

# APORTACIONES INFORMÁTICAS A LA INDUSTRIA BIOMÉDICA

**José M<sup>a</sup> Angulo Usategui**  
Ingeniero Industrial

**Ignacio Angulo Martínez**

**José Luis Gutiérrez Temiño**

Tecnológico Deusto de la  
Universidad de Deusto

**Recibido:** 15-9-05

**Aceptado:** 26-9-05

## SITUACIÓN ACTUAL DE LA INGENIERÍA BIOMÉDICA

La Ingeniería Biomédica tiene como principal objetivo aplicar las modernas tecnologías en proyectos orientados en la mejora de la salud y de la calidad de vida. Es una actividad multidisciplinar que agrupa especialistas en Medicina, Biología, Física, Matemáticas y un gran número de especialidades de Ingeniería. Los dominios más avanzados de la Ingeniería se están empleando en aspectos tan destacados como el diagnóstico, la monitorización, la Cirugía y la actuación terapéutica sin olvidar los sistemas de ayuda para las personas discapacitadas.

Aunque en el entorno cercano no ha existido tradición en aunar esfuerzos entre diversos especialistas para el desarrollo de la industria Biomé-

ca, la creciente demanda de la Sociedad de mejoras en el diagnóstico precoz, el mantenimiento de las capacidades en la explosiva población de la tercera edad y la mejora de las condiciones físicas de las personas discapacitadas son algunas de las razones que en la actualidad están impulsando la creación de grupos de trabajo e investigación que aplican profusamente las modernas técnicas de la Microelectrónica y la Informática en la Telemedicina, la monitorización, los aparatos inteligentes de procesamiento de imágenes, el uso de los biomateriales en el diseño de prótesis e implantes de mayor calidad, así como numerosas líneas de desarrollo que han hecho considerar a esta industria como una de las de mayor actualidad en un futuro cercano.

## LA INFORMÁTICA EN LA MODERNA INGENIERÍA BIOMÉDICA

Se enumeran las seis grandes líneas de investigación de la Ingeniería Biomédica:

- Telemedicina.
- Análisis y procesamiento de señales e imágenes.
- Instrumentación.
- Creación de entornos virtuales.
- Aplicación de la biomecánica y los biomateriales.
- Sistemas de ayuda a discapacitados.

En todas las líneas y proyectos la Informática constituye uno de los pilares indispensables junto a los dispositivos electrónicos miniaturizados especial-

mente los microprocesadores, los microcontroladores y los DSP.

En Telemedicina se aplican las más modernas tecnologías de tratamiento de la información sobre sistemas de comunicación que soportan entornos móviles, remotos o de emergencia.

En el procesamiento de señales e imágenes para aumentar la seguridad de los diagnósticos se emplean los dispositivos y programas más evolucionados en el tratamiento de señales, reconstrucción geométrica y obtención de parámetros fisiológicos.

La Informática es la herramienta que permite implementar los entornos médicos virtuales que se obtienen a partir del procesamiento de imágenes reales que dan lugar a la simulación, a la ayuda en la planificación operativa y a los interfases con otra instrumentación complementaria.

Finalmente, los instrumentos médicos están basados en material microelectrónico programable de última generación (Figura 2).

Incluso en la línea de la Biomecánica y los biomateriales la Informática participa de manera relevante. Así, en las fracturas, la implantación de prótesis y en la osteoporosis, se plantea la simulación de su comportamiento a corto y largo plazo con elementos finitos. Se sopesan la aplicación de diversas técnicas quirúrgicas para la corrección de defectos en el ojo humano mediante la simulación óptica y mecánica del mismo.

En los sistemas de ayuda a discapacitados tienen mucha influencia los programas de control en el campo de la Robótica móvil que diseña prototipos automatizados y sensorizados. Dispositivos microelectrónicos programados se utilizan en sistemas tendientes a mejorar la adaptación social de discapacitados como el que procesa las señales sonoras de las personas discapacitadas para poder emplear con efectividad el teléfono.



*Figura 1.- Los sistemas de ayuda a las personas discapacitadas constituyen una de las líneas de desarrollo más florecientes de la industria Biomédica.*

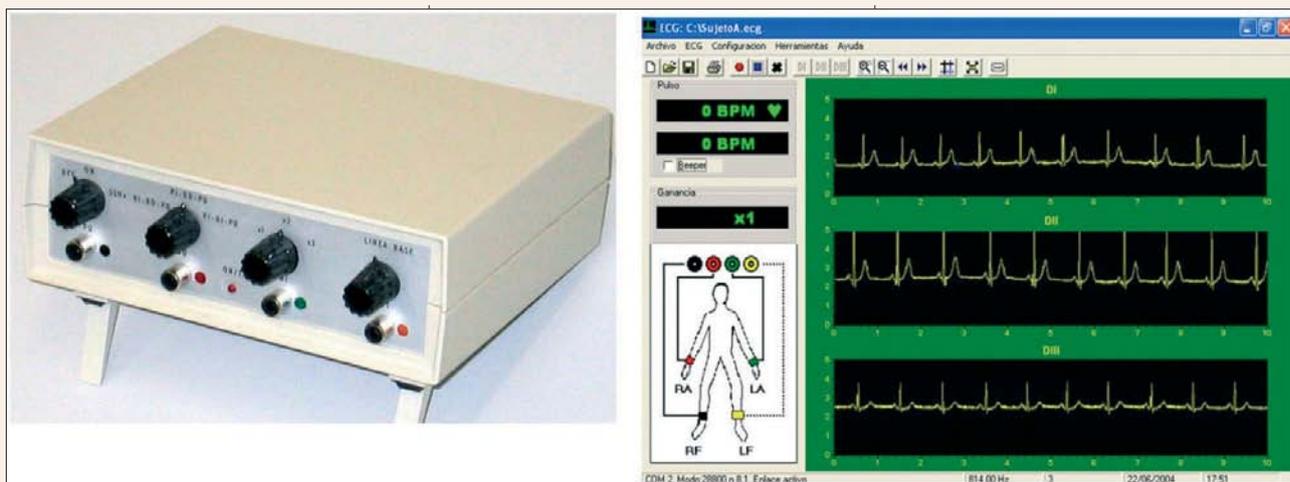


Figura 2.- Fotografía de un electrocardiógrafo desarrollado en el Tecnológico Deusto con dispositivos microelectrónicos programables de última generación.

**EL GRAN RETO: MEDIR EL DOLOR**

Dentro de la línea de investigación en Ingeniería Biomédica del **Tecnológico Deusto**, perteneciente a la **Universidad de Deusto** en Bilbao, se inició un proyecto que pretendía “medir el dolor humano”, teniendo en cuenta el interés y la necesidad de los especialistas médicos que demandaban un sistema científico que permitiese diagnosticar y seguir la evolución de las enfermedades relacionadas con esta sintomatología.

Aunque el dolor suele estar presente en casi todas las enfermedades, hay algunas en las que se convierte en el síntoma principal. En concreto la *fibromialgia* fue definida en

1993 en base a los criterios elaborados por el **American College of Rheumatology (ACR)** como una enfermedad caracterizada por los dos síntomas siguientes:

1º. Dolor crónico generalizado durante un periodo superior a los tres meses.

2º. En el cuerpo humano existen nueve pares de “*puntos gatillos*” especialmente sensibles al dolor provocado por la presión ejercida sobre ellos. En los afectados por la fibromialgia, al menos en 11 de dichos puntos les produce un dolor moderado o intenso cuando se les aplica una presión de aproximadamente 4 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 4).

Aplicando los criterios clasificatorios del ACR a la población española se deduce que la fibromialgia afecta al 4,2% del sexo femenino y al 0,2% del masculino, elevando a unas 800.000 personas las que la padecen en España, de las cuales entre un 80 y un 90% corresponden a mujeres cuya edad oscila entre los 30 y los 50 años.

Según el prestigioso especialista el Profesor Dr. **Ricardo Franco Vicario** el diagnóstico de la fibromialgia es exclusivamente clínico y puede plantear problemas diferenciales con otras enfermedades como la polimialgia reumática, el hipotiroidismo la polimiositis, el lupus eritematoso

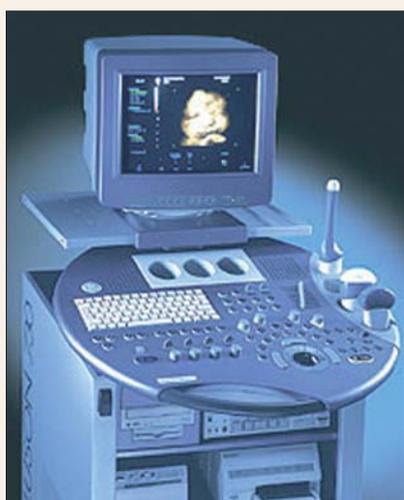


Figura 3.- Sistemas microelectrónicos de procesamiento de señales de alto rendimiento son usuales en los sistemas biomédicos, como el ecógrafo de la fotografía.

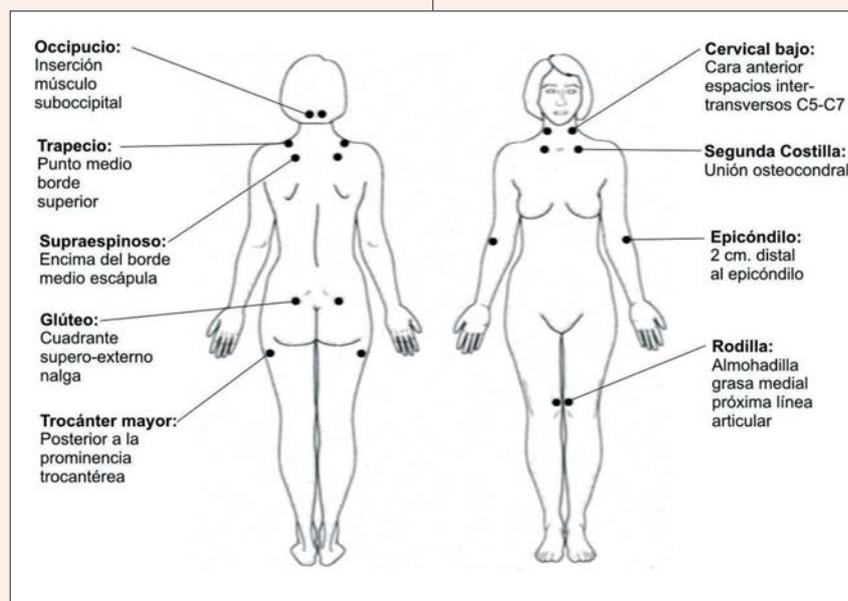


Figura 4. Situación de los nueve pares de puntos gatillo usados en el diagnóstico de la fibromialgia.

sistemático inicia y la artritis reumatoide. Sin embargo, en la fibromialgia, al revés que ocurre en las mencionadas enfermedades, las pruebas de laboratorio (hemograma, velocidad de sedimentación globular, glucemia, creatinina, etc.) y las exploraciones radiológicas (radiografía de raquis y de zonas dolorosas) son absolutamente normales.

Durante mucho tiempo los especialistas han explorado los puntos gatillo aplicando con los dedos pulgar o índice un creciente nivel de presión durante varios segundos. Experimentalmente se conoce que, cuando cambia la coloración subungueal del dedo explorador, es cuando se alcanzan los 4 kg, es decir,



Figura 5.- Cuando, a través de la uña del dedo explorador, aparece una coloración blanca se supone que se está presionando con una fuerza de unos 4 kg.

cuando el color que se aprecia a través de la uña pasa a blanco. A la subjetividad de la sensación dolorosa del paciente se une la de la medida de la fuerza aplicada (Figura 5).

Para precisar el valor de la presión aplicada en los puntos gatillo se han desarrollado diversos instrumentos de tecnología microelectrónica,

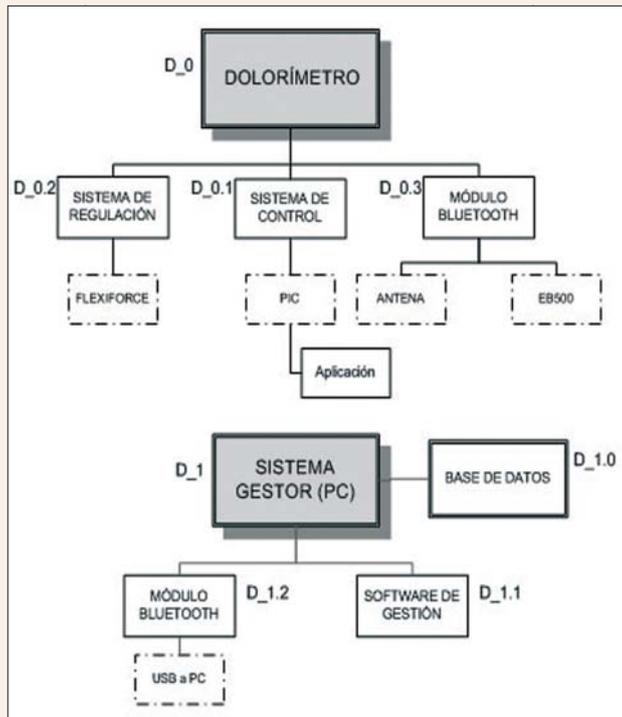


Figura 6.- Organigrama del sistema de ayuda al diagnóstico de la fibromialgia basado en un dolorímetro y el Sistema gestor.

que no sólo son capaces de medir con exactitud la presión que se ejerce sobre su punta sino también de registrar y procesar toda la información para facilitar el diagnóstico y el seguimiento de patologías dolorosas.

### SISTEMA SMD PARA AYUDA AL DIAGNÓSTICO DE LA FIBROMIALGIA

Los autores de este trabajo pertenecen al equipo de investigación que sobre la línea de Ingeniería Biomédica existe en el **Tecnológico Deusto** y han diseñado un sistema de ayuda al diagnóstico y seguimiento de la fibromialgia, cuya patente está en fase de tramitación. El mencionado sistema consta de dos recursos principales:

1º. Un instrumento para la medida del dolor. Dolorímetro autónomo con transmisión inalámbrica de datos.

2º. Sistema lógico, denominado Sistema gestor, soportado en un PC, que se encarga de la gestión de los datos, el tratamiento de la información, la aplicación de algoritmos y la generación de diagnósticos. En la figura 6 se presenta el organigrama por bloques del sistema.

### EL DOLORÍMETRO

Es el instrumento que maneja el médico para presionar sobre los *puntos gatillo*. En todo momento se visualiza en una pantalla LCD la presión que se está ejerciendo. Cuando se aprieta el gatillo del aparato, se captura la presión instantánea, que se registra junto al nombre del punto explorado (Figura 7).

Como puede apreciarse en la figura 8, existen dos pulsadores en la parte inferior de la pantalla LCD, con los cuales se puede recorrer el menú de opciones que dispone el dolorímetro. Son cinco funciones las posibles:

1ª. Capturar presión:

Recoge y almacena la presión existente al apretar el gatillo.

2ª. Escanear TP's para ir realizando automáticamente, uno a uno, la exploración de los 18 puntos gatillo.

3ª. Volver a escanear TP: Se elige el punto concreto que se quiere explorar.

4ª. Mostrar TP's: Visualiza en pantalla los valores de los puntos registrados (TP).

5ª. Sincronizar TP: Establece la conexión del dolorímetro con otro dispositivo que disponga de módulo Bluetooth compatible para la transmisión inalámbrica de información.



Figura 7.- Aplicación del dolorímetro SMD en un punto gatillo.



Figura 8.- Visualización de la presión instantánea que se está aplicando.

Se ha seleccionado al sensor *FlexiForce*® de *Tekscan* para la medición de la presión en el dolorímetro SMD. Actúa como una resistencia variable cuyo valor depende de la presión ejercida sobre el círculo sensitivo

La microelectrónica programable encargada del control del dolorímetro está basada en un microcontrolador PIC16F876 que recibe como señales de entrada la analógica del sensor de fuerza y las digitales de los pulsadores y el gatillo. Los dispositivos de salida que gobierna el microcontrolador son la pantalla LCD, el LED de encendido y el módulo Bluetooth, que no se representa en el esquema de la figura 9.

El sistema permite una comunicación punto a punto entre el dolorímetro y el programa de gestión cargado en un PC a través de un par de módulos que implementan el protocolo Bluetooth. El dolorímetro contiene el módulo MSE-eb500 y el PC el módulo **Energy Systems** USB.

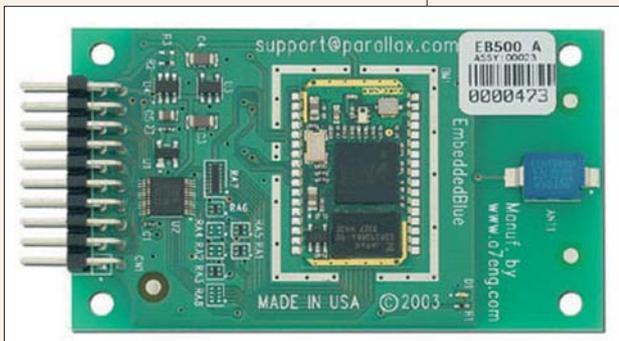


Figura 10.- Fotografía del módulo eb500 incluido en la pistola del dolorímetro para transmisión de datos vía Bluetooth.

El módulo MSE-eb500 está basado en el popular eb100 de la empresa **A7 Engineering** que permite añadir conectividad *Bluetooth* a cualquier aplicación basada en microcontrolador y aplicar tecnología *wireless* avanzada (Figura 10).

**SISTEMA GESTOR**

Este sistema lógico consta de una serie de programas instalados en un PC compatible con procesador *Intel Pentium IV* a 2 GHz con un mínimo de 128 MB de RAM, tarjeta gráfica AGP 8 MB, sistema operativo *MS Win-*

en diferentes circunstancias. A partir de la Base de datos se generan las estadísticas que facilitan al especialista el diagnóstico del paciente.

El *software* gestor recoge los datos transmitidos de forma inalámbrica desde la pistola para su registro y procesamiento. En el diseño del *software* se utiliza una herramienta de programación orientada a objetos para procurar una gran robustez en la conexión sin hilos.

El *software* permite manejar todos los aspectos y datos que necesita el especialista:

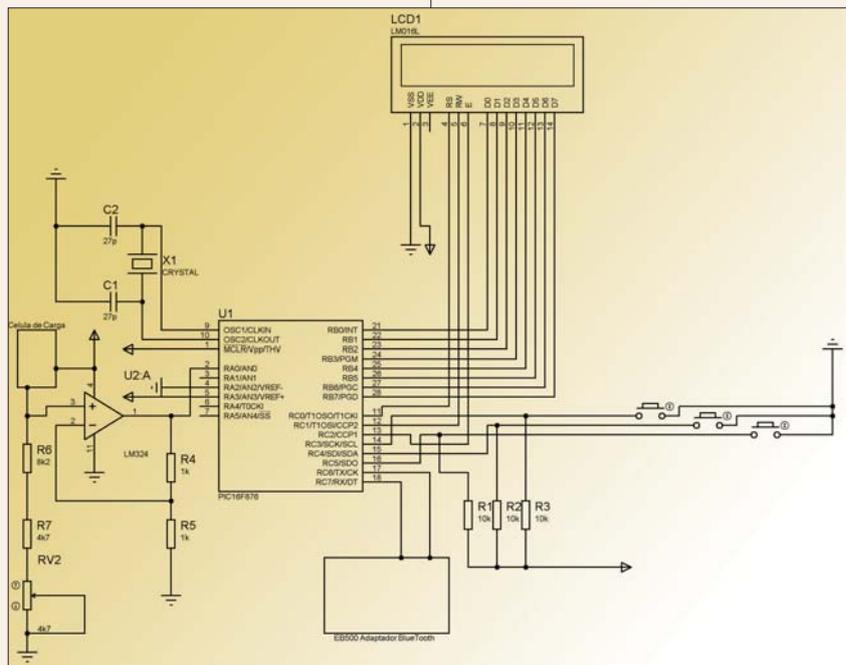


Figura 9. Esquema electrónico del circuito de control del dolorímetro basado en el PIC16F876.

*dows 2000/XP Pro*. Se requiere la instalación del paquete *Java j2sk 1.4.0* y que la tarjeta principal integre puertos RS-232-C y USB 1.1 o superiores.

La Base de datos utilizada por el sistema está implementada en *Access* mediante el lenguaje de consulta SQL. Está dividida en tres tablas que contienen los datos del paciente y todas las medidas realizadas

**Datos del paciente**

- Dar de alta al paciente.
- Modificar datos de un paciente.
- Tomar mediciones.

**Elección de actividad**

- Hacer ejercicios físicos.
- Programa educativo.
- Técnicas de relajación.
- Tomar medicamento A.
- Tomar medicamento B.

**Comparativa entre distintas actividades**

**Estadísticas y diagnósticos**

En la figura 11 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al apartado *“Tomar medidas a un paciente”*, que ha podido recibir un tratamiento específico y se desea cono-

cer sus efectos y comparar los resultados con otras situaciones.

La opción "Estadísticas y diagnóstico" proporciona una tabla similar a la de la figura 12 en la que se detallan los valores de los puntos gatillo después de diversos tratamientos, así como el nivel de presión que cuantifica el dolor y la gravedad de la enfermedad.

Finalmente, en la figura 13 se presenta una pantalla de trabajo en el PC donde se recogen las mediciones de los puntos gatillo que se visualizan con diferentes colores de acuerdo con el rango de presión que ha generado el dolor en cada punto. En la parte izquierda de la figura se visualizan los valores en color de los puntos gatillo después de haber realizado una tabla de ejercicios físicos, y en la parte derecha después de haber realizado ejercicios de relajación.

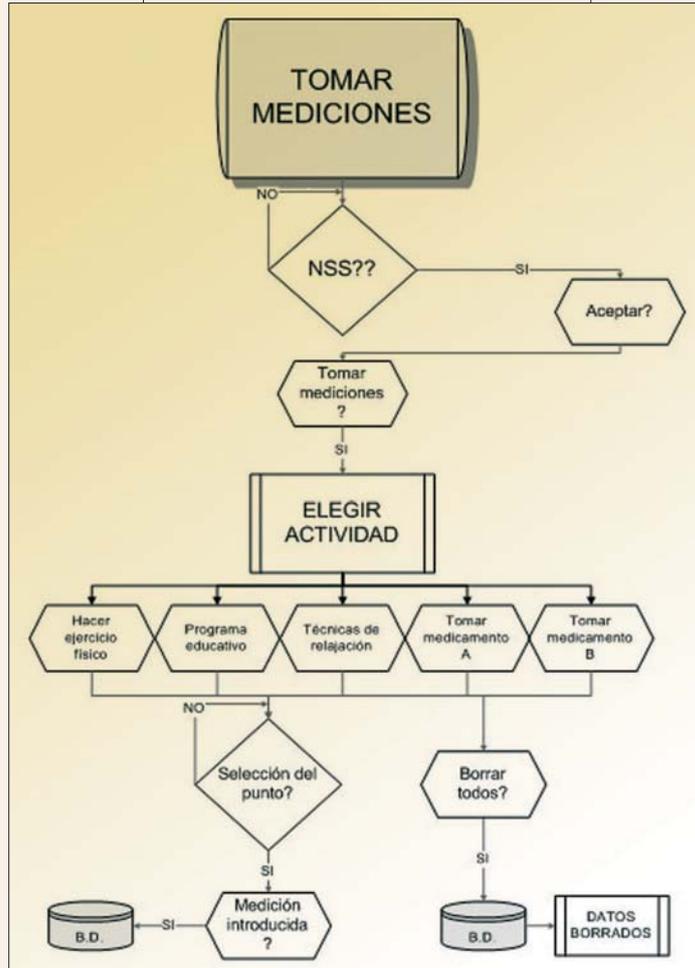


Figura 11.- Diagrama de flujo correspondiente a la función "Tomar datos a un paciente".

### CONCLUSIONES

El sistema de ayuda al diagnóstico de la fibromialgia dispone de los recursos necesarios para facilitar y asegurar el manejo de la información fundamental para alcanzar el diagnóstico y el seguimiento de esta enfermedad. Sin embargo, su principal ventaja reside en su gran flexibilidad para poder adaptar los programas de gestión a las peculiaridades de cada paciente y a los requerimientos y criterios de los especialistas médicos.

Esperamos en un futuro cercano poder optimizar todo el sistema descrito para intentar ayudar a mejorar la calidad de vida de los pacientes y proporcionarles métodos e instrumentos homologados para el diagnóstico y la determinación de la incapacidad asociada, así como para poner en manos

de los especialistas que tratan esta enfermedad una herramienta sencilla, flexible y segura que mejore y facilite su trabajo.

### BIBLIOGRAFÍA

- *Concepto actual de la fibromialgia*, Profesor Dr. **Ricardo Franco Viario**, Convención anual organizada por AVAFAS, Universidad de Deusto, 2004.
- *Fibromialgia*, Ministerio de Sanidad y Consumo. Consejo Interterritorial. Sistema Nacional de Salud. 2003.
- *Fibromialgia. Cómo combatir la fatiga crónica*, **Luis Quevedo Herrero**, Ediciones obelisco, 2004
- *Rheumatology*, **Hall, Hamilton**, MTP Press Limited, 1983
- *Consensus Document on Fibromyalgia: The Copenhagen Decla-*

Paciente: **Andrea Fernandez Agirregabiria**

Actividad	Hacer ejercicio físico	Programa educativo	Técnicas de relajac...	Medicamento A	Medicamento B
Puntos Rojos	3	0	4	0	0
Puntos Naranjas	4	0	4	0	0
Puntos Amarillos	3	0	4	0	0
Puntos Verdes	5	0	4	0	0
Puntos Azules	3	0	2	0	0
Media por actividad	2.9444444	0.0	3.2222223	0.0	0.0
				Media Total	3.0

Niveles de Fibromialgia:

- MUY ALTO:** Media de todas las actividades entre 4 y 5
- ALTO:** Media de todas las actividades entre 3 y 4
- BAJO:** Media de todas las actividades entre 2 y 3
- MUY BAJO:** Media de todas las actividades entre 1 y 2

**Volver**

Figura 12.- Tabla correspondiente a los resultados de la opción "Estadísticas y diagnósticos"

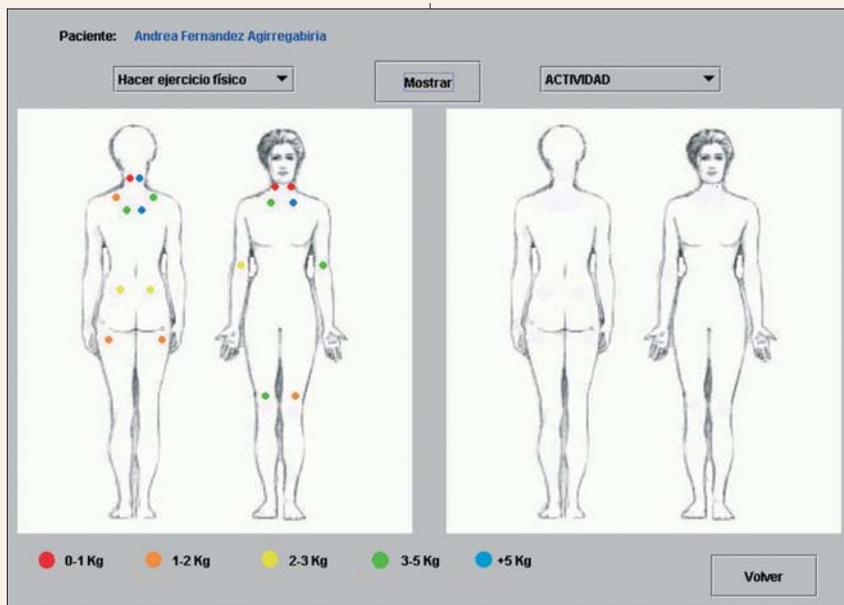


Figura 13.- Las ventanas en el PC que desarrolla el Sistema gestor visualizan en colores los valores de las mediciones de los puntos gatillo.

ration. *Journal of Musculoskeletal Pain*. Vol 1, New York : The Haworth Press, Inc., 1993.

- *Criteria for the classification of fibromyalgia*, The American College of Rheumatology. **Wolf F.** *Arthritis Rheum* 1990; 33:160-72

- **ANGULO USATEGUI, JOSÉ M<sup>a</sup>; MARTÍN CUENCA, EUGENIO y ANGULO MARTÍNEZ, IGNACIO** “*Microcontroladores PIC. La clave del diseño*”, Madrid, 2004, Editorial Thomson-Paraninfo, 452 p., ISBN: 84-9732-199-5.

- **ANGULO USATEGUI, JOSÉ M<sup>a</sup>; ROMERO YESA, SUSANA y ANGULO MARTÍNEZ, IGNACIO**, “*Microcontroladores PIC: Diseño práctico de aplicaciones*”, 2 volúmenes, Madrid, 2003, Editorial Mc Graw-Hill, 584 p., ISBN: 84-481-3788-4.

- **Asociación Vasca de la Fibromialgia**, [www.euskalnet.net/avafas](http://www.euskalnet.net/avafas)

- **Ingeniería de Microsistemas Programados S.L.**, [www.microcontroladores.com](http://www.microcontroladores.com)

- **Parallax Inc.**, [www.parallax.com](http://www.parallax.com)

## LOS VERTEDEROS CONTROLADOS ESPAÑOLES, NUEVAMENTE A ESTUDIO

Los días 19 y 20 de octubre, **ATEGRUS** - Asociación Técnica para la Gestión de Residuos y Medio ambiente - celebrará en la ciudad de Lérida, y coincidiendo con la Feria *Municipalia*, su XXXIII Conferencia anual sobre vertederos controlados.

Esta Conferencia es una continuidad de las que el Miembro Nacional y único representante de la **ISWA** en España celebró en 1999, 2011 y 2003.

El observatorio de vertederos controlados de residuos inertes, urbanos y peligrosos que esta Asocia-

ción está elaborando, y cuyos resultados serán presentados en Lérida, muestran la situación real de los vertederos existentes con datos fiables que serán de gran ayuda para los técnicos.

El día 19, se abordarán los nuevos aspectos legislativos principalmente en lo relativo a los criterios de admisibilidad, presentándose los planes existentes para la clausura y sellado de vertederos, además de exponerse la situación de los impuestos aplicados sobre el vertido de residuos y el destino que los diferentes gobiernos da a dichos ingresos.

La Jornada del día 20 se centrará en los aspectos técnicos como la gaseificación, nuevas tecnologías en el tratamiento de lixiviados, importancia del medio geológico e hidrogeológico, estabilidad mecánica en la masa de vertido y la reinserción ambiental de vertederos clausurados.

El Congreso se celebra simultáneamente con la Feria *Municipalia* así como con el Encuentro sectorial AL Invest “*Equipamientos y servicios municipales*” que **ATEGRUS** organiza paralelamente. ■