

# Líneas de investigación del grupo de Bioingeniería Industrial de la UPM

Dpto. Electrónica, Automática e Informática Industrial  
Carlos Platero, Roberto González, Luís Castedo, Miguel Hernández, Roque Saltaren, Alfonso Reimondez  
Dpto. Ingeniería Eléctrica  
Jorge Moreno, Miguel Ángel Sánchez-Urán  
Dpto. Matemática Aplicada  
Gabriel Asensio  
Dpto. Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos  
Francisco Sánchez

## Resumen

*En estas líneas se presentan las tareas de investigación y docencia llevadas a cabo dentro del grupo de Bioingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid.*

## 1 INTRODUCCIÓN

Aunque la historia del grupo es relativamente corta, sus actividades han sido intensas. Los primeros contactos se inician en el año 2000 cuando surge una colaboración entre el Servicio de Bioelectromagnetismo del Hospital Ramón y Cajal de Madrid con la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Madrid, EUITI-UPM. El hilo conductor fue el análisis de imágenes biomédicas. A partir de ese momento, empieza abrirse el trabajo con otras áreas del mundo sanitario madrileño. Realizando colaboraciones con la Fundación para el Estudio de las Hepatitis Virales y con el departamento de Genética de la Universidad Autónoma de Madrid, UAM. Recientemente, el grupo ha ampliado su círculo de actuación, gracias a la participación en el proyecto europeo *'Medical and Health Care Automation Network'*.

El grupo está constituido por profesores de diferentes departamentos de la EUITI-UPM y de la Facultad de Informática, FI-UPM. Hay docentes de Electrónica, Automática e Informática Industrial, de Ingeniería Eléctrica, de Matemáticas Aplicada y de Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos. Actualmente, en la UPM se está redactando el reglamento de régimen interno sobre los grupos de investigación de esta universidad. Es el propósito del grupo inscribirse bajo el nombre de Bioingeniería Industrial. El número de profesores trabajando en estas actividades son siete docentes doctores y tres no doctores.

Por último, alrededor de este grupo de investigación se ha abierto un debate en la EUITI-UPM, para la reforma de los actuales planes de estudio de

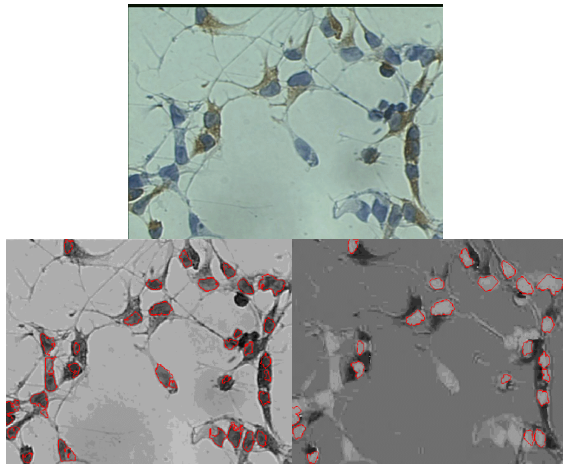
Ingeniería Técnica Industrial, capaz de integrar una intensificación de Bioingeniería en las titulaciones que se están impartiendo.

Los siguientes párrafos describen los hitos conseguidos en los trabajos realizados en estos últimos cuatro años, indicando las líneas de investigación, así como las publicaciones y los proyectos embarcados. El último de ellos, presenta la propuesta que se está articulando en la reforma de los actuales planes de estudio de la EUITI-UPM, con el objeto de insertar la intensificación de Bioingeniería.

## 2 ANÁLISIS DE IMÁGENES BIOMÉDICAS

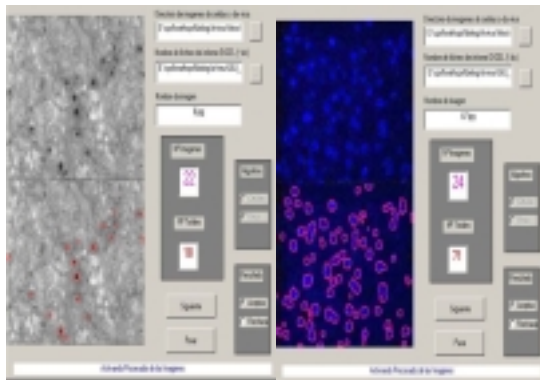
Se ha trabajado en la interpretación de imágenes adquiridas por microscopía, ya sea en campo claro, fluorescencia o en confocal. En los dos primeros casos, básicamente, se trata de determinar y clasificar las propiedades morfológicas de los cuerpos biológicos presentes en las imágenes. En el caso del confocal, el objetivo era la reconstrucción 3D del conjunto de imágenes muestreadas.

Han sido varias las aplicaciones realizadas basadas en la contabilidad de células, de virus, de proteínas, etc. La primer aplicación se hizo para el Servicio de Bioelectromagnetismo del Ramón y Cajal de Madrid. Se trataba de determinar la relación entre la radiación no ionizante GSM con las células madres neurales[1][2]. Las imágenes adquiridas, con marcaje inmunocitoquímico, visualizaban una proteína de crecimiento en algunos citoplasmas de las células madres. El principal objetivo era contar el número de núcleos celulares en una imagen y cuántos de ellos contienen la determinada proteína receptora, R1, en su citoplasma.



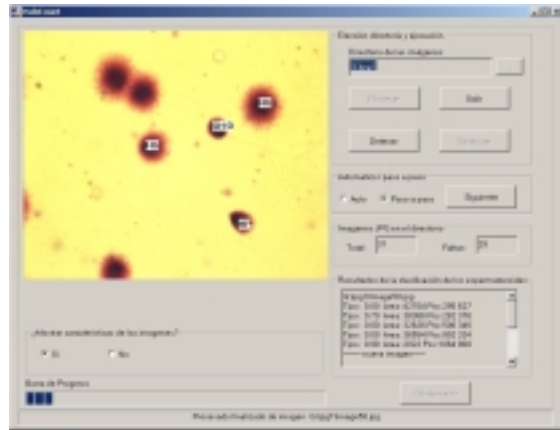
**Figura 1** Influencia GSM sobre las células madres neurales a) imagen del microscopio b) Número total de núcleos c) Núcleos con presencia de la proteína R1

Para la Fundación de las Hepatitis Virales se hizo un aplicación para contar el nivel de infección de pacientes de virus C de la hepatitis. Se trata de contar el número de células y el número de virus sobre un conjunto de imágenes adquiridas.



**Figura 2** Aplicación para determinar el nivel de hepatitis C de los pacientes

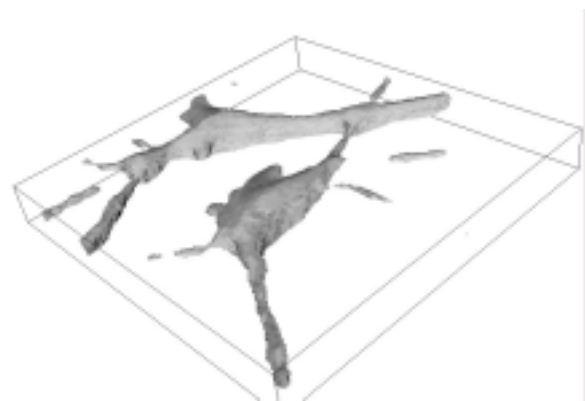
Actualmente se trabaja en determinar la calidad de los espermatozoides humanos mediante técnicas de dispersión cromática (*Sperm Chromatin Dispersión, SCD*)[6]. Este nuevo método, desarrollado por el Complejo Hospitalario Universitario Juan Canalejo de La Coruña y la UAM, determina la fragmentación del DNA de los espermatozoides humanos. Para su evaluación requiere del análisis automático de las imágenes. El objetivo es clasificar una muestra de los espermatozoides del paciente, en cinco clases diferentes[5]. Una primera versión comercial del kit clínico y del software de análisis de las imágenes serán lanzadas a principios del año 2005.



**Figura 3.** Versión beta, octubre 2004, de la aplicación comercial HaloCount.

En el transcurso de estos desarrollos han sido investigadas nuevas técnicas del procesamiento de las imágenes, dando paso a mejoras en las técnicas de umbralización, en la aplicación de watershed, en los contornos activos, .... Pero la línea más fructífera ha sido el empleo de los PDEs (*Partial Differential Equations*). Especialmente se ha estado trabajando en las propiedades del tensor CED (*Coherence Enhancing Filtering*) y sus expresiones analíticas en 3D, con el empleo de las propiedades de invariantes de las matrices simétricas[3]. Además de presentar un novedoso método de combinación de difusión isotrópica y anisotrópica[4].

En 3D se ha trabajado con el confocal del hospital Ramón y Cajal de Madrid. Se pretendía obtener el modelado geométrico de una célula madre neural en su proceso de crecimiento. Se empleó el método de combinación de difusión isotrópica y anisotrópico para procesar el conjunto de rodajas obtenidas[4].



**Figura 4** Reconstrucción 3D de células madres empleando difusión isotrópica y anisotrópica

De esta línea de trabajo ha producido 10 proyectos fin de carrera, 6 trabajos Erasmus/Sócrates, tres becarios, una tesis doctoral en ejecución, cinco

ponencias a congresos, un artículo, dos proyectos de investigación nacional y uno internacional

### 3 PROCESAMIENTO MASIVO EN LAS IMÁGENES

Los altos costes computacionales del procesamiento y segmentación de las imágenes biomédicas, y en especial del procesamiento PDE, ha marcado dos líneas de trabajo, en colaboración con la de análisis de las imágenes: a) procesamiento HW mediante FPGAs y b) sistemas distribuidos.

Tradicionalmente, el procesamiento digital de señales en las aplicaciones más exigentes se ha encomendado a microprocesadores especializados: los DSP. En la actualidad, el aumento del nivel de abstracción en la descripción de sistemas de las herramientas de síntesis de circuitos digitales y el avance tecnológico de los dispositivos programables hacen viable otra alternativa: el uso de FPGA. Dependiendo del algoritmo, su implementación en FPGA puede ser entre 100 y 1000 veces más rápida que en un DSP y consumir, por término medio, un 20% menos de energía. El coste de la implementación en FPGA también es menor, ya que no sólo se trata de un componente de precio más bajo, sino que, además, la propia FPGA puede incorporar la lógica auxiliar necesaria (*glue logic*) y la interfaz de comunicaciones. Por último, las soluciones basadas en FPGA suelen ser más escalables que las basadas en DSP. La capacidad de reprogramación inmediata de las FPGA y la posibilidad de describir los algoritmos en lenguajes y herramientas de descripción a nivel de sistema como SystemC, Handel-C o Simulink (MATLAB) hacen esta solución casi tan flexible como las soluciones programadas. En la actualidad nuestro grupo trabaja en un “acelerador” basado en el paquete ExtremeDSP (Nallatech, Xilinx) y la aplicación SystemGenerator (Xilinx). La idea es desarrollar una biblioteca con las operaciones que constituyen el cuello de botella de los algoritmos y que pueda utilizarse desde C, C++ o MATLAB de forma transparente para el programador del algoritmo.

Sobre el procesamiento distribuido se ha definido un cluster de PCs y mediante MPI se distribuye el trabajo. Esta línea de actuación ha dado paso a un proyecto fin de carrera y un trabajo Sócrates.

### 4 GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN BIOMÉDICA

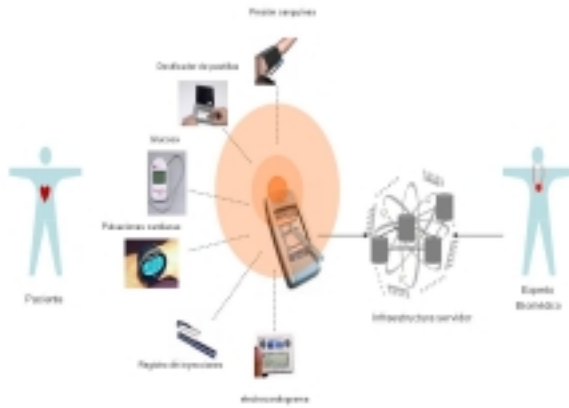
En este apartado se destaca tres líneas de actuación: el trabajo sobre la gestión de imágenes biomédicas empleando el estándar DICOM, la nueva red de dispositivos médicos empleando conexiones inalámbricas y la teledocencia en cirugía cardíaca.

Dentro del proyecto “Análisis y gestión de la imágenes biomédicas” se ha trabajado con el estándar DICOM 3.0. Se ha desarrollado un sistema multiplataforma para el manejo, procesamiento y auditoría de imágenes de diagnóstico médico a través de redes. El sistema está basado en un diseño Cliente/Servidor orientado a objetos. Para la realización de la aplicación se ha trabajado con librerías JDT (Java Dicom Toolkit), con las librerías SDK 1.4.1 y con el entorno JBuilder Enterprise 7.

La aplicación DICOM desarrollada son dos programas claramente diferenciados, uno es el Servidor DICOM y el otro el Cliente DICOM. La aplicación Servidor implementa todas las funciones del estándar DICOM que puede realizar un servidor con las librerías JDT. Se ha realizado un programa multiplataforma que está en ejecución indefinidamente y que él mismo es capaz de administrarse sin mantenimiento exterior.

El servidor DICOM realizado es multiusuario (multihilo), lo que quiere decir que si hay varios clientes intentando acceder al servidor y haciendo peticiones a éste, él mismo administra las peticiones en diferentes hilos y así puede dar servicios a diferentes clientes a la vez. El servidor va dando informes sobre lo que se va desarrollando e información acerca de los servicios que está realizando y le están pidiendo los clientes. La aplicación cliente se ha realizado siguiendo el estándar en la comunicación con el servidor. De esta forma se ha puesto en cada panel lo deseado. Los paneles creados son: el panel Cliente-Servidor, el panelProcesamiento, el panelVisorDicom y panelCrearDicom.

La red temática ‘*Medical and Health Care Automation Network*’, recientemente creada y financiada dentro del VI Programa Marco, está constituida por 10 socios europeos y un representante chino. El objetivo de la Red es la integración de diferentes dispositivos médicos alojados en el paciente, con conexión Bluetooth/RFID y enviar los datos recibidos mediante telefonía celular a un servidor para un posterior análisis de los datos.



**Figura 5 Filosofía de MHCAN**

Para la consecución de los objetivos se trabajará:

- Preparación de los datos enviados por los distintos dispositivos médicos.
- Adquisición y transmisión de los datos empleando Bluetooth/RFID.
- Programación de las plataformas móviles (*Nokia 3650 Symbian 6.1, Nokia 6600 Symbian 7.0s*)
- Transmisión de los paquetes al servidor empleando GPRS.
- Desarrollo de la base de datos (recepción y análisis).

En la última convocatoria del CICYT se ha aprobado el proyecto “Laboratorios Educativos Accesibles de forma Remota y colaborativa Navegando vía WEB (LEARN-WEB)”[7]. Entre otros escenarios se presenta la tele-docencia de cirugía cardiaca.

## 5 ROBÓTICA BIOMÉDICA

Cada vez se hace más patente la repercusión de los avances científico-técnicos, en un sector de carácter fundamental como es el de las ciencias de la salud. La implantación de la multidisciplinariedad es una realidad de presente. El reunir en un mismo entorno de trabajo a personal especialista de áreas en principio, con intereses claramente diferenciados no sólo repercute en la consecución de objetivos de remarcada trascendencia, sino que también es un vivero inagotable de formación para sus integrantes, gracias al intercambio constante de pareceres y puntos de vista de sus miembros. En este sentido, la línea de aplicaciones de la robótica en la medicina, formado en la EUITI-UPM, hace unos 4 años, en el cual han desarrollado su trabajo profesores y alumnos de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, éstos últimos, durante periodos mínimos de 9 meses, para la consecución de su Proyecto Final de Carrera.

Fruto de la estrecha colaboración con personal docente e investigador de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de nuestra Universidad (División de Ingeniería de Sistemas y Automática), a lo largo de estos últimos años, ha sido posible el desarrollo de diferentes trabajos y estudios que afrontan la problemática de la terapia y diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas, así como el desarrollo de ayudas técnicas a los enfermos de las mismas.

En este sentido, actualmente, se tienen abiertas y en desarrollo las siguientes líneas:

1. Ayuda al diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas que cursan con trastornos del movimiento.
2. Ayudas técnicas para el filtrado del temblor en enfermos de Parkinson y temblor esencial.
3. Ayudas técnicas para terapias no invasivas en el tratamiento de la enfermedad de Párkinson.

El uso de dispositivos hápticos, así como el empleo de técnicas de inteligencia artificial, utilizados en el diagnóstico, permiten trabajar sobre un abanico casi ilimitado de posibilidades, encaminadas hacia la mejora asistencial, incrementando la fiabilidad y precisión del diagnóstico. Una vez diagnosticado, el paciente, tiene que enfrentarse a dos aspectos fundamentales. Uno, es el de afrontar la terapia acorde al diagnóstico y otro, el hacer frente a las posibles disfunciones de la mejor manera posible, minimizando al máximo las barreras o incapacidades que se deriven de su enfermedad. Tanto uno como otro son objetivos de estudio en las dos últimas líneas mencionadas anteriormente.

## 6 BIOINGENIERÍA EN LA DOCENCIA DE LA EUITI-UPM

Desde las XXIV Jornadas de Automática, celebradas en León, donde se realizó la primera reunión temática sobre Bioingeniería, y gracias a la presentación de programas curriculares sobre la formación del posible bioingeniero, se trasladaron estas ideas a la EUITI-UPM. Pero sin duda, con la futura reforma de los planes de estudio y con las peculiaridades de la UPM, la dispersión de las Escuelas y Facultades por la ciudad, al igual que los propios departamentos, han acelerado los contactos y la reuniones.

Han habido varias reuniones a nivel de directores de departamento para sondear la posible participación en un programa de bioingeniería. Además, durante

los meses de octubre y noviembre, en pleno proceso de elecciones del director de la EUITI-UPM, los dos candidatos han llevado en su programa, el estudio sobre la docencia de la Bioingeniería en el centro. De manera que se ha concertado, en una primera actuación, una visita institucional a la EUITI-UPC, en la primera semana de diciembre. El objetivo es recabar información y experiencia sobre la intensificación de Bioingeniería, dada a las cuatro titulaciones que tienen en Ingeniería Técnica Industrial, las cuales son las mismas que las dadas en Madrid.

Se está en proceso de discusión de si merece la pena, la reforma actual de los planes de estudios, para la inclusión de la intensificación de Bioingeniería o de promover un postgrado de titulación propia de la UPM.

### Referencias

- [1] Platero, C., Versbiet, K., Úbeda, A., Trillo, A., Gosálvez, J., Bartolomé, J., *Plataforma abierta para el procesamiento y gestión de imágenes biomédicas*, XXI Jornadas de Automática, ISBN: 84-699-3163-6, Sevilla, septiembre 2000.
- [2] Platero, C. Trillo, A., Úbeda, A., *Procesamiento de imágenes biomédicas para el estudio de la influencia de la radiación electromagnética GSM sobre células madre neurales*, XXIII Jornadas de Automática, ISBN:84-699-8916-2, La Laguna, 9-11 sept. 2002.
- [3] Platero, C., Asensio, G., *Procesamiento distribuido 2D y 3D de imágenes biomédicas mediante filtros de difusión no lineal*, ISBN: 84-931846-7-5, XXIV Jornadas de Automática, León, 2003.
- [4] Platero, C., Asensio, G., Moreno, J., *Combinación de la difusión isotrópica y anisotrópica en el procesamiento de imágenes*, pendiente de revisión
- [5] Platero, C., *Segmentación automática de imágenes de espermatozoides humanos mediante técnicas SDC*, ISBN: 84-688-7460-4, XXV Jornadas de Automática, Ciudad Real, 2004.
- [6] Fernández, J.L., Muriel, L., Goyanes, V., Segrelles, E., Enciso, M., Platero, C., Gosálvez, J., *Simple analysis of DNA fragmentation in human sperm cells: the Sperm Chromatin Dispersion (SCD) test*
- [7] Francisco M. SÁNCHEZ, Juan ZAMORANO. A low Cost Laboratory for Teaching Embedded Real-Time Systems. 7th IFAC/IFIP/IEEE Workshop on Real Time Programming, WRTP'03. Lagow (Poland).14-17 May 2003