

España entra a formar parte de ERCIM

Manuel Ojeda Aciego

Dept. Matemática Aplicada
Universidad de Málaga
aciego@ctima.uma.es
17 de julio de 2003

Resumen

El Consorcio Europeo de Investigación en Informática y Matemáticas (ERCIM: *European Research Consortium for Informatics and Mathematics*) es una organización dedicada a la promoción de la investigación y desarrollo de la tecnología de la información y la matemática aplicada en Europa. Sus miembros nacionales tienen la tarea de impulsar el trabajo en colaboración dentro de la comunidad investigadora europea y, asimismo, fomentar el contacto con el tejido empresarial mediante la promoción de los contratos de investigación.

Con fecha de primero de julio de 2003, España ha entrado a formar parte en este consorcio, y por esta razón hemos considerado interesante realizar un informe de su estructura, metas y funcionamiento a fin de darlo a conocer a la comunidad matemática española.

1. ¿Qué es ERCIM?

El marco jurídico en el que se inscribe ERCIM es el de Agrupación Europea de Interés Económico, AEIE¹. Este tipo de agrupaciones permiten la actividad conjunta de instituciones de diferentes naciones bajo un marco legal independiente de los sistemas legales de las naciones a los que están ligados los participantes; de este modo, todos los miembros actúan en pie de igualdad en términos de familiaridad con la ley. Las actividades de una AEIE pueden ser, por ejemplo, la publicidad de un producto que se distribuye por toda Europa, o la realización de investigación científica en áreas de interés común a varios países. Una AEIE está legalmente separada de los negocios e intereses de sus miembros, aunque su existencia está supeditada a

¹En inglés *European Economic Interest Grouping*, *EEIG*.

la realización de determinadas tareas para ellos, pueden operar en cualquier parte de la UE, y también pueden establecer relaciones con organizaciones de países no comunitarios.

Una vez presentado el marco legal, pasemos a profundizar el caso particular de ERCIM y de su evolución desde que se fundó en 1989. Inicialmente, solo hubo tres socios fundadores, que fueron Alemania, Francia y Holanda; más tarde se incorporó el Reino Unido en 1990, al año siguiente lo hizo Italia, en 1992 se unieron Grecia y Suecia, en 1993 lo hizo Finlandia, en 1994 Suiza y Hungría, en 1996 se incorporó la República Checa, en 1998 Eslovaquia, en 2000 se incorporó Irlanda, en 2001 lo hizo Austria, en 2002 se unieron Luxemburgo y Noruega y es, finalmente, en 2003 cuando España se une al consorcio. En total, a fecha de hoy forman parte del consorcio diecisiete países, con un gran número de instituciones que desarrollan tareas de investigación, desarrollo, proyectos educativos o consultoría en cualquier materia relacionada con su campo de actividad, esto es, con las matemáticas y la informática.

Según su carta fundacional, la meta de ERCIM es contribuir significativamente a la innovación en las áreas de tecnología de la información y la matemática aplicada en Europa. Más concretamente, se destacan los siguientes objetivos:

- Fomentar la investigación básica orientada por problemas prácticos.
- Contribuir al desarrollo de una estrategia para la investigación europea en tecnología de la información.
- Conseguir la atención de las empresas para con los resultados de investigación de interés estratégico y, de este modo, ayudar a su pronta incorporación en la tecnología europea.
- Fomentar actividades internacionales que sean de interés para la investigación europea.

En sus catorce años de existencia, ERCIM se ha convertido en una importante red de investigadores europeos. En la actualidad ERCIM mantiene trece Grupos de Trabajo centrados en temas de investigación de especial importancia, y participa en un gran número de proyectos de investigación financiados por la UE. Su programa de becas es especialmente interesante, pues permite a jóvenes investigadores de cualquier parte del mundo desarrollar sus estudios en alguna(s) de las instituciones asociadas.

Asimismo, ERCIM ha organizado, bajo el auspicio conjunto de la UE y de la National Science Foundation (NSF) de EE.UU., diversas reuniones científicas orientadas al desarrollo de la investigación en áreas específicas; por poner un ejemplo, entre los más recientes se encuentran los de biónica—tecnologías de la información basadas en fenómenos biológicos—, el futuro de las tecnologías de procesamiento de la información, y la web semántica.

Tras más de una década de funcionamiento, la estrategia para el cuarto lustro de vida de ERCIM se pretende desarrollar sobre las siguientes líneas maestras:

- Incrementar la cooperación investigadora entre los miembros de ERCIM mediante la creación de un laboratorio virtual de investigación en tecnología de la información y las comunicaciones.
- Proporcionar información completa acerca de los proyectos de investigación en curso, así como las principales líneas de investigación de las instituciones participantes en ERCIM a través de su sitio web <http://www.ercim.org>.
- Estimular la movilidad de los investigadores dentro de Europa, y mejorar el programa de becas para atraer un mayor número de investigadores no europeos.
- Mejorar la transferencia de tecnología mediante la estimulación de la firma de contratos de investigación, y la organización de cursos de verano orientados a las empresas.
- Incrementar el número de investigadores en el consorcio de países que aún no son miembros.

Dentro del ambicioso plan del Área de Investigación Europea, ERCIM es un buen ejemplo de las ‘redes de centros de excelencia’ que deben conformar dicho espacio común de investigación europeo.

En las restantes secciones se irán detallando algunas facetas interesantes del funcionamiento del consorcio, tales como la estructura de sus socios miembros, la tarea de promoción de la investigación, la política de becas y de patrocinio de congresos y reuniones científicas, y los distintos grupos de trabajo existentes.

2. Sobre las instituciones participantes

La pertenencia a ERCIM se formaliza a través de nodos nacionales (uno por cada país). Estos nodos no tienen una estructura previamente defini-

da, y cada país participante es responsable de la organización interna de su representante; por ejemplo, hay países que pertenecen a través de una sola universidad, otros lo hacen mediante su academia de ciencias o centro nacional de investigación (que en España equivaldría al CSIC), otros más a través de un grupo de institutos de investigación, finalmente también hay países que han creado consorcios nacionales formados por instituciones de reconocido prestigio entre universidades e institutos de investigación.

Tras la última reunión del comité de gestión, celebrada en Trondheim (Noruega) a principios del mes de junio, se acordó ampliar a diecisiete los países representados. A continuación se proporciona información más detallada acerca de cada uno de los socios nacionales; junto con cada país miembro se cita el nombre de su nodo representante y se presenta someramente sus líneas de investigación prioritarias y su dirección en la red:

1. Alemania—Fraunhofer ICT group (FhG). Este grupo, creado en 2001 como una alianza estratégica de unos quince institutos de investigación con intereses científicos relacionados con la tecnología de la información y las comunicaciones, centra su actividad investigadora en las áreas de arquitectura de sistemas, ingeniería de software para la nueva generación de internet, ingeniería del conocimiento y seguridad en las comunicaciones.

<http://www.iuk.fhg.de/>

2. Austria—Austrian Association for Research in IT (AARIT). Asociación sin ánimo de lucro creada en 2001 como una plataforma para la comunidad investigadora en tecnología de la información. Su ámbito de influencia abarca más de treinta instituciones, tanto universidades como institutos de investigación de titularidad pública o privada, que realizan tareas de investigación en prácticamente todas las áreas de interés del consorcio.

<http://www.aarit.at/>

3. Eslovaquia—Slovak Research Consortium for Informatics and Mathematics (SRCIM). La participación eslovaca se articula sobre un consorcio nacional de tres universidades y dos institutos de investigación de la Academia Eslovaca de las Ciencias. Entre sus competencias se encuentran la investigación en matemáticas e informática, la organización de congresos y reuniones científicas y la coordinación de actividades de investigación.

<http://www.srcim.sk/>

4. Finlandia—Technical Research Centre of Finland (VTT). Como su nombre indica, la participación finesa en el consorcio se centra fundamentalmente en la investigación aplicada, preferentemente en sistemas de información, micro-estructuras y telecomunicación.
<http://www.vtt.fi/tte>
5. Francia—Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA). INRIA es un instituto científico y tecnológico asociado conjuntamente a los Ministerios de Investigación y de Industria. Su cometido es realizar investigación fundamental y aplicada en matemáticas, informática y áreas relacionadas, diseñar prototipos y sistemas experimentales y ser un vehículo de transferencia de conocimiento y tecnología, además de promover la participación en programas de investigación internacionales.
<http://www.inria.fr/>
6. Grecia—Foundation for Research and Technology (FORTH). El representante heleno es el Instituto de Informática de FORTH. Con más de veinte años de antigüedad, es el instituto pionero de la incorporación y adopción de las tecnologías de la sociedad de la información en Grecia. Por lo que se refiere a la investigación, sus intereses radican en los sistemas de información, sistemas basados en conocimiento, recogida de información, reconocimiento de patrones y procesamiento de imágenes.
<http://www.ics.forth.gr/>
7. Holanda—Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI). El instituto nacional holandés de investigación en matemáticas e informática desarrolla la doble misión de realizar tareas investigación puntera en matemáticas (en especial en probabilidad, redes y algoritmos) e informática (preferentemente en ingeniería del software, simulación, análisis y modelado, sistemas de información), y el fomento de la transferencia de conocimiento y tecnología.
<http://www.cwi.nl/>
8. Hungría—Magyar Tudományos Akadémia (SZTAKI). Está representada a través del Instituto de Investigación en Informática y Automática de la Academia Húngara de las Ciencias, que tiene como misión la investigación interdisciplinar (tanto básica como orientada) en Tec-

nología de la Información, Ciencias de la Computación, Matemática Aplicada, Inteligencia Artificial, Computación Neuronal y Control.

<http://www.sztaki.hu/>

9. Irlanda—Trinity College. El Departamento de Informática de esta universidad es el representante irlandés en ERCIM. Su actividad investigadora abarca áreas desde los fundamentos matemáticos de la computación a los sistemas de información aplicada y la arquitectura de computadores.

<http://www.cs.tcd.ie/>

10. Italia—Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Como su nombre indica, el nodo italiano se corresponde con el organismo nacional de investigación científica. Específicamente, en ERCIM se encuentran involucrados seis institutos de investigación en Matemática Aplicada e Informática, con intereses investigadores que van desde la matemática computacional, análisis numérico, modelos matemáticos y lógica matemática hasta la ingeniería del software, procesamiento de imágenes y señales, y sistemas de información multimedia.

<http://www.iei.pi.cnr.it/>

11. Luxemburgo—Fonds National de la Recherche (FNR). Este organismo se fundó en 1999 para impulsar la I+D en determinadas áreas de interés estratégico, dando la mayor prioridad a la cooperación a nivel internacional, especialmente importante en países pequeños como este.

<http://www.fnr.lu/>

12. Noruega—Norwegian University of Science and Technology (NTNU). La Facultad de Tecnología de la información, Matemáticas e Ingeniería Eléctrica de la NTNU es el representante noruego en ERCIM. Sus líneas de investigación abarcan amplias áreas de las Ciencias de la Computación e Informática, Física y Cibernética, de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería de Telecomunicación y Matemáticas.

<http://www.ntnu.no/>

13. Reino Unido—Central Laboratory of the Research Councils (CLRC). De titularidad pública, CLRC es el mayor laboratorio británico de I+D en ciencia y tecnología. Sus actividades en ERCIM se centran en la tecnología de la información, específicamente: la ingeniería del

conocimiento, ingeniería del software, diseño de interfaces de usuario y métodos computacionales.

<http://www.cclrc.ac.uk/>

14. República Checa—Czech Research Consortium for Informatics and Mathematics (CRCIM). De nuevo nos encontramos con un consorcio nacional que articula la pertenencia a ERCIM, a semejanza de sus vecinos eslovacos; en este caso son dos universidades y dos institutos de investigación los que configuran el consorcio nacional. La misión principal es la investigación en matemáticas e informática, con especial interés en los autómatas y la teoría de la complejidad, combinatoria, geometría computacional, lógica matemática, lingüística formal, bases de datos e ingeniería del software.

<http://www.utia.cas.cz/CRCIM/>

15. Suecia—Swedish Institute of Computer Science (SICS). El nodo sueco es un instituto de investigación cuyos principales temas de estudio están basados fundamentalmente en el desarrollo de aplicaciones para la tecnología de la información y las comunicaciones; en particular, los sistemas basados en red, investigación sobre privacidad y seguridad, procesos industriales, biotecnología, etc.

<http://www.sics.se/>

16. Suiza—Swiss Association for Research in Information Technology (SARIT). Participa a través de una asociación científica a nivel nacional fundada en 1989 con las metas de mejorar las relaciones nacionales e internacionales dentro de comunidad investigadora, aunando esfuerzos de los pequeños grupos de investigación suizos y facilitando su acceso a los programas de investigación internacionales.

<http://www.sarit.ch/>

La participación española: SparCIM

La participación española en ERCIM se ha articulado en función de un consorcio nacional, llamado SpaRCIM, que legalmente forma parte de ERCIM desde el primero de julio de 2003.

Nuestro consorcio local es de tipo mixto, puesto que representa a cinco universidades y un instituto de investigación del CSIC. Los componentes de SpaRCIM se encuentran listados a continuación:

- Universidad Rey Juan Carlos (URJC).
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- Universidad de Málaga (UMA).
- Universidad Politécnica de Valencia (UPV).
- Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).
- Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial (IIIA-CSIC).

La persona de contacto, según aparece en la página web de ERCIM, es Juan José Moreno Navarro (jjmoreno@fi.upm.es).

3. Promoción de la investigación en ERCIM

Junto a los proyectos de investigación en los que participan algunos miembros del consorcio, el propio ERCIM ha estado presente en más de veinte proyectos europeos, redes temáticas y medidas de acompañamiento, bien como coordinador o bien como socio (en el último informe anual editado, se citan nueve proyectos con fondos europeos aún en curso). En estos proyectos, distintas instituciones pertenecientes a ERCIM junto con sus posibles socios externos realizan las tareas de investigación, mientras que la oficina central de ERCIM realiza las tareas administrativas. Si tenemos en cuenta que uno de los principales propósitos del consorcio consiste en fomentar la cooperación entre sus miembros, directamente se infiere que la gestión de proyectos de investigación comunes se ha convertido en una actividad especialmente importante a la que se ha dedicado una considerable atención. Un comité de expertos ayuda a las instituciones miembros a identificar oportunidades de financiación, desarrollar ideas de proyectos, escribir las propuestas, negociar los contratos y gestionar los proyectos.

El fomento de la cooperación científica a nivel tanto europeo como mundial constituye una importante prioridad de ERCIM, que participa en supra-consorcios tales como el W3C (*World Wide Web Consortium*) y en actividades de la UE con países extraeuropeos, como EE.UU. o los países latinoamericanos. Asimismo, ERCIM actúa como administrador de proyectos de investigación que cuentan con socios extracomunitarios de Asia y de África.

La transferencia de resultados de investigación es una de las tareas importantes que desempeñan las instituciones afiliadas a ERCIM, aparte de la investigación básica y aplicada en Informática y en Matemáticas. Durante los últimos años, los miembros de ERCIM han desempeñado un importante

papel en la creación de pequeñas y medianas empresas de alta tecnología, lo que constituye una forma eficaz para conseguir la transferencia de resultados de investigación; además se cuenta con una importante tradición de cooperación con la industria europea en proyectos de I+D+I, generalmente dentro de los programas marco de investigación europeos. Actuando como una red de centros, ERCIM facilita a los potenciales socios industriales la posibilidad de localizar a los equipos científicos europeos mejor capacitados para abordar la tarea de investigación propuesta.

4. El Programa de Becas y Ayudas de ERCIM

El programa de becas de ERCIM está abierto a jóvenes investigadores de todo el mundo, y está estrechamente vinculado con la existencia de los grupos de trabajo, de los cuales se hablará más adelante.

Las condiciones que los aspirantes deben poseer para solicitar una de estas becas son las siguientes:

- Tener el grado de doctor, o encontrarse en posición de obtenerlo antes de comenzar la beca.
- Hablar inglés de forma fluida.
- No tener obligación de realizar servicio militar.

Para fomentar la movilidad, una institución miembro de ERCIM no puede acoger becarios de este sistema que tengan la misma nacionalidad que la institución.

Se recomienda que la beca se desarrolle en dos instituciones miembros, pues de este modo se contribuye también a la cohesión entre miembros de ERCIM y a una mayor sinergia entre grupos de investigación de áreas similares en distintas instituciones. Asimismo, el programa de becas favorece un mayor conocimiento por parte de los jóvenes científicos de las redes y estructuras europeas de investigación, a la vez que les permite descubrir desde dentro las condiciones de trabajo de otras instituciones europeas.

El beneficiario recibe una asignación mensual que depende del país destino en el que desarrollará su trabajo, teniendo en cuenta que, como se ha comentado anteriormente, se recomienda distribuir los dieciocho meses del periodo de beca entre dos instituciones miembros.

Existen otros tipos de ayudas, aparte de las becas, que ERCIM concede anualmente, tales como:

- El premio Cor Baayen, dotado con 5.000 euros, para el joven investigador con mayor proyección que haya presentado su tesis doctoral en un país de ERCIM.
- Un premio de hasta 20.000 euros al Grupo de Trabajo más destacado del año.

5. Patrocinio de Congresos y Actividad Editorial

ERCIM patrocina anualmente unos quince encuentros científicos, tales como congresos, reuniones o escuelas de verano.

El patrocinio de congresos está orientado fundamentalmente a congresos internacionales de reconocido prestigio en los que se traten líneas de investigación de interés para las distintas áreas de actividad de ERCIM. Como ejemplos típicos de estas conferencias podemos considerar aquellas que, con carácter periódico, se celebran sobre determinadas áreas, con comités científicos de reconocido prestigio, con participación de investigadores de distintos países y cuyas actas sean publicadas por editoriales que aseguren una amplia difusión y accesibilidad.

Las reuniones científicas y las escuelas de verano deben reunir las siguientes condiciones para poder ser beneficiarios de ayudas para su organización:

- Deben estar organizadas por una institución de ERCIM.
- En el comité organizador debe haber personal involucrado con ERCIM.
- Al menos dos instituciones fuera de ERCIM deben participar en el comité organizador.
- Un socio de ERCIM debe avalar la solicitud.

Los fondos adicionales proporcionados por ERCIM deben ser usados para mejorar la calidad de la reunión, por ejemplo, aumentando el número de conferenciantes invitados.

Respecto a su actividad editorial, ERCIM publica el boletín trimestral ‘ERCIM News’, junto con actas de determinadas reuniones científicas e informes internos. El boletín informa de acciones conjuntas llevadas a cabo por miembros de ERCIM; mediante artículos breves e inserción de noticias, proporciona un foro para el intercambio de información entre las instituciones miembros y el resto de la comunidad científica internacional. ‘ERCIM News’ se edita tanto de forma impresa como electrónica: la edición impresa

tiene una tirada de más de 7.500 copias y se distribuye a más de setenta países, mientras que la edición electrónica ofrece la posibilidad de realizar búsquedas de texto y de acceder directamente a los numerosos documentos y direcciones de internet que se citan.

Respecto de las publicaciones científicas, ERCIM ha publicado las actas de las reuniones científicas de la Red de Excelencia DELOS, así como informes de las reuniones estratégicas EU-NSF. A través del sitio web de ERCIM se puede acceder a las versiones electrónicas de todas las actas e informes publicados.

6. Grupos de Trabajo en ERCIM

El motor del aparato investigador del consorcio está estrechamente relacionado con la existencia de los denominados grupos de trabajo. Cada uno de estos grupos permite tejer redes de investigadores especializados en determinadas áreas de investigación claramente delimitadas, a través de la cual se organizan reuniones científicas con cierta periodicidad, con la colaboración de investigadores externos invitados para la ocasión.

El propósito de un grupo de trabajo consiste en la creación y, lo que es más importante, el mantenimiento de una red de investigadores de ERCIM en un campo científico particular; cabe aclarar aquí que estos grupos están abiertos a cualquier investigador activo en el campo científico en cuestión sin necesidad de pertenecer a una institución o país miembro. Las actividades que desarrollan los grupos de trabajo se pueden subdividir en tres áreas:

- Organización de reuniones y congresos.

De cada grupo de trabajo se espera la organización de, al menos, una reunión científica por año. Los investigadores de ERCIM pueden solicitar a los nodos a los que pertenecen bolsas de viaje que cubran parte de los gastos de viaje y manutención al participar reuniones científicas o congresos organizados por los distintos grupos de trabajo. Es preciso aclarar aquí que en estos momentos no está definido el procedimiento de solicitud de este tipo de ayudas a SpaRCIM.

- Presentación de propuestas de proyectos de investigación.

Otra tarea fundamental de los grupos de trabajo consiste en la búsqueda activa de fuentes de financiación de proyectos de investigación, especialmente a nivel internacional.

- Planes de movilidad y dotación de becas.

Los grupos de trabajo son, asimismo, el germen de la movilidad interna de ERCIM. Las instituciones afiliadas disponen de fondos para estimular la movilidad, posibilitando estancias de trabajo en otras instituciones con una duración de entre uno a seis meses. Cada grupo tiene la posibilidad de indicar líneas de investigación preferentes para que sean incluidas en las convocatorias semestrales del programa de becas de ERCIM y, como consecuencia, puede participar en el programa como receptor de un becario.

En la actualidad, ERCIM mantiene los trece grupos de trabajo que se citan a continuación:

1. *Applications of Numerical Mathematics in Science*
2. *Constraints*
3. *Control and System Theory*
4. *Dependable Software-Intensive Systems*
5. *E-learning*
6. *Environmental Modelling*
7. *Formal Methods for Industrial Critical Systems*
8. *Health and Information Technology*
9. *Image and Video Understanding*
10. *IT and Mathematics Applied to Interventional Medicine*
11. *Matrix Computations and Statistics*
12. *Soft Computing*
13. *User Interfaces for All*

Evidentemente todos los grupos de trabajo tienen alguna componente matemática, algunos de ellos están más claramente orientados a la informática, otros más claramente orientados a las matemáticas, y un tercer grupo desarrolla investigación básica tanto en matemáticas como en informática. En lo que sigue, detallaremos las áreas matemáticas más relevantes para los grupos de trabajo citados con anterioridad.

6.1. Aplicaciones Científicas de las Matemáticas Numéricas

Este grupo se fundó en 2001 con el objetivo de establecer mayores vínculos entre los expertos en análisis numérico pertenecientes a ERCIM. El objetivo del grupo es, por lo tanto, profundizar en el tema de la matemática

numérica y computacional de modo que cada nuevo método o algoritmo obtenido presente una mayor aplicabilidad, robustez y precisión.

La estructura del grupo se basa en cuatro grandes campos de interés estratégico propio:

Álgebra Lineal Numérica. En este punto el interés pasa por la teoría de matrices dispersas, métodos de resolución directos e iterativos para sistemas de ecuaciones lineales grandes y dispersos, pasando por el cálculo de autovalores y autovectores para problemas a gran escala, incluyendo el uso de técnicas de manipulación simbólica para la resolución de sistemas de ecuaciones polinómicas.

Solución Numérica de Ecuaciones Diferenciales. Métodos de elementos finitos, generación de mallas (mesh), métodos multicapa, wavelets, métodos espectrales y métodos time-stepping.

Optimización Continua y Control Óptimo. Métodos de punto interior para programación lineal, cuadrática y no lineal a gran escala, métodos SQP para programación no lineal y métodos para control óptimo.

Computación Científica a Gran Escala. En este campo interdisciplinar, las líneas de interés incluyen muchas de las ya citadas anteriormente, junto con la Computación Paralela y la producción de software matemático.

Existe una fuerte interacción entre los distintos campos, pues cada uno de ellos usa técnicas desarrolladas en al menos uno de los otros campos.

Las áreas de aplicación que se espera que obtengan beneficios de los resultados y actividades de este grupo de trabajo incluyen la simulación de fenómenos electromagnéticos, teoría de circuitos eléctricos, estadística matemática, química computacional, biología computacional, matemáticas financieras, modelización por elementos finitos para simulación médica, modelización ambiental y procesamiento de la señal.

6.2. Computación matricial y estadística

Este grupo de trabajo se creó también en 2001, con el objetivo de estudiar métodos de resolución de problemas estadísticos de computación masiva. El grupo está formado por 27 miembros de 18 instituciones, cuyos currículos cubren las áreas de estadística, métodos numéricos, diseño algorítmico y ciencias de la computación.

Más concretamente, se pretende delimitar nuevas líneas de investigación a partir de determinadas aplicaciones estadísticas que necesitan el uso de métodos de álgebra lineal; especialmente, se estudian problemas de gran tamaño para los cuales se precisa de procedimientos rápidos y fiables, entrando por lo tanto en las áreas de Computación de Altas Prestaciones y Computación Paralela.

Aplicaciones consideradas: procesamiento de la señal, econometría, finanzas cuantitativas, filtrado de datos, recogida de información, minería de datos estadística, compresión y representación de datos, y bioinformática.

Problemas genéricos de estadística que se necesitan abordar: selección de modelos, detección de outliers, diagnóstico por regresión, estimación de modelos lineales y no lineales, análisis de errores, propagación de errores, análisis de correspondencias, análisis de componentes principales, validación cruzada, etc.

Problemas correspondientes de álgebra lineal: problemas lineales de mínimos cuadrados, inversa generalizada, descomposición de valores singulares, problemas de autovalores, optimización, métodos iterativos, cálculos con matrices dispersas, etc.

Los dos grupos de trabajo anteriores tienen orientación marcadamente matemática; los que se presentan a continuación están centrados en aplicaciones determinadas, aunque para su desarrollo necesitan de aportaciones matemáticas.

6.3. Matemáticas e informática para cirugía no invasiva

Cada vez con mayor frecuencia se escucha hablar de nuevas técnicas quirúrgicas para minimizar las molestias al paciente en muchas operaciones; piénsese por ejemplo en el incremento de operaciones realizadas por laparoscopia. Tanto las matemáticas como la informática tienen bastante que ver en estos avances técnicos: la modelización y la simulación del comportamiento de los tejidos biológicos, el procesamiento de imágenes, los gráficos por ordenador, la realidad virtual y la robótica son imprescindibles.

Un objetivo fundamental de este grupo de trabajo consiste en el desarrollo de simuladores para cirugía robotizada, a semejanza de los simuladores de vuelo con los que hacen prácticas los pilotos, con los que desarrollan sus habilidades sin poner en peligro la vida de los demás. Evidentemente, el

desarrollo de tales simuladores necesitan de un trabajo ingente de modelización matemática de los flujos sanguíneos en el tejido vascular (altamente deformable), algoritmos computacionales y simulación numérica.

6.4. Modelización ambiental

La modelización numérica y la simulación de los cambios provocados en los ecosistemas es un reto práctico de especial relevancia para las matemáticas y la informática. Los modelos de simulación multidimensional de sistemas medioambientales requieren sistemas de cómputo de altas prestaciones; en estas condiciones, la calidad del diseño del algoritmo numérico, esto es, el desarrollo de métodos eficientes para solucionar ecuaciones, es tan importante como la disponibilidad de hardware de última generación.

6.5. Métodos formales para sistemas industriales críticos

El uso de métodos formales se presenta frecuentemente como una posibilidad para incrementar la fiabilidad de sistemas, especialmente de aquellos que desempeñan tareas críticas, por ejemplo piénsese en los protocolos de actuación en una central nuclear; sin embargo, la introducción de tales métodos en la práctica está siendo bastante lenta.

Es difícil desarrollar herramientas automáticas de especificación y verificación, debido a limitaciones computacionales, tales como el crecimiento exponencial del número de estados por considerar o por problemas de indecidibilidad, por poner un ejemplo, etc. Fundamentalmente, este hecho es consecuencia de la complejidad matemática que dichos métodos presentan en la actualidad; una importante tarea de investigación matemática en este grupo consiste en el desarrollo de métodos menos complejos, de modo que su (semi-)automatización sea computacionalmente abordable.

Finalmente, presentamos un par de grupos de trabajo orientados a la informática teórica, pero que para su desarrollo necesitan de contribuciones de las matemáticas, especialmente de áreas como la lógica matemática, la lógica computacional y la computación simbólica.

6.6. Soft Computing

El término *soft computing* surgió para denotar un nuevo paradigma de computación capaz de explotar la tolerancia ante la imprecisión, presencia de datos inciertos o de verdades parciales.

Como área científica, comprende una asociación de metodologías centradas en la lógica matemática difusa, la neurocomputación, la computación genética y la computación probabilística; es importante hacer hincapié en la palabra *asociación* pues, en general, estos distintos enfoques computacionales se muestran complementarios más que excluyentes.

Una de las metas principales del grupo consiste en proporcionar un fundamento matemático para la concepción, diseño y posterior aplicación de sistemas inteligentes que empleen estas distintas metodologías de modo simbiótico/híbrido, en lugar de aisladamente.

Se describen a continuación algunas líneas de investigación autónomas, aunque ciertamente interrelacionadas, dentro del grupo de trabajo:

Fundamentos matemáticos. Estudio sistemático de las matemáticas del razonamiento no estándar (aproximado, con incertidumbre, no determinista, etc.). Investigación en lógica difusa con clases más amplias de conectivas (normas triangulares generalizadas y/o conectivos de agregación), que son las que suelen aparecer en aplicaciones prácticas cuando se trabaja con aproximaciones. Diseños de teorías de la demostración cuantificadas para la incertidumbre, la imprecisión y la vaguedad, así como el estudio y la demostración de sus propiedades teóricas tanto desde el punto de vista lógico como algorítmico. Estudio comparado de los distintos cálculos definidos en función de su potencia expresiva y de procesamiento.

Fundamentos algorítmicos. Diseño e investigación de modelos adecuados para la implementación de los cálculos formales desarrollados en el punto anterior. Desarrollo de modelos de máquinas abstractas, inspirados por modelos biológicos o genéticos, con especial interés en modelos masivamente paralelos y distribuidos. Extensión de la base teórica de la computación basada en redes neuronales con especial interés en la teoría de la aproximación y desarrollos similares de nuevos paradigmas de computación neuronal.

Aplicaciones experimentales. Identificar nuevas áreas de aplicación de procesamiento de información con soft computing, en especial en el campo de sistemas difusos y sistemas híbridos. Análisis, diseño y desarrollo de métodos formales y algoritmos para detectar la inconsistencia, resolver conflictos en bases de datos, o de integración de distintos tipos de imprecisión (vaguedad, grados de valores de verdad) y de incertidumbre (probabilista, posibilista, grados de creencia, etc.).

6.7. Restricciones

El estudio formal de las restricciones, con sus distintas facetas de aplicación en Informática, como la programación (lógica) con restricciones, se ha convertido en los últimos años en un área muy interesante investigación, que combina diversos campos tanto matemáticos—computación simbólica y lógica computacional—como informáticos—lenguajes de programación e inteligencia artificial.

Los problemas de satisfacción de restricciones ya se estudiaban desde un punto de vista formal (es decir, matemático) en la década de los años setenta, cuando comenzó a hablarse de inteligencia artificial, aunque el uso sistemático de restricciones en la programación no comenzó hasta bien entrados los ochenta. En programación con restricciones, el proceso de programación consiste en la generación de unos requisitos (las restricciones) y la resolución de estos requisitos mediante un algoritmo de solución de restricciones; este proceso puede verse como el análogo simbólico de los típicos problemas de optimización numérica, en los que primero hay que especificar (programar) el problema y luego hay que resolverlo.

Este tipo de programación se ha aplicado con éxito en bastantes dominios, tales como gráficos por ordenador (para expresar la coherencia geométrica de los datos), procesamiento del lenguaje natural (para la construcción de analizadores eficientes), sistemas de bases de datos (para preservar o restaurar la consistencia de los mismos), problemas de investigación operativa (como problemas de optimización), biología molecular (secuenciamiento de ADN), etc.

La investigación en este grupo de trabajo está encaminada a analizar nuevas formas de resolver restricciones, desarrollar distintos enfoques de implementación de estas formas, y estudio de nuevas aplicaciones de la programación con restricciones.

7. Epílogo

La experiencia acumulada a lo largo de los catorce años de existencia de ERCIM, así como su crecimiento continuado, demuestra la utilidad de este proyecto, tanto desde el punto de vista académico (por las ventajas respecto de la colaboración con otros grupos, movilidad, obtención de ayudas económicas), como desde el punto de vista empresarial. Ya se ha comentado que un gran número de empresas de alta tecnología se han desarrollado como *spin-off* de los resultados teóricos obtenidos.

No cabe duda de que la incorporación de España a ERCIM será beneficioso tanto para los investigadores en tecnologías de la información como para aquellos que se dedican a distintos campos de la investigación matemática, habida cuenta de la diversidad de las líneas de investigación apuntadas por los distintos grupos de trabajo.

Para terminar, es conveniente reconocer las fuentes de información utilizadas para la redacción de este informe: fundamentalmente, se ha hecho uso de las páginas web de ERCIM, y especialmente del último informe anual, correspondiente al año 2001. Para mayor información consúltese <http://www.ercim.org>.