



## CARMEN: UN PROYECTO INTERNACIONAL DE TELEMEDICINA

*Pedro López, David Rincón*  
*plopez@mat.upc.es, drincon@mat.upc.es*  
*Departamento de Ingeniería telemática*  
*Universitat Politècnica de Catalunya*  
*Barcelona, España*

### INTRODUCCIÓN

La telemedicina no es un concepto nuevo; médicos y profesionales de la salud han utilizado durante años el teléfono como una alternativa para prestar sus servicios. Sin embargo, ha sido durante estos últimos años, en los que se ha experimentado un espectacular desarrollo de las Tecnologías de la Información, en los que el término “telemedicina” ha cobrado una especial relevancia. No en vano, este es sin duda uno de los campos más interesantes y con más proyección de futuro dentro de las aplicaciones de la telemática.

Este artículo pretende describir el proceso de diseño e implantación del proyecto de telemedicina CARMEN (*Co-operative Application for Remote Medical consultatioN*), enmarcado en el programa TeleRegions de la Unión Europea y desarrollado conjuntamente por universidades y centros de investigación de Catalunya (España) y Lombardía (Italia). Dicho proyecto, orientado básicamente a la especialidad de cardiología, pretende proporcionar a los profesionales de la salud una herramienta potente que les ayude en el proceso de diagnóstico y consulta, así como en la gestión y transmisión de los datos clínicos de los pacientes entre hospitales alejados geográficamente.

El artículo ha sido estructurado en diversos apartados. El primero de ellos introducirá al lector en el marco de la telemedicina, haciendo especial hincapié en los objetivos que dicha disciplina persigue y en las mejoras que la telemática puede introducir en el proceso de diagnóstico. Se pasará a continuación a reseñar la funcionalidad típica de una aplicación de telecardiología. Seguidamente se describirá la historia del proyecto CARMEN, analizando experiencias previas en el campo de la telecardiología y la teleradiología y definiendo las metas que persigue. Continuaremos con una descripción del interfaz gráfico de usuario y las funcionalidades más destacables de CARMEN. Comentaremos también algunos resultados de las primeras experiencias reales de uso de la aplicación, con datos sobre la influencia de la herramienta en el trabajo diario de los cardiólogos. El artículo finalizará con los planes de despliegue de la aplicación en dos redes de hospitales denominadas CARDNET, tanto en Catalunya como en Lombardía.

### ¿QUÉ ES LA TELEMEDICINA?

La calidad de vida de los ciudadanos viene determinada por una serie de factores, entre los cuales el nivel de asistencia médica es un factor de la máxima importancia, por lo que el objetivo prioritario del sistema sanitario es mejorar la cantidad y, sobre todo, la calidad de los servicios ofrecidos. En la tarea de mejorar este segundo aspecto, no cabe ninguna duda de que las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), tan en auge estos últimos años, constituyen una poderosa herramienta.

Dentro de este contexto, surge el concepto de telemedicina, del cual se puede proporcionar la siguiente definición: “*la investigación, monitorización y tratamiento de pacientes, y la educación de éstos y del personal sanitario, utilizando sistemas que permitan un acceso inmediato al conocimiento experto y a la información de los pacientes, independientemente de la ubicación física de éstos y de la localización de dicha información*” [SAN95].

Por lo tanto, el objetivo primordial de esta disciplina es proporcionar un servicio de salud mejor y más barato mediante la utilización de las tecnologías de la información. La **mejora económica** se consigue al eliminar los costes derivados de los desplazamientos tanto del médico como del paciente, mientras que la **mejora en el servicio** se obtiene al facilitar la consulta de determinadas enfermedades con expertos especializados en la materia.

La gran eclosión que ha experimentado en los últimos años la telemática en general, y la telemedicina en particular, ha permitido establecer dos grandes clasificaciones de los sistemas de esta especialidad: una primera clasificación que distingue el tipo de funcionalidad proporcionado (teleconsulta, teleradiológico) y otra que incide sobre el campo de aplicación (telecardiología, teleradiología, telepsiquiatría, etc.) [RIN96].

La primera clasificación discrimina las aplicaciones telemáticas según el tipo de facilidades que proporcionan. De esta forma podemos distinguir en primer lugar los programas o las aplicaciones de **teleconsulta**, también llamadas de “diagnóstico cooperativo”. Dichas aplicaciones permiten a un médico situado geográficamente próximo al paciente efectuar consultas con otros médicos, mucho más especializados en la enfermedad del paciente en cuestión pero situados a gran distancia, con el fin

de comparar y contrastar opiniones sobre el diagnóstico. El proceso de teleconsulta puede ser o no interactivo, dependiendo de si el diagnóstico se elabora de forma simultánea y coordinada por los dos médicos, o bien se elabora de manera secuencial, estableciendo turnos entre ambos doctores e intercambiando sus resultados. Si el proceso es interactivo, será necesario establecer enlaces de comunicaciones capaces de transmitir imágenes, voz y datos (incluso vídeo a ser posible) entre los dos participantes. Si la interactividad no es necesaria, el proceso se puede realizar mediante correo electrónico.

En el caso en el que el diagnóstico de la patología es realizado únicamente por el doctor que se halla lejos del paciente, se puede hablar de **telediagnóstico**. En un escenario de estas características, el paciente se sitúa en un consultorio virtual, rodeado de máquinas y equipos de telecomunicación que transmiten información (imágenes, sonidos y datos médicos) en tiempo real hacia el médico, situado a gran distancia. Generalmente los sistemas de telediagnóstico requerirán un ancho de banda mayor que el requerido por los sistemas de teleconsulta ya que el volumen de la información a transmitir es mayor, y éste debe llegar al doctor rápidamente y sin pérdidas para posibilitar el proceso de diagnóstico. Se debe resaltar en este punto que teleconsulta y telediagnóstico son dos conceptos íntimamente relacionados y que la barrera entre ambos es francamente difusa: frecuentemente se utiliza un término por el otro.

La segunda clasificación de las aplicaciones de telemedicina concierne el campo o la especialidad en la que éstas van a ser utilizadas; por lo tanto, se pueden acuñar tantos términos como disciplinas médicas existen. Se puede pues hablar así de Telecardiología, Teleradiología, Telepsiquiatría, Teleoftalmología, Teleendoscopia, Telepatología, Teledermatología, etc. Cabe mencionar que tanto los requerimientos de ancho de banda como el modo de utilizar el mismo variarán considerablemente según la disciplina. Las aplicaciones pueden necesitar audio y vídeo bidireccional durante periodos prolongados de tiempo, y en consecuencia un gran ancho de banda, en el caso de la Telepsiquiatría. Los programas podrían requerir alternativamente la transmisión y almacenamiento de grandes volúmenes de datos en forma de imágenes fijas de muy alta resolución en el caso de la Teleradiología, o de secuencias de vídeo de resolución moderada en Telecardiología. Dichas transmisiones pueden realizarse a una velocidad menor ya que no existe el imperativo de transmitir la información en tiempo real.

## ¿QUÉ PUEDE APORTAR LA TELEMÁTICA A LA MEDICINA?

La medicina ha experimentado una evolución tecnológica espectacular en la última década. Hoy en día existen equipamientos médicos electrónicos muy sofisticados y altamente computerizados que ayudan a los profesionales de la salud a detectar, prevenir y curar graves enfermedades de sus pacientes. Algunos de dichos sistemas posibilitan la adquisición y el tratamiento avanzado de imágenes: la Resonancia Magnética Nuclear (RMN), la Tomografía Axial Computerizada (TAC) y

la Tomografía por Emisión de Positrones (TEP) son algunos ejemplos de dichos sistemas.

La utilización de tales equipos ha contribuido sin duda a salvar muchas vidas y prevenir graves dolencias, pero la realidad dista mucho de ser ideal y no toda la población tiene acceso inmediato a todos estos servicios. En efecto, estos sistemas médicos exigen una considerable inversión de dinero y conllevan una importante dificultad de operación. Por estos motivos, tienden a concentrarse en un conjunto muy reducido de grandes hospitales, habitualmente situados en las grandes ciudades, y actúan a su vez como un polo de atracción para los médicos especialistas. Por lo tanto, se tiende de forma natural a un marco de concentración de recursos técnicos y humanos. Tal situación provoca que los enfermos que viven en zonas rurales o alejados de las grandes capitales se vean obligados a desplazarse hacia las grandes metrópolis para resolver las consultas que no pueden ser solucionadas por sus médicos de cabecera, con los consiguientes retardos y costes de desplazamiento.

La telemedicina juega su papel en un escenario como el que acaba de ser descrito, ayudando a atenuar los efectos de la concentración de expertos y medios. El paciente es ahora atendido, en primera instancia, por su médico de cabecera en el Centro de Atención Primaria (CAP) más próximo a su lugar de residencia. Cuando, dada la gravedad del caso, el médico de medicina general lo juzgue oportuno, establecerá comunicación con el especialista que se encuentra en uno de los grandes hospitales; se llevará entonces a cabo un proceso de teleconsulta o de telediagnóstico con el fin último de evitar el desplazamiento del enfermo y los costes asociados.

A continuación se va a detallar cómo la aplicación de la telemática en el campo de la Medicina ayuda a paliar los efectos de la concentración geográfica de expertos y medios; en concreto, se detallará el caso de la cardiología y del Sistema Público de Salud catalán e italiano. De todos modos, dicho ejemplo se puede extrapolar perfectamente a otras especialidades médicas y a otras regiones de Europa.

Las instituciones sanitarias pueden clasificarse en tres categorías diferenciadas, según el tipo y la cantidad de equipamientos médicos de los que disponen. Así, los hospitales del Sistema Público de Salud se dividen en tres niveles [VAL97]:

· Hospitales primarios o Centros de Atención Primaria: disponen de un equipamiento cardiológico limitado.

· Hospitales secundarios u hospitales de tamaño medio: incluyen un departamento de cardiología, y están equipados para realizar angiografías, pero no disponen de las facilidades quirúrgicas necesarias para intervenir.

· Hospitales terciarios o grandes hospitales: son hospitales situados generalmente en las grandes ciudades, que disponen del equipamiento necesario para cirugía coronaria y pueden realizar angioplastias. Son los hospitales de referencia para el resto de centros del Sistema Público de Salud.



El procedimiento clásico de diagnóstico en cardiología pasa típicamente por diferentes fases, que se detallan a continuación [RIN99]:

- **Sospecha:** el médico de cabecera intuye en primera instancia la existencia de una enfermedad determinada.

- **Comprobación:** se realizan pruebas cardiológicas en el hospital primario para corroborar la sospecha del médico de cabecera.

- **Verificación:** el paciente se desplaza al hospital secundario donde se le practica una angiografía<sup>1</sup> que ayude a determinar el origen de su dolencia. El soporte físico utilizado suele ser una cinta de video.

- **Consulta:** si se confirma la gravedad del caso, el paciente se desplaza al hospital terciario, donde el especialista cirujano del corazón le examina y decide una posible intervención.

- **Terapia:** si se juzga necesario, se interviene al paciente en el hospital terciario.

El proceso típico es muy costoso, tanto desde el punto de vista económico (desplazamientos continuos del paciente), como temporal (el proceso puede necesitar un tiempo literalmente vital para el paciente, durante el cual la dolencia puede agravarse dramáticamente). Los costes pueden disminuirse enviando únicamente las cintas de video entre los hospitales secundario y terciario, lo que evita algún desplazamiento del paciente, pero el conjunto del proceso sigue siendo lento y costoso.

¿Qué puede hacer la telemática en este escenario? El proceso del envío de cintas de video puede ser eliminado enviando por red la información que contienen, siempre y cuando los hospitales dispongan de la infraestructura de comunicaciones necesaria. El proceso de transmisión de la información resulta entonces mucho más ágil. Además, las herramientas telemáticas permiten el establecimiento de **sesiones cooperativas de diagnóstico** entre dos o más facultativos. Durante las sesiones interactivas de teleconsulta, médico y especialista contrastarán sus opiniones. Estas sesiones tienen como objetivo

principalmente evitar el traslado del paciente desde el hospital secundario al hospital terciario para ser visitado por el especialista en hemodinámica. Ahora la fase de consulta se realiza mediante herramientas informáticas y redes de comunicación interhospitalarias (teleconsulta). El traslado del paciente al centro quirúrgico queda relegado únicamente a los casos de extrema gravedad en los que la intervención sea absolutamente necesaria. Y, por supuesto, el proceso global se acelera en gran medida, ya que las transmisiones son mucho más rápidas que los viajes del paciente o de las cintas de video que contienen las angiografías.



**Figura 2:** El proceso de envío de la secuencia de video entre hospitales remotos era un proceso costoso antes de la utilización de redes telemáticas.

En definitiva, la telemática ayuda a reducir tiempos y costes, y facilita el acceso al conocimiento experto, logrando una mejora en la calidad de los servicios de salud. Se consiguen evitar muchos desplazamientos de los pacientes, así como ahorrar cantidades importantes de recursos y, sobre todo, minimizar un tiempo que puede salvar la vida del enfermo.

## CARACTERÍSTICAS DE UNA APLICACIÓN DE TELEMEDICINA

A continuación se mencionarán algunas de los puntos más importantes que hay que tener en mente a la hora de diseñar una aplicación de telemedicina. Dedicaremos especial atención a las cuestiones relacionadas con la cardiología.

### El problema del volumen de la información

Las secuencias de video utilizadas en cardiología pueden ser relativamente largas, llegando incluso a varios minutos de duración. Esto plantea un grave problema para la transmisión de las mismas, debido al gran tamaño de los ficheros implicados.

<sup>1</sup> Una angiografía es una secuencia de video compuesta por imágenes de los vasos coronarios y del corazón. A partir de estas secuencias los cardiólogos pueden detectar problemas como lesiones del músculo coronario u obstrucciones en arterias, entre otras.



**Figura 1:** Proceso clásico de diagnóstico y tratamiento en cardiología.

Sirva de ejemplo el siguiente cálculo: una secuencia de 30 segundos de duración, 25 imágenes por segundo,  $512 \times 512$  *pixels* por imagen y 8 bits por *pixel* (256 niveles de gris) lleva a un fichero de casi 200 Mbytes de volumen. Si queremos implementar un sistema de telemedicina de uso masivo, con cientos de miles de usuarios potenciales, estas cifras son astronómicas, tanto para su almacenamiento como para la transmisión.



**Figura 3:** La utilización de redes telemáticas acelera el proceso de envío de la secuencia de video ya que se prescinde del soporte físico.

Esto conduce a una clara conclusión: se requerirá un proceso de **edición** de la imagen así como un algoritmo de **compresión** de la misma, previos a la transmisión. La edición será llevada a cabo por los cardiólogos que deberán discriminar los fragmentos útiles de la secuencia, pero la compresión puede realizarse de forma totalmente transparente al usuario, justo antes de llevarse a cabo la transferencia. Se conseguirá así reducir el tiempo y los costes asociados al envío de secuencias entre hospitales remotos.

La introducción de algoritmos de compresión en imágenes médicas no es un tema trivial, ya que aparecen aspectos legales relacionados con la calidad de las mismas. Si se exige una compresión sin pérdidas (*lossless*), se alcanzarán relaciones de compresión de 2:1 o como mucho de 4:1. Este es el caso de la teleradiología, donde las imágenes de alta resolución no admiten ningún tipo de pérdidas. El algoritmo JPEG dispone de un modo sin pérdidas que es adecuado para estas situaciones. Si, en cambio, toleramos unas pérdidas que mantengan la calidad subjetiva de la imagen, podemos llegar a compresiones de 10:1 o incluso 20:1. En caso de que las imágenes sean en movimiento, se pueden utilizar algoritmos basados en la predicción y compensación del movimiento, como M-JPEG, MPEG-1 o MPEG-2. La telecardiología bascula entre las dos situaciones, ya que la información se encuentra en el movimiento del corazón, pero también en el análisis de las imágenes de los vasos coronarios.

Por otra parte, el gran volumen de información asociada a un examen impide que sea utilizada "en directo"; es decir, que la secuencia de vídeo sea transmitida a todas y cada una de las estaciones durante la sesión de teleconsulta, ya que esto implicaría unas velocidades de algunos megabits por segundo. En el

ejemplo presentado anteriormente (25 imágenes por segundo,  $512 \times 512$  *pixels* por imagen y 8 bits por *pixel*) obtenemos un flujo de más de 50 Mbit/s. Con algoritmos como los de la familia MPEG se podría comprimir hasta unas velocidades de entre 1 y 5 Mbit/s, pero aún así es poco realista suponer que se va a disponer de enlaces de estas capacidades. Por ello se impone el uso de una técnica que consiste en hacer una transmisión previa, a velocidades menores, antes de operar sobre el examen. Habitualmente esta transferencia se lleva a cabo durante la noche, cuando hay menos tráfico y las tarifas son reducidas. Por tanto, durante la teleconsulta las estaciones actúan sobre las copias locales de la secuencia, y la única información intercambiada son las acciones que se ejecutan sobre el examen (incluir una anotación, iniciar la reproducción, hacer pausas, etc). Esta técnica minimiza enormemente las necesidades de ancho de banda, si bien imposibilita que el sistema sea utilizado en urgencias.

### El formato de la información

Un tema importante es decidir cuál será el formato de la información a transmitir. Nos estamos refiriendo no sólo al algoritmo de compresión utilizado, sino a las estructuras de datos que contendrán la información relacionada con el paciente y el diagnóstico, aparte de las imágenes.

Se deberá escoger un estándar internacional, con suficiente implantación como para esperar que cualquier máquina moderna de exploración (TAC, RMN, TEP) disponga de una salida de datos en ese formato. Así mismo, convendría que el formato permitiera la integración de la aplicación de teleconsulta y de los sistemas de almacenamiento del hospital. Finalmente debe ser flexible, moderno y apoyado por los fabricantes de equipos médicos y la industria informática.

El único estándar que cumple todos estos requisitos es **DICOM** (*Digital Imaging and COmmunications in Medicine*), desarrollado por el ACR (*American College of Radiology*) y el NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*). DICOM integra los aspectos de almacenamiento y comunicaciones. Está estructurado según la filosofía de programación **orientada a objetos**. Respecto a las comunicaciones sigue las directrices del modelo de referencia OSI (*Open System Interconnecton*) de la ISO (*International Standards Organization*), un estándar de comunicaciones mundialmente aceptado que define un modelo de protocolo en 7 capas. DICOM recae sobre la séptima capa (nivel de aplicación).

El objetivo final de DICOM es permitir interoperabilidad (no sólo interconexión) entre los equipos de diferentes fabricantes, definiendo objetos con información explícita sobre imágenes, estudios, informes, pacientes, etcétera.

### La red de acceso

El siguiente problema es: ¿qué tipo de red se necesita para desplegar el sistema en todo el territorio cubierto

por el Sistema Público de Salud? Estos son los requisitos [RIN99]:

- Se necesita una red con una penetración alta, para llegar a todos los centros primarios.
- El ancho de banda debe ser suficiente como para permitir una transmisión rápida de los estudios.
- Si se quiere que la teleconsulta sea realmente interactiva, es necesario disponer de capacidad para establecer canales de audio y vídeo que acompañen a los datos médicos.
- Es importante que el precio del despliegue sea asumible por la Administración. Debemos tener en cuenta las redes disponibles: no es razonable desplegar infraestructuras de comunicaciones desde cero.

De entre las redes de acceso que se están utilizando hoy en día, sólo las basadas en el aprovechamiento del bucle de abonado telefónico son adecuadas, ya que nos ofrece una penetración de casi el 100% del territorio y ya está instalado (lo que permite minimizar el gasto de despliegue). Sin embargo, el problema es su escaso ancho de banda, lo que redundará en tiempos de transmisión largos y en mermas de la calidad de la videoconferencia durante la sesión de teleconsulta.

Tres son las tecnologías que usan el bucle de abonado: los módems telefónicos (sería V de la ITU-T), la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) de banda estrecha, y las redes ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line). Sólo los dos últimos ofrecen un ancho de banda suficiente como para permitir una transmisión rápida, y entre ellos RDSI es una tecnología completamente desplegada y probada, característica importante si se quiere implantar un sistema fiable (tal como debe ser la telemedicina). Las líneas xDSL son una posibilidad de futuro, cuando la tecnología haya madurado. Otras posibilidades como las redes de cable HFC, o las inalámbricas LMDS y MMDS sufren de los mismos problemas: no están desplegadas a fecha de hoy, y no han sido suficientemente probadas.

Portanto, la mejor elección para las comunicaciones entre los hospitales de referencia y los centros primarios es RDSI. Dado que la transmisión de los estudios podría bloquear la línea durante algunas horas, es recomendable que las transmisiones se realicen durante la noche, aprovechando también el menor coste de las llamadas. Esto exigirá que la aplicación de telemedicina prevea la programación de transmisiones y mecanismos automáticos de transferencia que se disparen cuando llegue la hora adecuada.

Respecto a las comunicaciones entre los hospitales de referencia, o entre los secundarios y estos, lo más recomendable es el uso de redes del tipo MAN, con poca penetración territorial (suelen encontrarse en las áreas metropolitanas de las grandes ciudades, como la ya citada *Anella Científica* de Barcelona), pero disponen de un gran ancho de banda. Esto permitiría transmisiones a alta velocidad de gran cantidad de estudios, así como teleconsultas plenamente interactivas. Como veremos más adelante, la aplicación CARMEN ha sido diseñada para utilizar indistintamente RDSI y redes MAN.

## Seguridad

Cualquier aplicación moderna de telemedicina debe prever los aspectos relacionados con la seguridad de la información médica que se está transmitiendo entre hospitales. Concretamente, hay que proporcionar las siguientes características:

· *Confidencialidad*: También llamada *privacidad*, es probablemente el concepto más común en criptografía. Se refiere a que la información (informes e historiales médicos) no pueda ser leída por personas no autorizadas. Se consigue mediante claves y algoritmos de cifrado: solo las personas conocedoras de las claves podrán acceder a la información en claro. En Medicina, la *confidencialidad* de los datos debe ser garantizada por motivos legales y de secreto profesional.

· *Integridad*: este concepto se refiere a que la información no pueda ser alterada maliciosamente durante la vida de la misma. Ninguna persona no autorizada debe poder manipular dicha información, al menos sin que las modificaciones pasen desapercibidas. La *integridad* se garantiza mediante funciones de *checksum* o bien mediante funciones de *hash*. De nuevo, hay que destacar la importancia de la *integridad* de los datos en el campo sanitario.

· *Autenticidad*: relacionada con la autoría de la información, la *autenticidad* es una característica de los sistemas de seguridad que pretende garantizar que el autor de un documento es, efectivamente, quien dice ser. La *autenticidad* está fuertemente ligada al concepto de firma digital.

· *No repudio*: muy relacionado con el concepto anterior, el no repudio pretende combatir la negación de la autoría de un documento determinado. El documento debe poder, mediante la utilización de técnicas criptográficas, identificar inequívocamente a su autor. Tanto la autenticidad como el no repudio deben ser garantizados en los informes clínicos, cuyo contenido es responsabilidad exclusiva de los médicos autores.

## Capacidades de medida y sincronización

La utilización de aplicaciones informáticas permite al médico disponer de herramientas de medida precisas. Como se acaba de comentar, la medida de distancias y desplazamientos es de vital importancia en el diagnóstico cardiológico; una medida directa sobre la pantalla o sobre papel es sin duda una fuente de ineficacia e inexactitud. Dado que la reproducción de imágenes va a realizarse sobre un soporte informático, parece razonable integrar en el entorno un sistema de medida preciso. Dicho sistema debe incorporar facilidades para tomar longitudes y ángulos, así como llevar a cabo las calibraciones necesarias. Asimismo, se valorará enormemente la funcionalidad de lupa de aumento (*zoom*) que permitirá observar una imagen o una secuencia con un elevado nivel de detalle, incrementando así la precisión.

Un atractivo que solo pueden ofrecer las aplicaciones multimedia es el de añadir anotaciones de texto, dibujos a mano

alzada, o comentarios de voz directamente sobre las imágenes, así como la posibilidad de tener un puntero sincronizado en todas las estaciones que participan en la teleconsulta. Para que esto sea posible deben establecerse mecanismos de sincronía entre estaciones que sean suficientemente fiables como para permitir que ninguna estación quede “descolgada” del desarrollo de la sesión.

Aparecen así conceptos como WYSIWIS (*What you see is what I see* o “lo que ves es lo que veo”), también conocido como *sincronización de pantallas*, o lo que en Informática se conoce como *trabajo cooperativo* o CSCW (*Computer-Supported Cooperative Work*). Una buena aplicación de telemedicina debe incluir estas características.

### Interacción con el usuario

Finalmente, debe cuidarse la manera en que el usuario accede a los servicios de la aplicación, haciendo especial hincapié en los siguientes aspectos:

**Interfaz gráfica:** Sin duda una interfaz atractiva resulta de gran ayuda y facilita en gran medida el trabajo del profesional, haciéndolo más llevadero. Atrás han quedado los tiempos donde la mayor parte de los programas funcionaban por líneas de comandos y modos de pantalla con sólo texto. El éxito de sistemas operativos como Windows ha contribuido en gran medida al uso generalizado de este tipo de interfaces. Esta es una característica que todo *software* con ánimo de ser utilizado debe seguir hoy en día.

**Amigabilidad:** Tiene mucho que ver con la intuición y la facilidad de aprendizaje. Un programa *amigable* es, sin duda, aceptado mucho más rápidamente por los usuarios. Dado que una aplicación de telemedicina se destina a usuarios que, por definición, no son especialistas en ordenadores, sino expertos en medicina que usan una herramienta informática.

## EXPERIENCIAS PREVIAS EN TELEMEDICINA

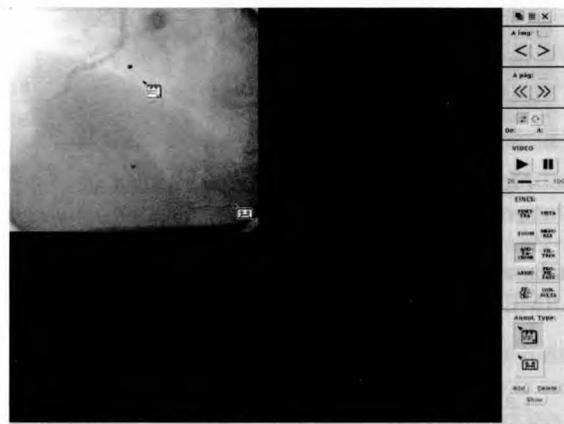
CARMEN no es el primer proyecto de telemedicina en el que la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), y más concretamente el Departamento de Ingeniería telemática (DIT) ha participado. Han existido experiencias previas en el campo de la Teleradiología, entre las que hay que destacar los proyectos MARC (*Multimedia Application for Radiologist Communication*) y CARE/CARE-PC (*Computer Assisted Radiological Environment*).

### MARC-CARE

La aplicación MARC fue desarrollada entre 1990 y 1993 por el DIT<sup>2</sup> de la UPC y fue mejorada entre 1994 y 1996 dentro del proyecto CARE con la colaboración del Centro de Visión por Computador (CVC)<sup>3</sup> de la Universitat Autònoma de Barcelona

(UAB). La aplicación fue financiada por la Generalitat de Catalunya y la Unión Europea, dentro del proyecto TelePresence impulsado por las regiones del consorcio “4 motores de Europa”<sup>4</sup>. El sistema fue construido sobre una *workstation* Unix que incorporaba facilidades multimedia como una tarjeta de adquisición y reproducción de audio y vídeo y un DSP específicamente dedicado. CARE ofrecía servicios de teleconsulta orientados únicamente a la radiología, proporcionando funcionalidades de gestión del historial médico del paciente, visualización de radiografías digitalizadas, inserción de anotaciones de sonido y de texto, así como el establecimiento de comunicaciones interactivas (teleconsulta) y no interactivas (transferencia de estudios) entre dos doctores. Se incluyeron diferentes servicios seleccionables independientemente por el usuario según la funcionalidad deseada y la velocidad de la conexión: un canal de voz de calidad telefónica, videoconferencia sobre LAN, sincronización de pantalla y de cursory, en sus últimas versiones, videotelefonía sobre RDSI utilizando algoritmos de compresión de vídeo. [PAR94] [CAS94].

A pesar de los esfuerzos empleados durante todo su desarrollo, el proyecto CARE no pudo ser implantado en los hospitales catalanes. La causa principal fue probablemente económica: la plataforma Unix que se necesitaba era cara y exigía una inversión demasiado costosa para difundir amplia-



**Figura 4:** Editor de Imágenes y Secuencias de CARE. Se pueden observar una anotación de texto y otra de sonido. A la derecha, se muestran los controles del VCR Virtual.

mente la aplicación. Por otro lado, resultó especialmente complicado convencer a los doctores para que cambiaran sus hábitos de trabajo y utilizaran las herramientas informáticas de forma general. MARC-CARE justificó y nació como la aplicación estrella de la *Anella Científica*<sup>5</sup>, la red de comunicaciones de banda ancha que une las universidades y hospitales catalanes.

<sup>2</sup><http://www-mat.upc.es>

<sup>3</sup><http://www.cvc.uab.es>

<sup>4</sup>Nombre del consorcio creado por las autoridades regionales de Catalunya, Lombardía, Baden-Wuttemberg y Rhône-Alpes

## CARE-PC

CARE-PC (1996) fue el primer desarrollo de una aplicación multimedia de telemedicina sobre plataforma PC [RIN96]. Se aprovechó el auge de los ordenadores personales para reconstruir la aplicación sobre una plataforma más barata que debía garantizar una difusión más amplia del proyecto. Se rediseñó la interfaz de usuario con el objetivo de hacerla mucho más atractiva y fácil de utilizar, aprovechando las facilidades proporcionadas por un sistema operativo "amigable" como Windows 95.

Dado su carácter de prototipo, CARE-PC tampoco llegó a implantarse comercialmente, pero parte del código de la aplicación fue aprovechado más tarde por sus aplicaciones sucesoras: tanto CAROLIN, que sí ha llegado a



Figura 5: Captura de pantalla del editor de secuencias de CARE-PC [RIN96].

instalarse en diversos hospitales italianos y catalanes, como CARMEN.

La experiencia adquirida en TelePresence sirvió para que en 1996 y 1998 vieran la luz dos otros proyectos de similares características, el TeleRegions SUN y el TeleRegions SUN2, respectivamente. Estos dos proyectos estaban a su vez enmarcados dentro de Telematics, un programa de la Unión Europea de ámbito más general cuya finalidad era potenciar el desarrollo de aplicaciones informáticas y de comunicaciones avanzadas. El objetivo de estas iniciativas fue poner al alcance del ciudadano una plataforma de servicios telemáticos integrados, mayoritariamente accesibles a través de Internet, relevantes para los sectores de la administración, el transporte, la sanidad, la educación y la actividad económica. CAROLIN y CARMEN, cuyo diseño centra este artículo, se enmarcan en el sector sanitario de TeleRegions<sup>6</sup>

## CAROLIN

El proyecto de Telecardiología CAROLIN (*Co-operative Application for Remote On-Line Interactive Diagnosis*) fue creado por el instituto italiano de investigación CEFRIEL<sup>7</sup>.

Comenzó como una aplicación para estaciones de trabajo Unix; posteriormente se desarrolló una versión para PC y Windows95, ya con el nombre de CAROLIN. La aplicación ha tenido una vida muy similar y paralela al proyecto CARE.

CAROLIN se diseñó con el fin de proporcionar comunicación entre médicos localizados en hospitales diferentes a través del uso de los protocolos TCP/IP sobre LAN (Red de Área Local) y sobre RDSI (Red Digital de Servicios Integrados). La funcionalidad ofrecida por CAROLIN es parecida a la de CARE (teleconsulta y transferencia de ficheros de diagnóstico), siendo su objetivo principal el de reproducir fielmente las características de una consulta real, y así reducir el tiempo y los costes derivados del desplazamiento del paciente y/o del especialista [TOT98]. El diseño prestó especial atención a las interacciones entre el médico de cabecera y el especialista en cardiología y hemodinámica (anotaciones de texto y audio, anotaciones, sincronismo de pantalla y de cursor, etc.). En la actualidad, CAROLIN es un producto comercial que se encuentra funcionando en seis hospitales de la red CARDNET en Lombardia (Italia) [BOR99]; igualmente, CAROLIN está siendo evaluado por los médicos en diversos hospitales catalanes (Hospital de Bellvitge, Hospital Joan XXII de Tarragona, Consorci Hospitalari Parc Taulí de Sabadell).

## EL PROYECTO CARMEN

CARMEN (*Co-operative Application for Remote Medical consultation*) nació como fruto del marco de colaboración interregional entre Catalunya y Lombardia [FRU99]. El propósito principal de esta colaboración es unir, mejorar e incrementar en una única aplicación del Telecardiología las funcionalidades de las aplicaciones telemáticas precursoras, CARE-PC y CAROLIN, presentadas en los dos apartados anteriores. Son cuatro las instituciones que colaboran en el desarrollo del proyecto: además de la UPC, la UAB, y CEFRIEL<sup>8</sup>, se une la empresa italiana Aethra<sup>8</sup>, que juega el papel de socio tecnológico: aporta las tarjetas RDSI y videoconferencia y lidera el proceso de reingeniería y comercialización de la aplicación.

Esta nueva aplicación incorpora potentes herramientas de seguridad para mejorar la confidencialidad. Se ha implementado el algoritmo de seguridad Anigma, que ofrece la posibilidad de encriptar y firmar los documentos relacionados con el diagnóstico. La identificación del médico se asegura mediante el uso de discos o tarjetas magnéticas, combinadas con *passwords*.

<sup>5</sup> Revista TeraFlop, num. 32, mayo 1998, ed. CESCA <http://www.cesca.es/teraflop/tera32.pdf>

<sup>6</sup> TeleRegions SUN Home Page, <http://www.teleregions.org> y <http://teleregions.gencat.es>

<sup>7</sup> CEFRIEL, <http://www.cefriel.it>

<sup>8</sup> AETHRA, <http://www.aethra.it>

La utilización del estándar de telemedicina DICOM, y el almacenamiento de larga duración en soporte CD son algunas de las nuevas funcionalidades que pretende proporcionar el sistema. Estas características posibilitarán la integración con el sistema de información y los equipos del hospital (adquisición de imágenes, archivos, etc.).

La aplicación puede ser utilizada en redes de conmutación de paquetes que utilicen los protocolos TCP/IP (LAN, MAN, RDSI de banda estrecha, RDSI de banda ancha) y ha sido diseñada para funcionar independientemente de la tecnología de red, aunque el escenario típico de uso sea LAN para comunicaciones intrahospitalarias y MAN o RDSI para conexiones entre hospitales. Para permitir la interoperabilidad y el uso de cualquier tecnología de red, se ha adoptado el protocolo T. 120 de la ITU.

La aplicación no se comunica únicamente con estaciones CARMEN, sino que puede exportar ficheros en formato DICOM aptos para ser leídos por otros aparatos, o ser enviados mediante



**Figura 6:** Aspectos estáticos WYSIWIS durante una sesión de teleconsulta con CARMEN. La imagen visualizada, sus atributos y anotaciones deben estar sincronizadas en todas las pantallas de las estaciones participantes

el módulo de correo electrónico integrado. También se pueden extraer copias en papel, a diferentes niveles de detalle, de la información contenida en los exámenes y en los informes de diagnóstico.

Se han implementado técnicas de tratamiento de imágenes para la mejora de la información gestionada por la aplicación, así como la posibilidad de introducir anotaciones de tipo multimedia (dibujos, sonidos, texto). Todo ello manteniendo siempre la filosofía WYSIWIS para sincronizar las estaciones durante la teleconsulta.

Dada la dimensión europea del proyecto, todos los módulos que forman CARMEN han sido desarrollados con la capacidad de cambiar fácilmente el lenguaje del interfaz. Inicialmente se han desarrollado versiones en italiano, inglés, español y catalán, pero el código es fácilmente adaptable a otros idiomas. Es destacable que las dos instancias de la aplicación pueden interactuar aunque utilicen idiomas diferentes; un médico cata-

lán puede conectarse con un cardiólogo italiano manteniendo cada uno de ellos el interfaz en su lengua propia.

Finalmente, cabe destacar que la plataforma formada por el PC y Windows nos proporciona un coste asequible y una facilidad de manejo de la aplicación, fundamentales para su éxito y aceptación entre la comunidad médica.

## LA ARQUITECTURA DE CARMEN

CARMEN se compone de diferentes módulos que actúan sobre los datos correspondientes a los pacientes. La unidad básica de la aplicación es el **examen**. A continuación se enumeran los elementos que componen un examen en el contexto de CARMEN.

- **Secuencia de vídeo:** se trata del elemento más importante del examen. La secuencia está contenida en un fichero AVI o MJPEG, y es la base del diagnóstico que establecerán los cardiólogos.

- **Imágenes:** ficheros *bitmap* (BMP) que contienen aquellos fotogramas de la secuencia que el usuario considere de especial relevancia para determinar la dolencia.

- **Anotaciones:** ficheros que contienen las marcas gráficas (círculos, flechas, distancias, etc.), de texto y voz realizadas sobre las imágenes antes mencionadas.

- **Fichero de examen (EXM):** contiene los datos necesarios para reconocer el examen; en concreto contiene la información del paciente, del estudio y del profesional que llevó a cabo la consulta.

- **Informe (report):** se trata del documento en formato RTF (plantilla de Microsoft Word), debidamente cumplimentado y firmado electrónicamente, que refleja el diagnóstico acordado por los dos profesionales durante el proceso de teleconsulta.

- **Fichero DICOM:** fichero con extensión DCM que exporta el examen de CARMEN al formato universal DICOM, para que éste pueda ser leído por todos los sistemas compatibles con el estándar.

El examen es pues el elemento que dirige las acciones de CARMEN. Un examen pasa por diferentes estados, desde que la secuencia de vídeo se genera en los equipos médicos de adquisición de imagen, hasta que el informe de diagnóstico se firma y los ficheros correspondientes se guardan en el soporte de almacenamiento.

### Base de datos

Los historiales clínicos de los pacientes constituyen la principal información que debe gestionar la base de datos de

CARMEN. Dicha información está organizada jerárquicamente en cuatro niveles, acordes con el estándar DICOM: nivel de paciente, nivel de estudio, nivel de serie (correspondiente al examen) y nivel de imagen. Dichos niveles corresponden igualmente a la semántica del mundo real; de este modo, un paciente

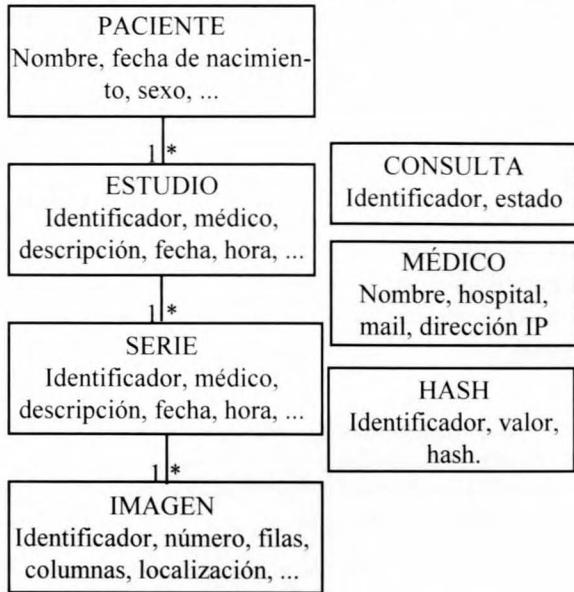


Figura 7: Esquema relacional de la base de datos de CARMEN

podrá tener asociado uno o más estudios, un estudio una o más series y una serie una o más imágenes. El esquema relacional ilustra y resume la jerarquía. Adicionalmente, se dispone de tablas adicionales que proporcionan un directorio de doctores (agenda), un control del estado de cada examen (consulta), y finalmente, información de seguridad (tabla de hash).

### Browser

El elemento central o "puerta de entrada" de la aplicación es el navegador (*Browser*), que controla en todo momento el estado del examen e interacciona con el resto de módulos para llevar a cabo, a instancia del usuario, las operaciones principales que conciernen a dicho examen (introducción en la base de datos, edición, transmisión, teleconsulta, encriptación del informe, grabación en CD, correo electrónico, impresión, etc). El

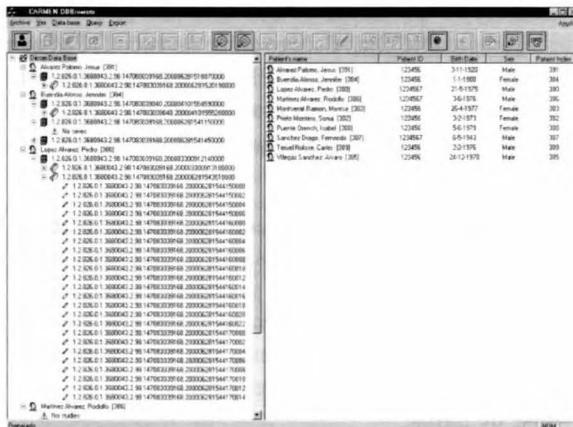


Figura 8: Interfaz gráfica del Browser. Se pueden observar diferentes niveles de la jerarquía DICOM desplegados en el árbol de la izquierda.

*Browser* se diseñó para que se pareciera lo máximo posible al Explorador de Windows; en vez de navegar por los directorios, da acceso a la base de datos DICOM.

### Cliente y servidor



Figura 9: Aspectos dinámicos WYSIWIS durante la teleconsulta con CARMEN. En todo momento la imagen (frame) de la secuencia visualizada debe ser la misma en todas las estaciones participantes. La reproducción se hace de forma sincronizada.

El módulo llamado **cliente** juega un papel fundamental en el proyecto CARMEN. El cliente es la herramienta con la cual el cardiólogo podrá visualizar, anotar y manipular la secuencia de vídeo y las imágenes a efectos de llegar a un diagnóstico. También será el cliente el encargado de dar soporte a la teleconsulta entre médico de cabecera y especialista. Se distinguen pues dos modos de funcionamiento de cliente: modo local (*stand alone*) y modo teleconsulta (sesión interactiva en el que se necesitará el apoyo del módulo *server*).

El cliente dispone de dos vistas: el VCR virtual y la vista de anotaciones y galería. La primera de las vistas intenta

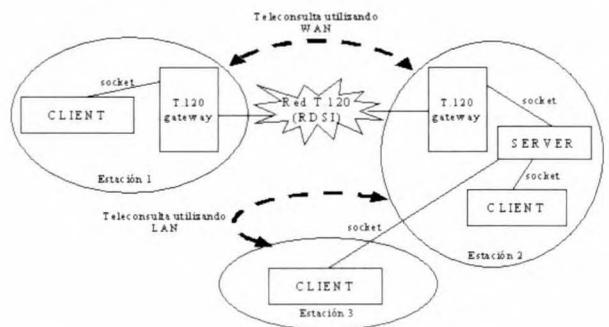


Figura 10: Esquema de los módulos implicados en una teleconsulta.

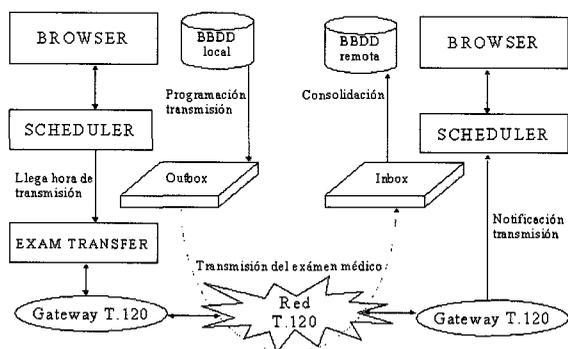
reproducir el funcionamiento de un vídeo tal como los que utilizan los cardiólogos, con las funciones típicas (*play, stop, pause, frame-by-frame, etc*). En la figura 9 se puede observar una muestra del aspecto del VCR virtual.

La vista de anotaciones permite, como su nombre indica, incluir anotaciones en la secuencia de vídeo, además de tratar la imagen (con filtros digitales), hacer medidas, zoom, exportar imágenes, visualizarlas en galería, etc. En la figura 6 se puede observar el aspecto de esta vista del cliente.

Hasta ahora, se han comentado las opciones que el cliente de CARMEN ofrece al médico cuando éste actúa autónomamente. Pero una de las funcionalidades de vital importancia que implementa el cliente es la teleconsulta. A continuación se verá como este módulo da soporte igualmente al trabajo en grupo y al diagnóstico cooperativo. En primer lugar, hay que destacar que en el proceso de la teleconsulta interviene un nuevo módulo de CARMEN: el servidor (*server*). Éste será el encargado de gestionar y de comunicar a ambos clientes los eventos que se producen durante la teleconsulta.

En una sesión de teleconsulta colaboran dos médicos participantes sentados frente a sendas máquinas CARMEN. Cada una de las dos máquinas está ejecutando una instancia del módulo cliente, y solo una de ellas (aquella que inicie la sesión interactiva) ejecuta el módulo servidor, al que ambos clientes deben conectarse (figura 10).

Durante la sesión de teleconsulta, todas las estaciones participantes pueden trabajar sobre la secuencia, ya sea mediante



**Figura 11:** Esquema de la programación y posterior transmisión y consolidación de un examen.

acciones relacionadas con el VCR virtual o con la vista de anotaciones. La filosofía de trabajo sigue la técnica maestro-esclavo: sólo una de las estaciones tiene el control, mientras que el resto reproduce los cambios realizados por la estación maestra. Es muy importante que se mantenga la sincronía; no puede permitirse que las estaciones muestren a sus usuarios informaciones distintas. En las figuras 6 y 9 se muestran algunas de las acciones que se pueden realizar durante una teleconsulta.

### Scheduler

El *Scheduler* (programador de transmisiones) es el módulo *inteligente* de comunicaciones. Su principal misión es coordinar a todos los módulos que intervienen en la transmisión de datos. Se ubica entre el *Gateway T.120* y la GUI implementada por el navegador (*Browser*). El *Scheduler* es un módulo sin

interfaz gráfica de usuario, y se ejecuta permanentemente, a modo de *daemon*. El objetivo principal de este módulo es hacer que las comunicaciones entre estaciones CARMEN sean totalmente transparentes al usuario.

La aportación del *Scheduler* puede ser dividida en dos grandes funcionalidades. Por un lado, coordinar, preparar y lanzar las transmisiones de exámenes médicos entre máquinas CARMEN; por el otro, coordinar y establecer las sesiones de teleconsulta entre dos estaciones. Hay que destacar que el *Scheduler* no es el encargado de llevar a cabo la transferencia de datos propiamente dicha (de eso se encargan los módulos del *Gateway* y del *ExamTransfer*), pero sí el responsable de preparar los parámetros y procesar los resultados de la misma. La inteligencia del módulo permite programarlo para transferir durante la noche, sin que el usuario tenga que estar presente, y que pueda responder a situaciones imprevistas como desconexiones, problemas de red, etc.

### Otros módulos

El resto de módulos son auxiliares, y ayudan a los módulos principales a proporcionar las funcionalidades de usuario descritas en el apartado previo. Entre ellos podemos encontrar:

- *Dicomizer, AVIConverter*: Estos módulos hacen conversiones de la secuencia de vídeo entre los dos formatos utilizados: DICOM y AVI.

- *DigiCARMEN*. El primer paso dentro del proceso de diagnóstico es la adquisición y posterior edición preliminar de la secuencia digital de vídeo. El módulo *DigiCarmen* será el encargado de interactuar con el equipamiento médico (angiógrafo) a través de la tarjeta.

- *SetupCARMEN*. CARMEN incluye un módulo de instalación y de configuración de la aplicación, que utiliza el registro de Windows para almacenar determinados parámetros que luego necesitarán los distintos ejecutables y librerías que componen el proyecto.

## EL DESPLIEGUE DE CARMEN

Hemos visto que uno de los problemas de las aplicaciones de telemedicina es conseguir que realmente sean utilizadas por los médicos. CARMEN ha sido creada siguiendo las recomendaciones y sugerencias de un equipo de cardiólogos italianos, que se implicaron en el diseño desde las primeras etapas.

El prototipo de CARMEN será instalado en diversos hospitales para ser evaluado por médicos y cardiólogos. Concretamente, se trata de 8 hospitales de la red CARDNET<sup>9</sup> (CARDiological NETwork) italiana y en tres hospitales catalanes, en los que CAROLIN se encuentra ya en funcionamiento. La lista de centros es la siguiente:

Hospitales secundarios (servicios de hemodinámica) de la CARDNET italiana:

- Ospedale Carlo Poma (Mantova)
- Azienda Ospedaliera di Lecco
- Istituti Ospedaliari di Cremona
- Ospedale San Carlo (Milano)

Hospitales terciarios (servicios de cirugía cardiovascular) de la CARDNET italiana:

- Spedali Civili (Brescia)
- Ospedale San Matteo (Pavia)
- Ospedale San Donato (Milano)
- Ospedale Sacco (Milano)

Hospitales que formarán parte de la futura red cardiológica catalana:

- Hospital de Bellvitge (Hospitalet de Llobregat)
- Hospital Universitari de Tarragona Joan XXIII
- Consorci Hospitalari Parc Taulí (Sabadell)

La red CARDNET se extiende únicamente en Lombardía. De momento, no existe su homónima catalana; las instalaciones que se han realizado en Catalunya hasta la fecha han sido meras pruebas piloto utilizando líneas RDSI a 128 Kbps. Sin embargo, proyectos como *I2-Cat (Internet 2 a Catalunya)*<sup>10</sup> deben, a corto y medio plazo, proveer a los hospitales catalanes de una infraestructura de banda ancha, que servirá de soporte para la Telecardiología (CAROLIN/CARMEN) y otras aplicaciones de telemedicina en general.

## IMPACTO DE LA APLICACIÓN SOBRE LOS USUARIOS

Es importante estimar el impacto que una aplicación de este tipo puede tener sobre el procedimiento cotidiano de diagnóstico en los hospitales. Así pues, la última palabra la tendrán siempre los médicos que, en definitiva, son los que pueden sacar provecho de las funcionalidades ofrecidas por CARMEN.

La introducción de herramientas telemáticas en el proceso de diagnóstico aporta sin duda enormes ventajas (no se va a insistir más en ello), pero su utilidad se verá limitada hasta que se produzca un *efecto de inmersión* del usuario [FRE98]. Esto significa que el médico debe llegar a pensar únicamente en su trabajo de diagnóstico, sin tener que preocuparse por la faceta informática, que no debe distraer su atención. El sistema resultará verdaderamente útil sólo cuando el usuario tenga asumido perfectamente su funcionamiento; no se podrá decir que la aplicación ha sido un éxito hasta que ésta forme parte de la vida cotidiana del hospital.

<sup>9</sup> TeleRegions SUN2: la Rete CARDNET. <http://www.sanita.regione.lombardia.it/Progetti/CARDNET.htm>

<sup>10</sup> Internet-2 a Catalunya (I2-CAT) <http://www.i2-cat.net>

Dado que CARMEN es todavía una aplicación en fase de desarrollo, no ha podido ser difundida ampliamente en los hospitales catalanes e italianos para su evaluación por parte de los cardiólogos. Por lo tanto, la valoración se hará basándose en su predecesora CAROLIN, que sí se encuentra ya funcionando a pleno rendimiento en la red CARDNET italiana. Los resultados se pueden perfectamente extrapolar al caso de CARMEN, ya que se trata, en definitiva, de la misma aplicación mejorada.

Los resultados estadísticos que se mostrarán a continuación son fruto de la experiencia piloto entre dos hospitales italianos que utilizan CAROLIN: la Azienda Ospedaliera di

Número de camas en el Departamento de Hemodinámica de AOC	45
Número de exámenes por semana	15
Porcentaje de pacientes que requieren consulta con especialista	50%
Coste del médico (no especialista) de AOC	Actividad normal
Coste por hora de consulta del especialista de SCB	85 \$
Coste del desplazamiento para la consulta	55 \$
Coste de una angiografía	835 \$
Coste de la operación de cirugía cardiovascular	> 12000 \$

**Tabla 1:** Algunos datos interesantes de las actividades y costes de los departamentos de AOC y SCB

Cremona (AOC, hospital secundario con departamento de hemodinámica) y el Spedali Civili di Brescia (SCB, hospital terciario con departamento de cirugía cardiovascular). Dichos resultados ilustran el impacto que una aplicación de Telecardiología como CAROLIN (o CARMEN) puede tener en la rutina de diagnóstico.

Antes de la introducción de CAROLIN, el médico de AOC tenía que llevar físicamente la cinta de vídeo al especialista de SCB para consultar y discutir los casos dudosos. En un contexto de estas características es donde los beneficios de la herramienta de teleconsulta deben subrayarse. Una primera tabla contiene algunos de los parámetros que entrarán en juego a la hora de evaluar las ventajas de herramienta telemática.

Con el objetivo de amortizar el coste de la consulta con el experto de SCB, se envía más de un paciente simultáneamente. El departamento de AOC es capaz de examinar una media de 15 pacientes semanales, la mitad de los cuales necesitará una segunda opinión. La frecuencia de estas consultas con el especialista es bisemanal, y por tanto se discuten 15 casos por sesión. Considerando una media de unos 20 minutos por caso, la sesión completa necesita no menos de 6 horas (un día de trabajo) más el tiempo asociado al desplazamiento (una hora en coche). Aunque una solución de estas características ayuda a reducir costes, los tiempos de espera de los pacientes se ven considera-

	Antes	Después
Frecuencia de las consultas	Bisemanal	Semanal
Tiempo de edición para cada examen	Ninguno	3 minutos
Tiempo de consulta para cada caso	20 minutos	15 minutos
Casos discutidos en cada sesión de consulta	15	7
Duración de la sesión de consulta	6h + tiempo de viaje	1 hora
Coste de la sesión de consulta	565 \$	Actividad normal
Tiempo medio de espera del resultado de un examen	4-10 días	3 días
Tiempo medio para operar a un paciente	1 mes	15-20 días

**Tabla 2:** Algunos índices relevantes antes y después de la introducción de CAROLIN.

blemente alargados, con las consecuentes posibles complicaciones clínicas.

La segunda tabla compara algunos índices de las actividades del departamento de hemodinámica de AOC antes y después de la introducción de CAROLIN. La primera diferencia significativa radica en la frecuencia de las consultas, debido al menor coste que acarrea una teleconsulta. En segundo lugar, cada consulta se reduce ahora sólo 15 minutos por caso, gracias a la ayuda prestada por las herramientas informáticas (medidas de distancias y ángulos, *zoom*, moviola virtual, etc.) proporcionadas por la interfaz gráfica de usuarios (GUI) de CAROLIN. Con el mismo número de pacientes y porcentaje de casos dudosos, se pueden discutir ahora aproximadamente 7 casos por sesión de teleconsulta, en un tiempo de 1 hora o menos. Cada 2 semanas, utilizando CAROLIN, los dos profesionales pueden discutir 15 casos en sólo 2 horas de trabajo.

La utilización de CAROLIN exige dos actividades adicionales respecto al procedimiento tradicional de consulta: la edición previa de la secuencia de vídeo y la transmisión de la misma. La primera apenas requiere 3 minutos si el usuario está familiarizado con la herramienta y la segunda puede llevarse a cabo durante la noche. Por lo tanto, ninguna de las dos operaciones retrasa significativamente las consultas y, en definitiva, no se aumentan los tiempos de espera ni los costes asociados.

Así pues, el uso de una aplicación de Telecardiología como CAROLIN o CARMEN puede tener un gran impacto sobre la rutina de diagnóstico en los hospitales. Los tiempos de diagnóstico se ven considerablemente reducidos, al igual que los costes de la consulta. Además, la gran ventaja que estos sistemas pueden llegar a ofrecer es la libertad para establecer teleconsultas en el momento que éstas se necesiten, sin una estricta planificación previa. Se consigue así una mejora palpable de la calidad del servicio sanitario.

## CONCLUSIONES

Este artículo ha descrito el diseño y el desarrollo de CARMEN, un proyecto de telecardiología enmarcado en un contexto de proyección europea. Se ha conseguido desarrollar con éxito y poner en funcionamiento una potente herramienta *software* de telemedicina. La aplicación facilita la gestión, la transferencia y la seguridad de los historiales clínicos, y posibilita a los médicos un trabajo cooperativo en la tarea de diagnosticar enfermedades. El objetivo de acelerar el envío de secuencias angiográficas y, en última instancia, de evitar los traslados de pacientes entre la jerarquía de hospitales, a fin de obtener la opinión experta del especialista en hemodinámica, ha sido así ampliamente alcanzado.

Está previsto instalar próximamente la aplicación en 3 hospitales catalanes y en los 8 hospitales italianos que configuran la red CARDNET, donde CAROLIN, predecesor de CARMEN, se encuentra ya funcionando a pleno rendimiento. La finalidad principal de dichas instalaciones será la evaluación exhaustiva de las funcionalidades del programa por parte de los cardiólogos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer los esfuerzos de los desarrolladores que han participado de una manera u otra en el diseño de la aplicación, desde los pioneros del MARC hasta los *partners* europeos como la UAB, CEFRIEL y Aethra, así como a los cardiólogos que han colaborado en el desarrollo. Sin la ayuda de todos ellos nunca se podría haber llevado a cabo este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [BOR99] Borghi G., E. Brenna, R. Fogliardi, E. Frumento, L. Luzzi, V. Montericcio, "*Sanità e reti telematiche: il caso della rete CARDNET in Lombardia*", Progettare per la Sanità, 54: 56-65, 1999.
- [CAS94] J. Casademont, J. Paradells, S. Sallent, J. Borràs y J. García, "*MARC (Multimedia Application For Radiologist Communications)*", Melecom '94, Turquía, 1994.
- [FOG00] R. Fogliardi, E. Frumento, D. Rincón, M. A. Vifias, M. Fregonara, "*Telecardiology: results and perspectives of an operative experience*", Journal of Telemedicine and Telecare, 6 (1), pp. 162-164, 2000.
- [FRE98] M. Fregonara y E. Frumento, "*On-Field Evaluation of CAROLIN, an Italian Teleconsulting Cardiology Application: Early Results*", Proc. Of Computers in Cardiology - CIC98, vol.25, pp. 217-220, Cleveland, Ohio (USA), September 1998.
- [LOP00] Pedro López, "*Aportaciones al desarrollo de una aplicación de telemedicina*". Proyecto Fin de Carrera, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya. Director: David Rincón. 2000.
- [PAR94] J. Paradells, J. Casademont, S. Sallent y J. Borràs, "*MARC: A Teleradiology System*", Multimedia 1994, Japón, 1994.
- [RIN96] David Rincón, "*Definición e implementación de una aplicación multimedia de Telecardiología sobre plataforma PC y entorno Windows95*". Proyecto Fin de Carrera, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya. Director: Josep Paradells. 1996.
- [RIN99] D. Rincón, E. Frumento y M.A. Vinyas, "*Description of a Teleconsultation platform and its interaction with access networks*". Proc. Of the 5<sup>th</sup> Open European Summer School - EUNICE99 (ISBN 84-7653-717-4), pp. 145-150, Barcelona, Spain, Septiembre 1999.
- [SAN95] J. H. Sanders and R.L. Bashshur, "*Challenges to the Implementation of Telemedicine*", Telemedicine J., vol.1, no. 2, 1995, pp. 115-123.
- [TOT98] P. Totaro, R. Fogliardi, "*Application CAROLIN, Cooperative Application for Remote On-Line Diagnosis*", Proc. of TeleRegions Conference, Wien (Austria), November 1998.
- [VAL97] G Valetto. "*CAROLIN - Integrated support to medical GroupWare over wide area networks*", Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Conference on Networking Entities, 1197, Ancona (Italy).

