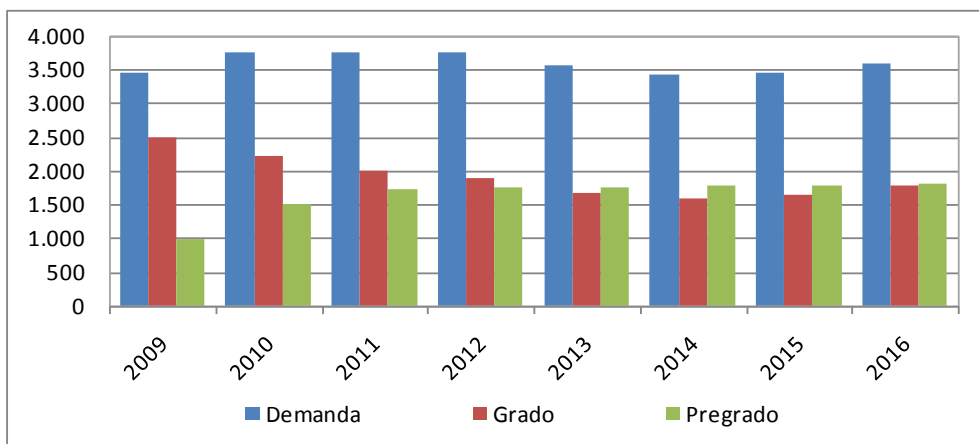
**Gráfico 4.17.** Evolución de la cantidad de egresados de grado en instituciones públicas y privadas, en los últimos doce años. *Fuente:* Anuarios de Estadísticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación.

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

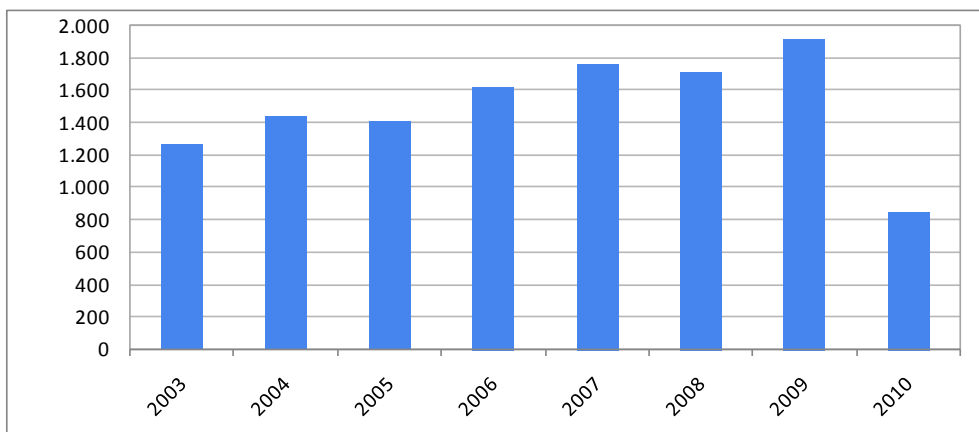


**Gráficos 4.18.** Total de egresados de grado de las principales universidades, públicas y privadas, en el período 2000-2011. *Fuente:* Anuarios de Estadísticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación.

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

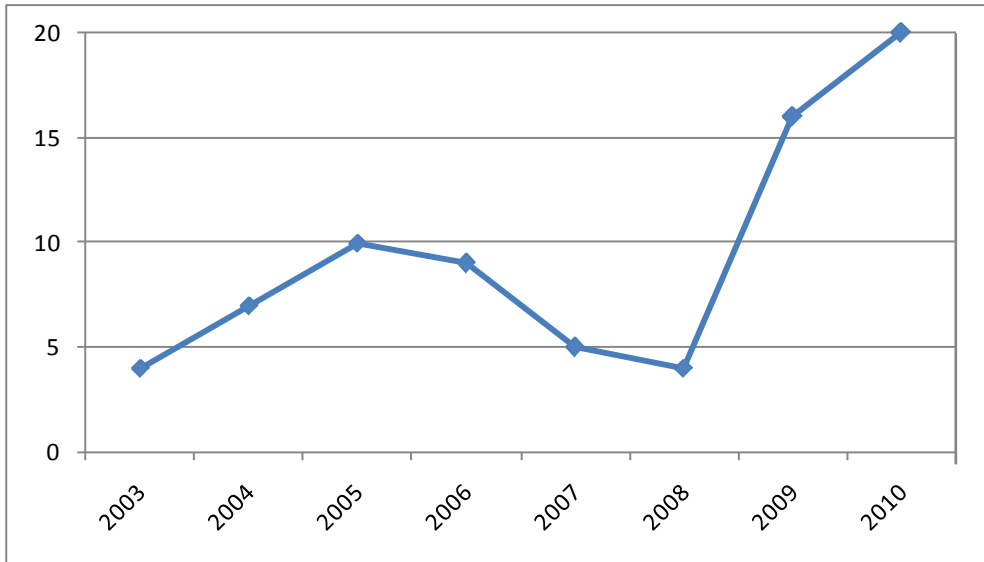


**Gráfico 4.19.** Cantidad de expertos requeridos comparada con el número de graduados. Fuente: Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación.



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

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



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

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

#### *La Escuela de Ciencias Informáticas (ECI)*

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



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

#### *La Escuela de Verano de Ciencias Informáticas (RIO)*

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

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

## **SOCIEDADES Y ASOCIACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS**

### **Sociedad Argentina de Informática e Investigación Operativa (SADIO)**

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

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

### **Fundación Sadosky**

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

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

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

## **Red de Universidades con Carreras de Informática (RedUNCI)**

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

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

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

## **PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ARGENTINAS Y DIVULGACIÓN DE LAS CIENCIAS**

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

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

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

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

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

### Formación e inserción de jóvenes investigadores

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

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

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

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

## Publicaciones

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

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

El siguiente fragmento del artículo *Research Evaluation for Computer*

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

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

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

## **Calidad de la formación de recursos humanos**

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

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

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

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

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

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

## **Formación de recursos humanos en el extranjero**

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



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

## **Vinculación academia-industria**

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

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

## **Áreas de excelencia**

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

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

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