

## CAPÍTULO 8

# TELEMONITORIZACIÓN DE PACIENTES: UNA EXPERIENCIA EN LAS UNIDADES DE CUIDADOS CORONARIOS

J. Presedo, J. Vila, D. Castro, M. Fernández-Delgado,  
S. Fraga, M. Lama, S. Barro

suso@dec.usc.es, vila@dec.usc.es, daniel@dec.usc.es, eldelga@usc.es,  
fraga@dec.usc.es, lama@dec.usc.es, senen@dec.usc.es

*Grupo de Sistemas Inteligentes  
Dep. Electrónica y Computación. Univ. Santiago  
Santiago de Compostela, España.*

*En el presente trabajo describimos un entorno de monitorización inteligente de pacientes en Unidades de Cuidados Coronarios. El sistema hace especial énfasis en su carácter distribuido y en la flexibilidad en cuanto al acceso de los usuarios a la información de monitorización. Para ello el sistema está dotado de dos tipos de interfaces de carácter complementario y que brindan la posibilidad de acceso integral a la información de monitorización en cualquier momento, desde cualquier lugar y en la mejor forma posible.*

*In this paper we describe an environment for intelligent monitoring of patients in Coronary Care Units. Some important features of the system are its distributed capabilities and its flexibility for giving to the users access to monitoring information. For this, the system is equipped with two complementary interfaces, being capable of giving in the best way integral access to monitoring information at any time, any place and from any location.*

**Palabras clave:** monitorización inteligente, telemedicina.

**Keywords:** intelligent monitoring, telemedicine.

## 8.1 INTRODUCCIÓN.

Como su nombre indica, Telemonitorización no es sino “monitorización a distancia”. Más adelante concretaremos el significado y el alcance de este término, centrándonos ahora en el de “monitorización”.

Se puede definir la monitorización de pacientes como el seguimiento continuo del estado de un paciente a través de un proceso que consta básicamente de tres etapas:

- Adquisición de la información, a través de distintos sensores, análisis de laboratorio, etc.
- Procesado de dicha información, fundamentalmente a través de medios informáticos.
- Valoración de la información disponible y toma de las acciones terapéuticas oportunas.

Estas tres etapas se repiten de forma simultánea e indefinida mientras dure la monitorización.

La monitorización se lleva a cabo fundamentalmente en las Unidades de Cuidados Coronarios (UCCs) y en las Unidades de Cuidados Intensivos (UCIs) de los hospitales, dado que son éstas las que disponen del equipamiento necesario. Habitualmente el médico se limita a desempeñar la tercera de las etapas mencionadas, siendo los equipos informáticos los encargados de la adquisición y procesado de la información y de su presentación al personal médico en un formato adecuado.

El nivel actual que ha alcanzado la monitorización de pacientes es el resultado de una evolución guiada principalmente por las mejoras técnicas. En función de éstas se pueden distinguir tres etapas fundamentales en la evolución de los sistemas de monitorización.

La primera de ellas, que podríamos denominar “monitorización manual”, se caracteriza por la ausencia total de equipos electrónicos. La información se obtenía por inspección visual del enfermo o con la ayuda de unos pocos aparatos como el termómetro o el estetoscopio. Aunque en cierto modo la monitorización siempre ha existido, podemos considerar que ésta se inicia en la década de los 30 con la puesta en funcionamiento de salas de reanimación postoperatoria y con la aparición de los servicios de ventilación asistida durante la epidemia de polio de 1947-52.

La segunda etapa, a la que denominaremos “monitorización asistida”, se corresponde con la introducción de la electrónica analógica, siendo la mejora más evidente la aparición de los primeros electrocardiógrafos analógicos. Surgen entonces las verdaderas UCCs; las primeras aparecen en el año 1962 en USA y Canadá, y se orientan al seguimiento de pacientes tras un infarto. Aunque esto supone un gran avance tecnológico, la tarea del médico sigue siendo bastante fatigosa: analiza los electrocardiogramas en papel haciendo medidas sobre el mismo, buscando morfologías extrañas, etc. No obstante, poco a poco van surgiendo nuevos dispositivos que realizan automáticamente parte de

estas tareas (medidores de frecuencia cardíaca, detectores de arritmias,...).

La tercera etapa se caracteriza por la incorporación de equipos capaces de realizar un procesamiento digital de las distintas señales fisiológicas. En ella se posibilita una auténtica “monitorización automática”. Aunque hubo intentos previos de procesamiento digital del electrocardiograma, tales como los trabajos de Pipberger (Stallman 61) y Caceres (65), el hito que marcó la introducción masiva de los ordenadores en los hospitales fue la aparición del primer microprocesador en 1971. Con ello se consiguieron equipos mucho más baratos, potentes y fiables.

Estos equipos empezaron siendo un complemento de los sistemas analógicos tradicionales, pero pronto suplantaron a estos y se convirtieron en auténticos monitores de cabecera, dotados de un número cada vez mayor de sensores, con algoritmos de procesamiento cada vez más sofisticados y fiables, permitiendo una mejor interacción con el sistema a través de unas interfaces de ergonomía creciente.

Aunque a lo largo de estas tres últimas décadas ha habido mejoras importantísimas en el nivel de “competencia” de los equipos informáticos de las UCCs, todavía queda bastante por hacer. Por una parte, se debe mejorar su nivel de “inteligencia”, haciendo que estos sistemas ofrezcan al médico una información de mayor contenido semántico. Otra de las vías en las que se está trabajando actualmente es en el desarrollo de sistemas de telemonitorización, que permitan realizar el

seguimiento de enfermos en otros lugares del hospital o incluso desde fuera del mismo.

Actualmente existen pocos sistemas de telemonitorización, siendo la mayoría el resultado de proyectos de investigación todavía en curso. Sólo unos pocos han conseguido superar esta fase y alcanzar el ámbito comercial (Zhang 97).

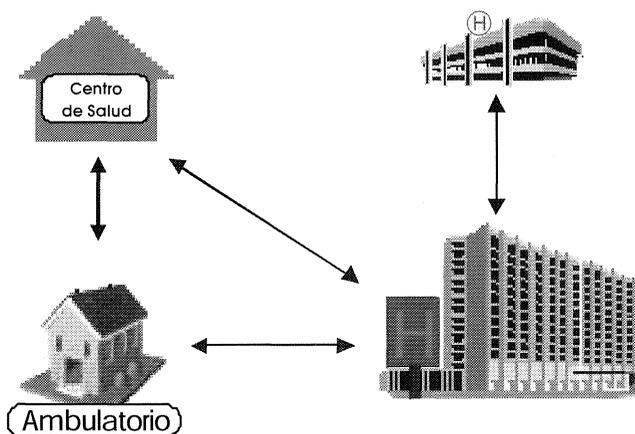
A continuación plantearemos algunos escenarios en los cuales creemos que la telemonitorización puede aportar ventajas considerables. Posteriormente presentaremos nuestra propia aportación al campo, fruto de la adaptación de un sistema de monitorización inteligente (Sutil+), desarrollado por nuestro grupo de investigación, a la monitorización remota de pacientes.

## **8.2 ALGUNOS ESCENARIOS EN LA TELEMONITORIZACIÓN DE PACIENTES**

El sistema sanitario público en Galicia, así como en otros muchos países, se estructura en base a una serie de áreas sanitarias. En Galicia hay 11 (Andión 98). La figura 1 muestra la estructura típica de una de estas áreas. En cada una de ellas suele existir un hospital de referencia (en el caso del área sanitaria de Santiago de Compostela este sería el Complejo Hospitalario Universitario de Santiago), además de algún otro centro hospitalario de menor entidad (el Hospital del Barbanza, siguiendo con el

ejemplo) o especializado en alguna patología (oncología, geriatría,...). Estos hospitales atienden las urgencias, aceptan ingresos de pacientes para diferentes terapias (cirugía, monitorización cardíaca,...) y atienden en muchos casos un servicio de consultas externas especializadas.

Cuando un paciente se siente mal (dolor fuerte de estómago, hinchazón en una pierna,...) suele acudir a su centro de salud, en donde su médico de cabecera le atiende y decide la vía a seguir: medicación, envío al



*Figura 1. Organización funcional típica de un área sanitaria.*

hospital (si es urgente) o al centro de especialidades o ambulatorio, en donde será atendido por un especialista. Desde el ambulatorio el paciente puede asimismo ser remitido al hospital si se estima necesario.

De todos los centros mencionados hasta ahora, el único en el que se puede realizar una monitorización en profundidad del paciente es el hospital; más en concreto, en algunas de sus unidades especializadas, como son las UCCs y UCIs, ya que es en ellas en las que se dispone del equipamiento y el personal adecuado para dicha monitorización.

### **8.2.1 Teleconsulta.**

Cuando un paciente acude a la consulta de su médico de cabecera o al especialista de un centro ambulatorio, es posible que se considere necesaria la valoración del enfermo en un centro hospitalario. En unos casos se tomará esta decisión basándose en la alta cualificación de los profesionales radicados en el centro hospitalario y en otros debido al mejor equipamiento de estos centros (TAC, resonancia magnética,...).

El paciente deberá de acudir entonces al hospital para ser atendido. Esta nueva visita supondrá una considerable pérdida de tiempo y una molestia más para el paciente. Esto es particularmente cierto en el caso de Galicia, que cuenta con una población muy dispersa.

La figura 2 muestra una posible solución para eliminar o mitigar al menos este problema en ciertos casos: el establecimiento de un servicio de teleconsulta entre el centro hospitalario y otros centros de salud o ambulatorios. Mediante este servicio el médico de cabecera podría solicitar la evaluación del paciente por parte de un especialista localizado en el centro hospitalario.

Con el actual desarrollo de la informática y las comunicaciones la base técnica para ello está disponible. En principio es suficiente disponer en el



*Figura 2. Escenario de teleconsulta.*

centro de salud de un ordenador dotado de un simple módem y un módulo de adquisición de datos (electrocardiógrafo, esfignomanómetro, ecógrafo,...). Si además se desea establecer una comunicación visual necesitaremos también una cámara. En el hospital necesitaremos otro ordenador, dotado de buenas capacidades gráficas y también con módem. La línea de comunicación entre ambos equipos podría ser la red telefónica conmutada (RTC) o bien una línea de mayor capacidad, como la RDSI, si se desea transmitir imágenes. El protocolo de comunicaciones debería permitir el establecimiento de canales de transmisión de datos y de audio y/o vídeo separados.

Aunque diversos estudios han puesto de manifiesto el ahorro económico que esta técnica podría suponer tanto en el campo de la teleconsulta como en el de la telemonitorización de pacientes (Shannit

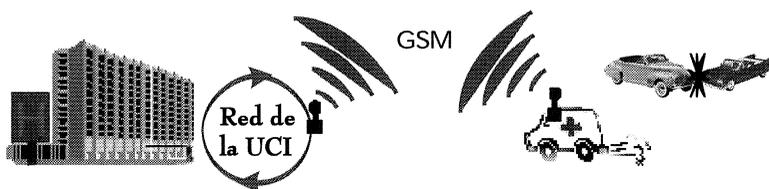
96), todavía no se ha producido una implantación masiva y la mayoría de los sistemas de telemedicina para el seguimiento de pacientes con patologías cardíacas existentes en la actualidad no han pasado de la fase experimental (Fregonara 98, Thanos 98). Entre las razones que hasta ahora han limitado su incorporación a la práctica clínica habitual, estaría la desconfianza que manifiestan algunos gestores estatales y la carencia de médicos comprometidos con las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones.

### **8.2.2 UCI-Móvil.**

Todos conocemos la alta siniestralidad de las carreteras. Supongamos que se produce un accidente en el que haya heridos graves. Según el procedimiento que se sigue actualmente, tras el aviso a los servicios de urgencias acudirá al lugar una ambulancia y/o un helicóptero, que tratarán de evacuar a los accidentados hacia el centro hospitalario más cercano. Aunque hoy en día existen ambulancias medicalizadas, la desconexión entre las mismas y el centro hospitalario es prácticamente total. Estas sólo pueden comunicar por radio la información más relevante acerca del estado del herido para que los equipos necesarios estén listos a la llegada de la misma. Es fácil imaginar las ventajas que supondría que desde el hospital, además de la comunicación por voz, se pudiesen recibir, mientras dura el trayecto, información sobre el ECG y las presiones hemodinámicas del herido. Ello equivaldría a que pudiese comenzar la monitorización del enfermo en la propia ambulancia. Esta

situación es la mostrada en la figura 3. A este escenario le podríamos llamar UCI-móvil.

La monitorización así iniciada no será necesariamente pasiva. El personal



*Figura 3. Escenario de UCI-móvil.*

localizado en la UCI hospitalaria puede indicar al personal de la ambulancia determinadas acciones terapéuticas para mantener o mejorar las constantes vitales del enfermo.

En este caso no podemos recurrir a la RTC y el enlace entre ambulancia y hospital deberá utilizar una señal de radio. Para ello sería válido utilizar el protocolo GSM, que aunque posee un ancho de banda limitado (9600 baudios), resulta suficiente para esta aplicación, siempre y cuando no pretendamos transmitir imágenes en tiempo real.

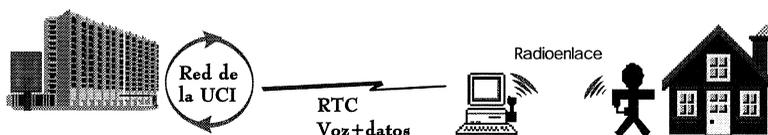
En cuanto al desarrollo de esta vía, todavía se encuentra menos extendida que la teleconsulta. Solamente unos cuantos proyectos de investigación se han ocupado del tema (Silva 98, Giovas 98).

### **8.2.3 El paciente en casa.**

Diversos estudios han puesto de manifiesto el alto coste que supone el mantenimiento de un paciente en una UCC (Brownsell 99), además de la saturación cada vez mayor de dichas salas, debido al aumento de la prevalencia de las enfermedades cardiovasculares, motivada por el modo de vida eminentemente sedentario de las sociedades desarrolladas. Supongamos el caso de un paciente con una dolencia leve, que no exige actuaciones continuas o frecuentes sobre el mismo, pero que se encuentra ingresado en el hospital porque los médicos han creído conveniente realizar una monitorización del mismo (temperatura, presión arterial, nivel de glucosa,...). Si fuese posible tomar y enviar esas medidas al hospital mientras el enfermo permanece en su domicilio, habríamos reducido costes y mejorado la calidad de vida del paciente. Denominaremos a este entorno “monitorización en el hogar”.

La figura 4 muestra un esquema del equipamiento necesario para implementar esta alternativa. La principal novedad respecto a la teleconsulta es la recomendación de que los distintos sensores se comuniquen con el ordenador por radioenlace. Esto facilitaría la movilidad del paciente y permitiría una monitorización continua de su estado. Asimismo, es importante que el manejo del equipo de comunicaciones y la colocación de los distintos sensores sea sencilla e intuitiva, puesto que van a ser manejados por el paciente, sin ayuda externa.

En la actualidad existen algunos sistemas de este tipo en funcionamiento (Bai 96), aunque la mayoría no han superado la fase experimental (Silva 98, Rodríguez 95).



*Figura 3. Escenario de telemonitorización en el hogar.*

Como ejemplo de pacientes para los cuales una situación de este tipo sería beneficiosa, citaremos dos casos. Por un lado los pacientes diabéticos. Con un sistema de este tipo el paciente estaría controlado en todo momento y sería advertido ante cualquier anomalía, permitiéndose la conexión con el centro hospitalario ante cualquier anomalía en su estado. Otro caso interesante es el de los pacientes que necesitan acudir al servicio de diálisis. Recientemente se han comercializado sistemas capaces de realizar la diálisis en la propia casa del paciente. Si además permitiesen la comunicación con el hospital, posiblemente el número de visitas de los pacientes a los mismos disminuiría considerablemente.

### **8.3 TELEMONITORIZACIÓN DE PACIENTES EN UNIDADES DE CUIDADOS CORONARIOS**

La investigación y el desarrollo de sistemas de monitorización de pacientes en UCC ha seguido diversas vías de avance a lo largo de los últimos, destacando dos de ellas: la incorporación de mayor inteligencia a los sistemas de monitorización y la mejoría en el acceso a la información generada por los mismos, tanto en tiempo, como en lugar y forma.

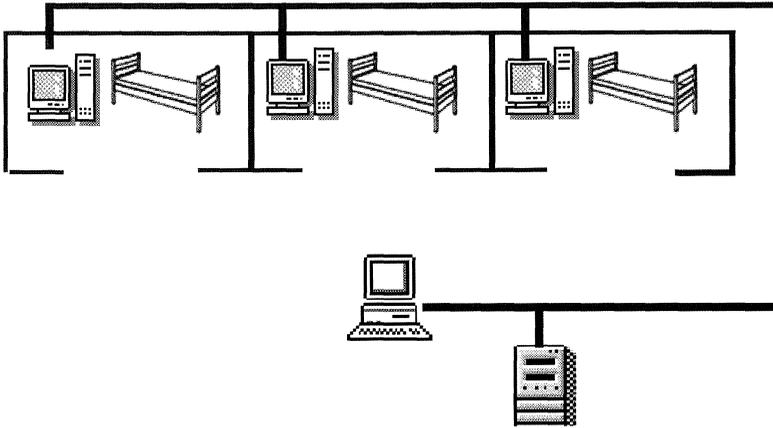
En lo que se refiere al primer aspecto, la creciente disponibilidad y sofisticación de sensores usados para obtener los más variados parámetros y señales de un paciente, así como el aumento de la capacidad de cómputo, de almacenamiento y de representación de la información, da lugar a una situación bastante paradójica: la disponibilidad de más información y más fiable sobre el estado y evolución del paciente siempre es deseable, pero la información necesita ser asimilada y valorada por el personal que ha de atender al paciente, o puede dar lugar a situaciones de hiperinformación. En este sentido, el papel que han de desempeñar los sistemas inteligentes en cuanto al apoyo al personal médico en estas tareas cobra protagonismo a pasos agigantados (Mora 93).

Por otro lado, la evolución que han sufrido los sistemas de monitorización en lo que se refiere a la mejora en la capacidad de almacenamiento de información y en su recuperación y presentación al

usuario, ha sido notable. En este sentido, la evolución y mejora de la interfaz de usuario en los sistemas de monitorización ha sido constante (Ravden y Johnson 89, Treu 94a, Treu 94b), a la vez que se ha tendido al aumento en la conectividad entre equipos. Este último aspecto es tenido en consideración por la práctica totalidad de fabricantes de monitores, que contemplan la posibilidad de conectar sus equipos en una red de área local, permitiendo el almacenamiento de la información generada en un servidor central, según una arquitectura cliente-servidor, de tal modo que la visualización de información de monitorización sobre cualquier paciente se puede realizar desde cualquier sistema conectado a la red.

La figura 5 muestra la organización usual de un entorno de monitorización informatizado en una UCC actual. En ella, cada paciente se sitúa en un cubículo dotado de un módulo de adquisición de datos, al cual se conectan los diferentes sensores, una unidad de procesamiento de la información adquirida y un módulo de visualización que permitirá consultar la información de monitorización presente y pasada. Tal y como hemos comentado, los monitores situados en los distintos cubículos se encuentran conectados mediante una red local, lo que aporta considerables ventajas. Facilita la gestión integral de la información, ya que permite el almacenamiento y recuperación centralizados de cierta información de interés. Por otro lado, posibilita el acceso a la información desde cualquier punto: incluso se puede revisar desde un cubículo la información de un paciente situado en otro cubículo. Además, y ello ha sido muy importante en nuestro caso, permite un acceso cómodo, fiable y en tiempo real a la información

derivada de la monitorización de cualquier paciente.

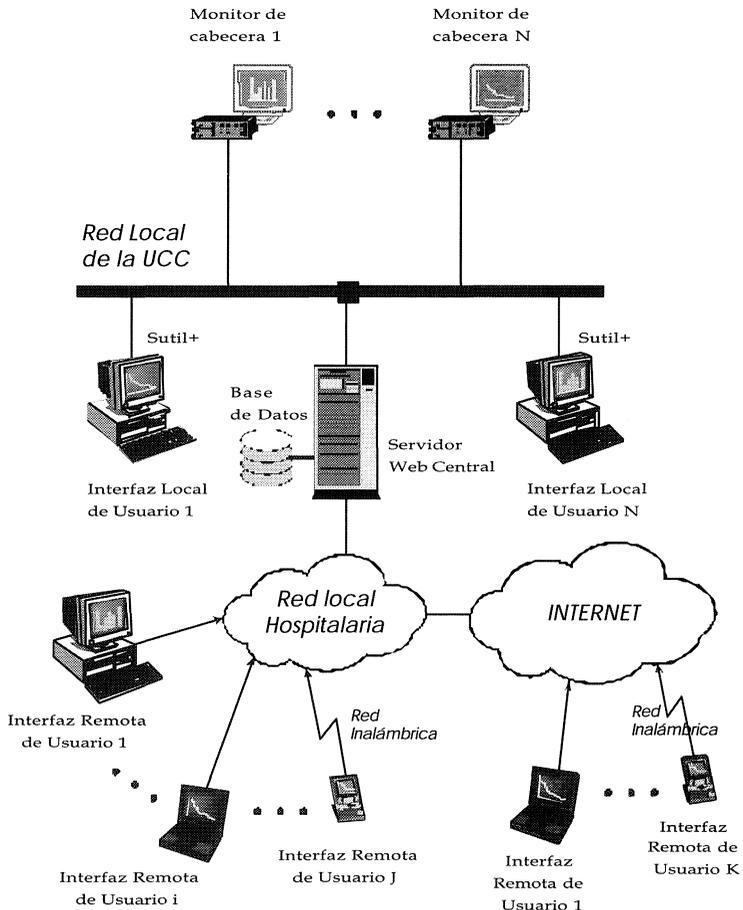


*Figura 3. Organización usual de un entorno de monitorización informatizado en una UCC.*

En lo que resta del capítulo, vamos a proceder a describir un sistema de monitorización inteligente (Sutil+) en desarrollo dentro del Grupo de Sistemas Inteligentes (<http://www-gsi.dec.usc.es>) de la Universidad de Santiago de Compostela (USC). Este sistema trata de avanzar en las dos líneas expuestas, esto es, en aquellos aspectos que pretenden dotar al sistema de un comportamiento más inteligente y en los que se persigue flexibilizar al máximo la presentación de información al usuario. Apenas trataremos la primera de estas líneas, abordada con cierto detalle en otras publicaciones (Vila 97), centrándonos en aspectos propios de la adquisición, el almacenamiento y, sobre todo, la interacción con el usuario.

### 8.3.1 Entorno de monitorización distribuida.

Los distintos sistemas que componen el entorno de monitorización que estamos diseñando son (figura 6):



*Figura 3. Organización de nuestro entorno de monitorización en UCC.*

- *Sistemas de Monitorización Comerciales.* Sutil+ es un sistema de monitorización experimental que debe coexistir con monitores de cabecera comerciales en funcionamiento dentro de la UCC. En concreto, las distintas variables fisiológicas procesadas por Sutil+ se obtienen mediante el diálogo a través de red local entre nuestro sistema y los distintos monitores de cabecera en funcionamiento. Con ello evitamos, por un lado, tener que adquirir directamente las variables fisiológicas del paciente y, al mismo tiempo, conseguimos que nuestro sistema no altere el funcionamiento normal de la UCC. Evidentemente, para que Sutil+ sea capaz de capturar los datos que fluyen a través de la red local de la UCC, es necesario conocer el formato de los mismos y desarrollar el gestor encargado de su adquisición. En el momento actual nuestro sistema es capaz de dialogar con monitores de cabecera de la empresa Marquette (Marquette 95), y esperamos desarrollar en un futuro gestores para el diálogo con otros monitores de cabecera pertenecientes a otras casas comerciales.
- *Sistemas de Monitorización Inteligente (Sutil+).* Su función es la monitorización de alto nivel y el seguimiento del estado de un paciente a lo largo del tiempo. En él se integran diversos módulos software bajo una arquitectura modular y flexible. Este sistema está basado en un ordenador de propósito general capaz de soportar el sistema operativo Unix System V Release 4 (SVR4). En concreto, su funcionamiento ha sido probado tanto sobre ordenadores IBM PC compatibles como sobre estaciones de trabajo Sun, ambos

ejecutando Solaris como sistema operativo -un sistema SVR4 compatible-. También ha sido probado su funcionamiento bajo el sistema operativo Linux, un sistema Unix compatible de elevada aceptación. Los requerimientos mínimos para un sistema de estas características son: procesador Pentium II a 233 MHz, 64 Mbytes de memoria RAM y 4 Gbytes de disco duro. Adicionalmente es recomendable la disponibilidad de una unidad de CDROM y de almacenamiento masivo en cinta.

- *Servidor Web Central*. Es el sistema encargado de centralizar toda la información de monitorización que se genera en la UCC, para su almacenamiento y presentación, sirviendo de nexo de unión con las distintas interfaces de usuario y los sistemas de monitorización activos en cada momento. Para facilitar el acceso a la información, en dicho sistema se encuentra instalado un servidor web que actúa como servidor de información y de aplicaciones. Asimismo, hemos instalado un servidor de Bases de Datos (Oracle 8i) para permitir el almacenamiento de toda la información relacionada con la historia clínica de los pacientes que pasan por la unidad, así como una tarjeta de comunicación inalámbrica con el fin de dar soporte a las interfaces con el usuario que se ejecuten sobre equipos portátiles (PDAs). El sistema operativo de este ordenador es Windows NT y los requerimientos mínimos dependerán del número de posibles clientes que se conecten a él simultáneamente.
- *Módulos de Interfaz de Acceso Integral (IAI)*. Cualquier ordenador

de propósito general, con capacidad de acceso a internet y con un navegador web Java compatible permite acceder a la denominada IAI. A través de la IAI el personal clínico podrá acceder de forma remota a todos los datos asociados al proceso de monitorización de un paciente, así como a otros datos que aparezcan reflejados en su historia clínica. Para ello se hace uso de una aplicación desarrollada en lenguaje Java, que será ejecutada por el navegador web tras conectarse al servidor web central. En este caso los requerimientos mínimos para que un ordenador pueda actuar como IAI son mucho menores que en el caso del equipo destinado a ser sistema de monitorización o servidor web central, pudiendo utilizarse ordenadores tanto de sobremesa como portátiles y con distintas arquitecturas hardware (PCs, Macintosh, estaciones de trabajo, etc.) gracias a la independencia con respecto al hardware que conseguimos al usar Java. Respecto al canal de comunicación utilizado para conectarse al servidor web central (módem, RDSI, etc.), es recomendable un ancho de banda de 28400 baudios o superior, mientras que la resolución gráfica debe ser de 800x600 píxeles o superior.

- *Módulos de Interfaz de Alerta Personal (IAP)*. La IAP es una interfaz con el usuario basada en un ordenador portátil de bolsillo (PDA) y que alerta en todo momento al usuario de cualquier alarma que surja en la UCC. Al tratarse de un dispositivo portátil, cada módulo IAP está equipado con una tarjeta de comunicación inalámbrica para dialogar con el servidor web central, equipo del cual

recibe la información que presenta al usuario. Debido a sus reducidas dimensiones y sus limitaciones en cuanto a potencia de cálculo y memoria, esta interfaz posee restricciones importantes en cuanto a su capacidad para la presentación de información. En cualquier caso, lo más destacable es su papel complementario a la IAI, tal como luego comentaremos con más detalle.

## **8.4 ACCESO REMOTO A LA INFORMACIÓN DE MONITORIZACIÓN.**

Las distintas interfaces con el usuario (clientes) envían paquetes requiriendo información al servidor web central, en donde se encuentra corriendo un proceso que actúa como pasarela, permitiendo únicamente el paso de aquellos paquetes autorizados al interior de la red local de la UCC y dirigiéndolos al sistema de monitorización oportuno en función de la información presente en dicho paquete. Como consecuencia de la recepción de un requerimiento por parte de un sistema de monitorización (un módulo Sutil+), éste es interpretado y resuelto de forma oportuna. Una vez obtenida toda la información requerida, el sistema de monitorización emite un paquete con dicha información al servidor web central, que a su vez lo enviará a la interfaz que haya solicitado dicha información.

La razón de introducir el servidor web central es múltiple. Por un lado, de

esta forma es posible centralizar en un único punto todas las consultas externas a datos provenientes de la UCC. Con ello ganamos en seguridad ante posibles ataques externos, al haber únicamente un sistema que podría ser vulnerable (el servidor web central) y no todos los elementos de la red. Por otro lado, las distintas interfaces de usuario no tienen porque saber qué sistemas de monitorización están activos en el momento de establecer la comunicación y cuál es su dirección IP. En su lugar, dejamos en manos del servidor web central el indicar a qué sistemas de monitorización se pueden conectar las distintas interfaces, encaminando de forma oportuna los paquetes recibidos a cada uno de los sistemas de monitorización activos.

En la actualidad estamos trabajando en la incorporación de una base de datos que permita gestionar y almacenar de forma apropiada gran parte de la información generada en la UCC (señales, alarmas, diagnósticos emitidos, terapias administradas, datos de laboratorio, imágenes, etc.), de tal modo que puedan realizarse consultas a dicha base de datos tanto desde la IAI como de la IAP. De esta forma, ambas interfaces servirán no sólo para recibir información relativa a la monitorización en curso, sino que serán capaces de recuperar aquella información disponible del paciente que sea considerada de utilidad en un momento dado para un usuario remoto del sistema.

Pasamos ahora a centrarnos en aquellos aspectos más propios de la interacción con el usuario, diseñada actualmente entorno a dos vías de interacción, con objetivos prácticamente complementarios: Interfaz de

Acceso Integral (IAI) e Interfaz de Alerta Personal (IAP).

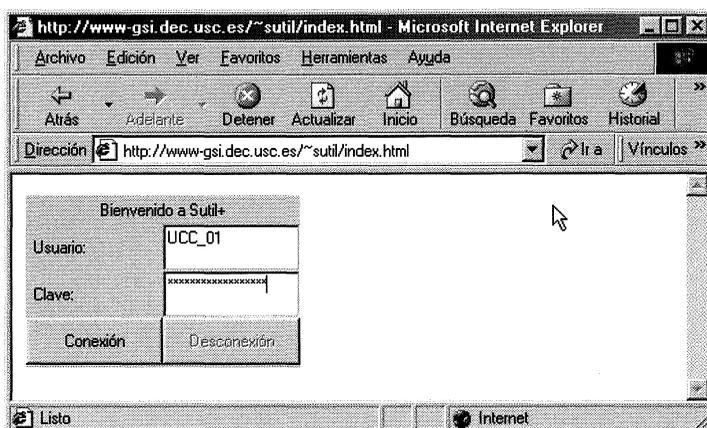
#### **8.4.1 Interfaz de Acceso Integral.**

La Interfaz de Acceso Integral (IAI) se ha desarrollado mediante tecnologías web. Dado el carácter dinámico de la información a presentar (visualización en tiempo real), hemos elegido el entorno Java para el desarrollo de dicha tarea (Horstmann 97, Horstmann 98). La razón que justifica nuestra elección se basa en el hecho de que este tipo de tecnologías son fáciles de utilizar (mediante el uso de un navegador web que soporte Java) y de implantar, debido a que el único software necesario para acceder a la información es el navegador y, en caso de modificar la aplicación, únicamente será necesario modificar la información que reside en el servidor web central.

A continuación vamos a describir el proceso de interacción entre el usuario y nuestro sistema de monitorización a través de la IAI y que consiste básicamente en los siguientes pasos:

- *Fase de identificación ante el sistema.* En esta primera fase el usuario se conecta a través de un navegador web con soporte Java al servidor web central. Como consecuencia de ello se inicia la ejecución de un *applet* (aplicación Java pensada para ser ejecutada en un navegador) y se presenta al usuario un lugar dentro del navegador en el que introducir los datos que lo identifican ante el sistema (figura 7). Una vez introducida la información, ésta es

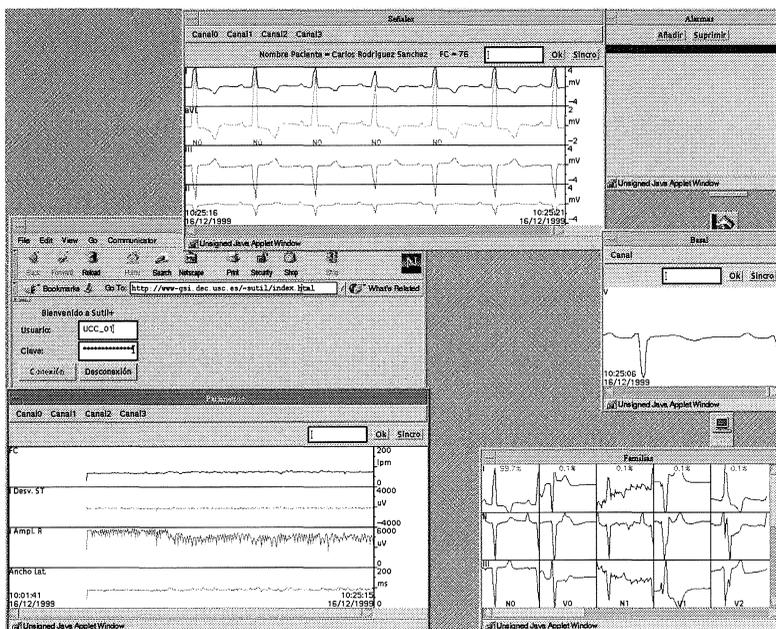
encriptada con el fin de garantizar su privacidad (cabe destacar que tan pronto la base de datos de la UCC esté operativa, cualquier usuario con los permisos pertinentes podrá consultar la historia clínica del paciente, razón por la que hay que extremar la seguridad) y enviada al servidor web central para su validación.



*Figura 3. Fase de identificación en la IAI.*

- *Fase de selección de paciente.* Una vez que el usuario ha entrado en el sistema, se le muestra una lista con los pacientes ingresados en la UCC y que en ese momento están siendo monitorizados. El usuario en esta fase deberá seleccionar de qué paciente desea recibir información. A partir de ese momento se establece un vínculo lógico en el servidor web central entre la interfaz de usuario y el sistema de monitorización.
- *Fase de monitorización.* Una vez que el usuario se ha identificado y

ha seleccionado el paciente que desea observar, se despliegan, de acuerdo con un perfil establecido por el usuario, una serie de ventanas que presentan información relativa al paciente seleccionado (figura 8). Es durante esta fase cuando el usuario tiene acceso a toda la información de monitorización, tanto en tiempo real como a la generada a lo largo del proceso de monitorización del paciente.



*Figura 3. Ejemplo de interacción con el usuario a través de la IAI.*

- **Fase de finalización.** Esta fase es muy similar a la fase de identificación del usuario ante el sistema, en el sentido de que éste

deberá nuevamente identificarse para solicitar la conclusión del proceso de visualización.

Volvamos a la fase de monitorización, para dar una explicación más detallada de la misma. Una vez que el usuario ha seleccionado el paciente que desea monitorizar, se consulta en el servidor web central el perfil de usuario que especifica la información a presentar inicialmente. Por ejemplo, en la figura 8 se muestra una posible configuración de la IAI durante la monitorización de un paciente. En su parte superior central se muestran en tiempo real cuatro señales fisiológicas, seleccionables en todo momento por el usuario dentro del conjunto de señales que están siendo monitorizadas. Dichas señales son adquiridas por Sutil+ mediante un diálogo con el correspondiente monitor de cabecera de la UCC a través de la red local de la unidad. A medida que las señales se van desplazando de derecha a izquierda, se van superponiendo anotaciones derivadas de su procesamiento por parte de Sutil+ (detección y clasificación de latidos y otros eventos significativos, como episodios de isquemia, etc.). Otra ventana mostrada en la figura 8 es la que presenta la evolución temporal de parámetros obtenidos de las señales monitorizadas (parte inferior izquierda). Ejemplos de dichos parámetros pueden ser la frecuencia cardíaca, la altura y anchura de las distintas ondas que componen el latido, la desnivelación del segmento ST o la presión sistólica, diastólica y media de las distintas señales de presión monitorizadas. Todos estos parámetros son extraídos por un módulo software que actúa cada vez que es detectado un nuevo latido.

Otra de las ventanas que aparecen en la figura 8 es aquella que muestra las alarmas acaecidas desde el inicio de la monitorización (parte superior derecha), sobre las que se permite consultar su descripción y cierta información relacionada. Por último, en la parte inferior derecha aparece la ventana encargada de mostrar las distintas morfologías cardíacas acaecidas a lo largo del proceso de monitorización y que dan una idea del número de zonas de activación cardíaca distintas presentes en el corazón del paciente, teniendo una relación directa con la posibilidad de aparición de arritmias ventriculares letales que puedan ocasionar muerte súbita por rotura cardíaca.

En lo que se refiere a la forma de operar de la interfaz con el usuario, debemos indicar que se trata de una interfaz dirigida por eventos. Estos eventos pueden ser consecuencia de la interacción con el usuario (al pulsar éste una tecla o mover el ratón del ordenador), o bien eventos consecuencia de la recepción de información procedente del servidor web central. Básicamente el usuario solicita información enviando requerimientos al servidor web central a través de la interfaz con el usuario y el servidor web central responde a dichos requerimientos enviando la información solicitada.

Debemos discriminar entre requerimientos relativos a la presentación de información en tiempo real y requerimientos relativos a la presentación de información pasada o en diferido. Un requerimiento de información en tiempo real se produce cada vez que la barra de desplazamiento asociada al eje del tiempo de alguna de las ventanas se desplaza a su extremo

derecho. Dicho requerimiento es enviado al servidor web central, de tal modo que cada vez que el servidor web central reciba información en tiempo real de uno de los sistemas de monitorización, consulta si hay alguna interfaz activa apuntando a dicho sistema y, de ser así, qué información en tiempo real esta requiriendo con objeto de enviársela. En dicho caso el servidor web central se encarga de mantener actualizada la información en tiempo real en la interfaz hasta que ésta no se desactive o no entre en un estado de visualización de información en diferido.

Un requerimiento de información en diferido se producirá siempre que un usuario mueva la barra de desplazamiento asociada al eje del tiempo de alguna ventana a otra posición distinta a la de su extremo derecho. Como consecuencia se emite un requerimiento que es recibido por el servidor web central, que a su vez lo transmite al sistema de monitorización correspondiente. El sistema de monitorización realizará la búsqueda de la información requerida, que bien puede estar en memoria o en disco (almacenada en formato MIT (MIT 92)) y responderá al requerimiento pasándole la información al servidor web central, que a su vez lo enviará a la interfaz correspondiente.

Por último cabe comentar que existen otros grupos de investigación y fabricantes que están trabajando en soluciones en la línea que aquí hemos expuesto. A nivel comercial existe al menos un fabricante de equipos de monitorización que dispone de una solución similar a la nuestra. En concreto, nos estamos refiriendo al producto Ultraview Web Source de la empresa SpaceLabs (<http://www.spacelabs.com>). Dicho

producto está también basado en tecnología Java y, al igual que nosotros, permite el acceso a la información tanto en tiempo real como en diferido. No obstante, nuestra propuesta pretende tener un valor añadido que no tiene la anterior solución. Por un lado, nuestra solución es independiente del monitor de cabecera usado, pudiendo adaptarse sin problemas a nuevos equipos sin más que modificar de manera oportuna el gestor de acceso a la información. Por otro lado, durante el desarrollo de nuestro sistema de monitorización hemos hecho especial énfasis en avanzar hacia niveles de competencia en la monitorización del paciente que podamos catalogar de “inteligentes”, algo de lo que adolecen en general los equipos comerciales.

#### **8.4.2 Interfaz de Acceso Personal.**

La IAI, al permitir el acceso remoto, posibilita que el especialista tenga un acceso integral a la información de monitorización de cualquier paciente, aun no encontrándose en la UCC. No obstante, la necesidad de disponer del equipo adecuado y de prestar atención explícita a la información que se presenta, no cubre la función de alertar al personal médico de las eventualidades de importancia que se produzcan en relación con los distintos pacientes monitorizados, al margen de cuál sea la actividad que esté realizando dicho especialista y cual sea su ubicación. Actualmente existen soluciones comerciales basadas en el uso de buscapersonas que inciden en esta línea (Nelwan 97), pero tienen como inconveniente el hecho de que sólo pueden suministrar información alfanumérica y muy

limitada. Recientemente han aparecido soluciones comerciales gráficas en lo que puede ser entendido como una mejora a las prestaciones de un buscapersonas. Nos estamos refiriendo al sistema IMPACT.wf de la empresa Marquette (<http://www.mei.com>). Este sistema es capaz de recibir alarmas en formato texto y, asociadas a cada alarma, dos pantallas a las cuales se puede acceder pulsando un botón y que muestran un segmento de 6 segundos correspondientes a las distintas señales de ECG monitorizadas. Esta solución es muy interesante, si bien adolece de una serie de problemas. El primero, y que creemos muy importante, es que se trata de electrónica no estándar, por lo que el precio de este tipo de dispositivos puede resultar muy elevado. Además, posee grandes limitaciones en cuanto a la resolución en pantalla (100x60 pixeles) y sus capacidades de comunicación. En concreto, este dispositivo es únicamente receptor, disponiendo de una memoria capaz de almacenar las últimas 50 alarmas recibidas. Por lo tanto, el usuario que lleva este dispositivo no puede dialogar con el sistema de monitorización, para, por ejemplo, realizar consultas al respecto de alarmas previas a las que actualmente tiene almacenadas en memoria.

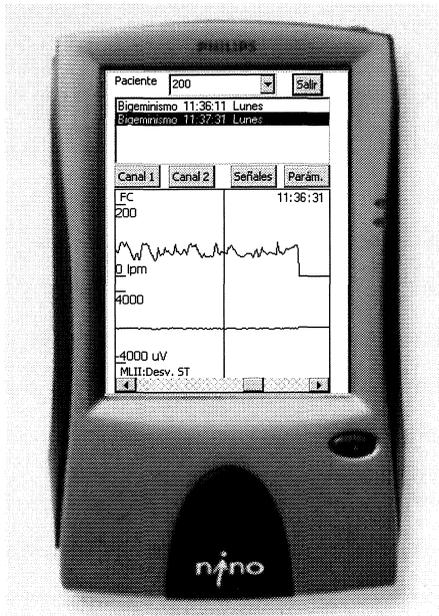
Pensando en incidir en todos los problemas comentados, hemos optado por el uso de un PDA correspondiente a la categoría ‘Palm-size PC’. Dentro de los múltiples tipos de PDAs que existen, hemos optado por uno basado en el sistema operativo WindowsCE de Microsoft. Las razones que nos han movido a elegir un dispositivo de estas características son las siguientes:

- Son dispositivos que pueden ser enmarcados dentro de la categoría de electrónica de consumo, por lo que su precio es reducido y todavía disminuirá más con el tiempo.
- Su tamaño es pequeño, pudiendo llevarlo el usuario consigo en todo momento. No obstante, sus capacidades gráficas son bastante aceptables (el dispositivo por nosotros elegido tiene una resolución de 320x240 pixeles en color), esperando que con el tiempo aparezcan en el mercado soluciones con una mayor resolución. Sus capacidades multimedia son también interesantes, pudiendo recibir y/o transmitir sonido.
- A nivel de comunicación permiten establecer un canal de comunicación bidireccional. Dicho canal puede establecerse de múltiples formas: mediante la conexión directa entre el PDA y el ordenador con el que se establecerá el diálogo o bien a través de un módem. La reciente aparición de dispositivos de estas características en los que se han integrado capacidades de comunicación inalámbrica hace de estos equipos la elección idónea para solucionar el problema que nos hemos planteado.
- Las herramientas de desarrollo de aplicaciones para este tipo de dispositivos son las mismas que las usadas para desarrollar aplicaciones bajo Windows98/WindowsNT, lo que reduce significativamente el tiempo de desarrollo si se está familiarizado con dichas herramientas.

La forma en la que opera la IAP es muy similar a la IAI, salvo por el hecho de que la información que recibe se limita únicamente a aquella asociada con la ocurrencia de alarmas, no permitiendo la visualización de señal o parámetros en tiempo real. Cuando ocurre una alarma, junto con la notificación de su ocurrencia se envían los últimos 20 segundos y los últimos 20 minutos, previos a la ocurrencia de la alarma, correspondientes, respectivamente, a dos señales y dos parámetros, concretamente aquellos identificados en el perfil de usuario. En todo caso, el usuario podrá requerir cualquier otra señal o parámetro dentro del conjunto disponible.

En todo momento el usuario tiene acceso a las alarmas que han ocurrido previamente, de forma que cuando selecciona una de ellas se produce un requerimiento con el objeto de mostrar la información correspondiente a la misma junto con las señales y parámetros asociados. En este caso se envía una ventana temporal de 30 segundos en el caso de señales (20 segundos antes de la ocurrencia de la alarma y 10 segundos después de la misma) y de 30 minutos en el caso de parámetros (20 minutos antes de la ocurrencia de la alarma y 10 minutos después de la misma).

A modo de ejemplo de la Interfaz de Alerta Personal, en la figura 9 se muestra la consulta de un segmento de parámetros asociados a una alarma (frecuencia cardíaca y desnivelación del segmento ST en una de las derivaciones monitorizadas).



*Figura 3. Ejemplo de interacción con el usuario a través de la IAP.*

## **8.5 LÍNEAS DE AVANCE**

El sistema descrito en este trabajo se encuentra operativo como sistema experimental en el Hospital General de Elche (Alicante, España), participante en el desarrollo del mismo, conectado a la red de monitores de cabecera de Marquette que se encuentra instalada en su UCC.

A pesar del carácter experimental del sistema, tanto la IAI como la IAP están siendo usadas con frecuencia por el personal de la UCC de dicho

hospital y los comentarios vertidos por sus usuarios son muy esperanzadores de cara a un posible uso rutinario del sistema una vez que éste se haya completado adecuadamente.

Como futuras líneas de avance nos planteamos la mejora de las prestaciones y posibilidades del sistema, tanto en lo que se refiere a aspectos de monitorización inteligente como de telemonitorización. Puesto que en el presente trabajo nos hemos centrado fundamentalmente en aspectos de telemonitorización, hablaremos de las futuras líneas de avance de nuestro sistema en ese campo.

Desde el punto de vista de la telemonitorización de pacientes, consideramos muy importante la incorporación a nuestro sistema de una base de datos que centralice aquellos datos asociados a la historia clínica de los pacientes que pasan por la UCC. En dicha base de datos no se almacenarán las distintas señales monitorizadas (su tamaño es excesivo), sino que fundamentalmente se depositarán en la misma diagramas de tendencias correspondientes a parámetros extraídos de dichas señales así como aquellos datos asociados a la ocurrencia de alarmas (tipo de alarma generada, segmentos de señales y parámetros seleccionados en un entorno temporal próximo al instante de aparición de la alarma, anotaciones realizadas por el personal de la UCC, etc.). Asimismo, pretendemos almacenar toda la información asociada a la historia clínica del paciente, esto es, diagnósticos emitidos, terapias administradas, datos procedentes de otras unidades hospitalarias (radiología, laboratorio,...), etc. Toda esa información será accesible tanto

a través de la IAI como de la IAP, introduciendo para ello nuevos elementos de diálogo con el usuario en dichas interfaces.

En segundo lugar, consideramos muy interesante el brindar la posibilidad al personal de la UCC de monitorizar no solo a aquellos pacientes ingresados en la misma, sino a otros pacientes que puedan encontrarse en otras dependencias hospitalarias, otros centros de salud, o incluso en su propia casa. Una de las principales razones que justifican la introducción de equipos de telemedicina, aparte de permitir mejorar la calidad asistencial, es la reducción en el coste de la asistencia sanitaria prestada. La simple disminución en un único día de la estancia media de un paciente en el hospital o la reducción en un 2% del número de personas tratadas directamente en el centro hospitalario, pueden dar lugar a ahorros tan significativos que hagan posible el plantearse una implantación masiva de equipos de telemonitorización de pacientes (Brownsell 99). Desde ese punto de vista, tenemos previsto desarrollar una versión de nuestro sistema de monitorización apto para ser instalado en otras dependencias distintas a las de la UCC, de forma que transmita periódicamente al servidor web central aquella información que condense la evolución del paciente (usando para ello internet y una conexión vía telefónica, por ejemplo) y de forma inmediata cualquier alarma significativa. El personal clínico se conectará al servidor web central a través de la IAI o de la IAP y podrá consultar la información disponible de los pacientes remotos monitorizados, pudiendo decidir su traslado a la UCC o la administración de una determinada terapia.

## 8.6 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la CICYT y la Xunta de Galicia con los proyectos 1FD97-0813, XUGA 20602A97 y PGIDT99PXI20601B.

## 8.7 BIBLIOGRAFIA

Stallman, F.W., y Pipberger H.V. (1961): Automatic recognition of electrocardiographic waves by digital computer. *Circulation Research*, 9 1138-1961.

Caceres, C.A. (1965): *Bio-medical telemetry*. Academic Press, New York.

Zhang Y., Bai J., Zhou X. y otros (1997). First trial of home ECG and blood pressure telemonitoring system in Macau. *Telemedicine Journal* 3(1) 67-72.

Andión E., Blanco C. y Carballeira C. (1998): Memoria Sergas. Cap.2 Ordenación sanitaria territorial de Galicia. Publicado en Internet: [http://www.sergas.es/sergas/memoria/CAP\\_2.pdf](http://www.sergas.es/sergas/memoria/CAP_2.pdf)

Shanit D., Cheng A. y Greenbaum R.A. (1996): Telecardiology: supporting the decision-making process in general practice. *J. of Telemedicine and Telecare* 2 7-13.

Fregonara M. y Frumento E. (1998): On-field evaluation of CAROLIN: an italian teleconsulting cardiology application: early results. En *Computers in Cardiology* 217-220. Cleveland, 1998.

Thanos A., Economakos G. Papakonstantinou G. y otros (1998): An open system for ECG telemedicine and telecare. En *Computers in Cardiology* 209-212. Cleveland, 1998.

Silva J.P., Pereira A., Sousa A. y otros (1998): Telecardio – a multimedia telecardiology system. En Wootton R. (Ed.) *Proc. of the Telemed'98. Sixth Conference on Telemedicine and Telecare*. Londres, 1998.

Giovas P., Papadoyanis D., Thomakos D. y otros (1998): Transmission of electrocardiograms from a moving ambulance. *J. of Telemedicine and Telecare* 4(suplemento 1) 5-7.

Brownsell S.J., Williams G., Bradley D.A. y otros (1999): Future systems for remote health care. *J. of Telemedicine and Telecare* 5 141-152.

Bai J., Zhang Y., Dai B. y otros (1996): The design and preliminary evaluation of a home electrocardiography and blood pressure monitoring network. *J. of Telemedicine and Telecare* 2 100-106.

Rodríguez M.J., Arredondo M.T., Del Pozo F. y otros (1995): A home telecare management system. *J. of Telemedicine and telecare* 1 86-94.

Mora F.A., Passariello G., Carrault G. y le Pichon J.P. (1993): Intelligent patient monitoring and management systems: a review. *IEEE Eng. Med. & Biol. Magaz.* 12 (4) 23-33.

Ravden S.J. y Johnson G.I. (1989): *Evaluating usability of human-computer interfaces: a practical method*. Ellis Hoorwold Limited, Chichester, West Sussex, UK.

Treu S. (1994a): *User interface design: a structured approach*. Plenum Press, New York.

Treu S. (1994b): *User interface evaluation: a structured approach*. Plenum Press, New York.

Vila J., Presedo J., Delgado M., Barro S., Ruiz R. y Palacios F. (1997): Sutil: intelligent ischemia monitoring system. *Int. J. Medical Informatics* 47 193-214.

Marquette (1995): *Solar 7000/8000 patient monitor. Operator's manual*. Marquette Electronics Inc.

Horstmann C.S. y Cornell G. (1997): *Core Java. Volume I – Fundamentals*. Prentice Hall Java Series.

Horstmann C.S. y Cornell G. (1998): *Core Java. Volume II – Advanced features*. Prentice Hall Java Series.

MIT (1992): *The MIT-BIH arrhythmia database CDROM (second edition)*. Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology. <http://ecg.mit.edu>.

Nelwan S., Meij S., Fuchs K. y van Dam T. (1997): Ubiquitous access to real-time patient monitoring data. *Computers in Cardiology* 24 271-274.