Implementación y evaluación un servicio de electrocardiografía digital.

J. D. Trigo[1], O. Martínez[2], J. Fernández[1], E. Caudevilla[3], G. Palacios[4], Á. Alesanco[1], J. García[1]

[1] Departamento Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, {jtrigo,navajas,alesanco,jogarmo}@unizar.es

[2] Departamento de Informática, Fundación Hospital de Calahorra, Calahorra, España, ovalpuesta@fhcalahorra.com

[3] Unidad de Urgencias, Fundación Hospital de Calahorra, Calahorra, España, emcaudevilla@fhcalahorra.com

[4] Dirección Asistencial, Fundación Hospital de Calahorra, Calahorra, España, gpalacios@fhcalahorra.com

Resumen

En este trabajo se ha realizado el diseño y la implantación de un sistema de electrocardiografía digital en la Fundación Hospital de Calahorra, estudiando y valorando el impacto de implantación de dicho sistema. Los ECGs se registran mediante dispositivos portátiles y se envían a través de la red wireless a un servidor temporal. En ese servidor se realizan las tareas necesarias para la inserción del ECG en la Historia Clínica Electrónica (HCE) del paciente. Una vez insertado, el cardiólogo accede al servidor de HCE del hospital a través del Health Care Information System (HCIS) y analiza las pruebas para emitir un diagnóstico. Se han evaluado diversos aspectos de la implementación del sistema de telemedicina, entre otros, eficacia/efectividad, impacto organizativo, análisis económico, estudios costo-beneficio, aceptabilidad, usabilidad, satisfacción, etc, concluyéndose que el impacto de la implementación es mínimo comparado con el beneficio resultante obtenido.

1. Motivación

Las nuevas tecnologías de la información y comunicación abarcan, hoy en día, todos los ámbitos de la sociedad, extendiéndose con celeridad. La aplicación de estos servicios de comunicaciones en el campo sanitario es una realidad, aunque se produce con un retraso mayor del previsto [1]. Resulta llamativo que la informatización de la actividad médica no esté al nivel de otras áreas de la actividad laboral, comercial o económica. Surge entonces la necesidad de acometer proyectos de implantación de sistemas de telemedicina con el fin de integrar a los centros médicos en la sociedad de la información y aprovechar su potencialidad, mejorando su posición de servicio a los ciudadanos y a la sociedad.

Debido a que la informática aplicada en medicina se encuentra en una fase relativamente inmadura, no existen referencias ni estudios suficientes para determinar con rigurosidad la efectividad, eficiencia y utilidad en cada escenario de aplicación. Aparece, por tanto, la necesidad de evaluar el impacto que genera la implantación de este tipo de sistemas sanitarios [2]. Para que la informática médica se plantee verdaderamente como alternativa a la atención sanitaria tradicional, se debe contar con las herramientas necesarias que nos permitan conocer si la utilización de las tecnologías de la información y comunicación en Medicina permite una asistencia sanitaria de calidad [3].

Previamente a la implementación del sistema que se presenta, la realización de un ECG en cualquier punto de la red asistencial (Atención Primaria, UMEs, Atención Hospitalaria) conectada a la Fundación Hospital de Calahorra (FHC), se efectuaba en soporte papel archivándose en la historia clínica no informatizada. No existía acceso desde los diferentes puntos asistenciales a los registros y su consulta se restringía a la solicitud de la historia individual de cada centro. Otra restricción para la consulta de los ECGs del archivo era el horario. A partir de las 3 de la tarde y durante todo el día los fines de semana, si se deseaba consultar un ECG de un paciente, era necesario pedir permiso a tres personas diferentes encargadas de la gestión del hospital (director, gerente y administrador).

Haciendo uso de electrocardiógrafos digitales es posible obtener los registros, transferirlos al HCIS de la FHC y almacenarlos junto con el historial electrónico del paciente para ser consultado por cualquier servicio hospitalario en cualquier momento. Para los especialistas que consultan las pruebas, estas serán parte de la HCE del paciente, modificando así lo menos posible el funcionamiento del sistema de información existente y consiguiendo un acceso cómodo y sencillo.

En este proyecto se propone, por tanto, la implantación real de un sistema de electrocardiografía digital en la FHC, permitiendo el envío de los ECGs registrados, incluyéndolos en el HCE del paciente y posibilitando la accesibilidad directa a dichas pruebas desde el HCIS de la FHC. Por otro lado, se llevará a cabo una evaluación del sistema implantado, estimando su eficacia/efectividad, impacto, coste, así como otras variables importantes de la implantación.

2. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema de cardiología se muestra en la Figura 1. Primeramente, en el lugar de la atención médica, el personal sanitario recoge el ECG mediante un dispositivo portátil y lo envía al servidor temporal. El ECG y los datos que le acompañan se tratan de manera

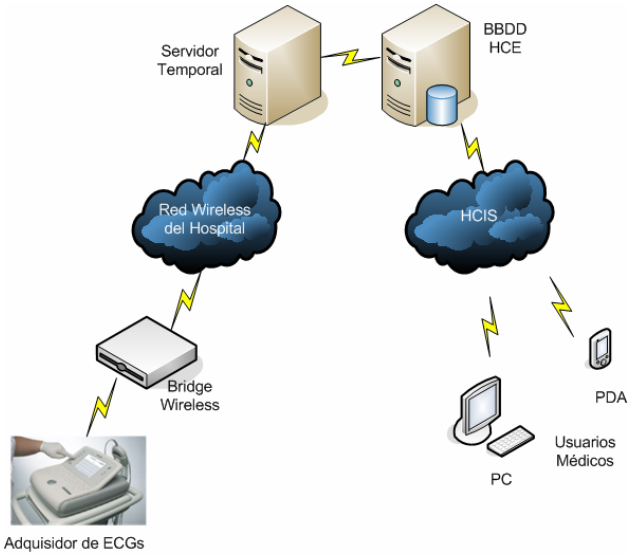

Figura 1. *Arquitectura del sistema*

automática para la inserción en la HCE del paciente. Por último, el especialista accede remotamente al servidor de HCE a través del HCIS del hospital y analiza las pruebas consultadas.

2.1. Registro y transferencia de datos

La adquisición de los datos se realiza mediante el cardiógrafo digital *PageWriter Trim* III de *Philips* que registra 12 derivaciones a 2000 muestras por segundo y 24 bits de resolución. El usuario puede introducir datos de paciente tales como nombre, ID o sexo. Los archivos generados se guardan en formato XML.

Este adquisidor de *Philips* dispone de salidas tanto Ethernet como *wireless* (comprando e instalando la tarjeta adecuada) para el envío de los datos. Sin embargo, la salida *wireless* que ofrecen no incluye cifrado WPA sino WEP (cuyas características lo hacen poco seguro) y además la información es codificada siguiendo un protocolo propietario, lo que obligaría a adquirir *Access Points* (AP) de una marca asociada con *Philips*, cuando la FHC ya dispone de AP en todas las instalaciones dentro de su red inalámbrica. Lo ideal, por tanto, sería aprovechar los recursos disponibles para dotar al sistema de mayor movilidad y comodidad.

Para que la transferencia se efectúe mediante la red *wireless* del hospital se han adquirido, conectado y configurado *bridges wireless* (WET54G v3, de Linksys) que transforman el canal físico de cableado a wireless. Los *bridges* se han seleccionado siguiendo las siguientes pautas: soporte de protocolos seguros WPA y compatibilidad con los AP de la FHC. Por otro lado, se han adquirido baterías portátiles (SPPS200, de BatteryGeek) que alimenten a estos bridges en caso de no disponer de conexión a la red eléctrica. En la figura 2 se puede observar el sistema registro y transferencia completo en estado operativo.

Los datos son enviados en primera instancia a un servidor temporal, que se encarga de la recepción y de efectuar las tareas necesarias para la integración del ECG en la HCE.

2.2. Servidor temporal e integración en el HCIS

La integración en el HCIS de la FHC consta de dos partes: el servidor temporal (que se encarga de la recepción, preparación y la inserción propiamente dicha) y el servidor y la base de datos de HCE (que forma parte del HCIS del hospital y que gestiona los ECGs y los datos de paciente).

Las tareas que realiza el servidor temporal son las siguientes: recepción de ficheros, transformación a un formato adecuado para la integración en el HCIS, recopilación de datos de paciente, episodio, responsable y servicio y la propia integración en el servidor de HCE.

Se ha creado y definido una tarea en el servidor temporal que se ejecuta regularmente y que llama a un archivo de procesado por lotes (*batch processing*). Este *script* se encarga de comprobar si han llegado ficheros nuevos y de ejecutar o realizar llamadas que realizan el resto de las tareas descritas en el párrafo anterior, definiendo el *workflow* completo del proceso (Figura 3).

- Recepción de ficheros: La aplicación receptora de *Philips* está preparada para trabajar con el servidor de Windows *Internet Information Services* (IIS), versión 5.0. Debido a que el servidor temporal utilizado tiene como sistema operativo Windows 2003 Server R2, que por defecto tiene instalado la versión 6.0 de IIS, algunos aspectos tuvieron que ser considerados, entre otros, instalar ASP.NET, permitir las extensiones ISAPI y proporcionar otros permisos. De esta restricción (el uso de Windows 2003 Server con IIS 6.0) vinieron los mayores problemas de implantación, pues se desconocían qué cambios era necesario efectuar y, por tanto, no resultó sencillo encontrar la solución al problema.
- Conversión de formato: Se eligió el formato PDF porque ofrece calidad y tamaño adecuados a cambio de un tiempo de transformación pequeño, y además la inclusión en la HCE es fácil y la visualización desde un navegador, directa, minimizando así el impacto de implementación.

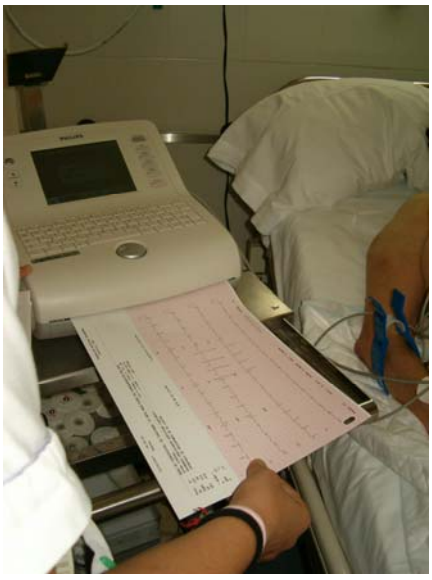

Figura 2. *Sistema de adquisición y envío*

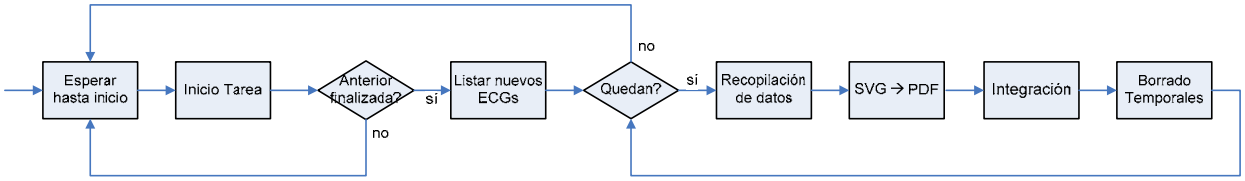

Figura 3. *Workflow del procesado por lotes*

La conversión se realiza en dos pasos:

- XML a SVG: *Philips* proporciona un software conversor de XML a SVG. Este software necesita de MSXML 4.0 SP2 Parser junto con el SDK y de MS .NET Framework para poder funcionar.

- SVG a PDF: SVG [4] es un lenguaje para describir gráficos vectoriales bidimensionales. La primera conversión podría haber sido suficiente, pero entonces sería necesario instalar en todos los ordenadores un *plug-in* de visualización que permitiese abrir archivos de este tipo. Existen multitud de aplicaciones y librerías en Java para la rasterización de SVG, sin embargo, y dado que SVG es un formato definido recientemente y está en proceso de desarrollo, la mayoría de los conversores no implementan todos los campos que el conversor de XML a SVG de *Philips* genera. El software conversor elegido finalmente, que sí soporta la totalidad de los campos, es el *xml2pdf* de *Altsoft* [5].

- Recopilación de datos: Se desarrolló en C una aplicación de consola Win32 que pudiese ser llamada desde un prompt MS-DOS o desde un archivo por lotes, cuya tarea es la de extraer del fichero XML los datos necesarios para la integración del ECG en la HCE: datos del paciente (nombre y apellidos), episodio, responsable y servicio.

- Integración en el HCIS: Con los datos recopilados se genera un archivo de texto, necesario para la integración en el HCIS. Para la integración se realiza una llamada al programa HP-Doctor para la inclusión de archivos (de cualquier tipo) en la HCE.

2.3. Consulta de los datos a través del HCIS

Cuando el proceso concluye, el especialista puede acceder, mediante un navegador web a la HCE del paciente. De este modo, el médico, usando el HCIS tal y como lo usaba hasta ahora, dispone como novedad de un registro digital en formato PDF del ECG que le ha sido efectuada al paciente (Figura 4).

3. Evaluación del sistema

Se ha llevado a cabo un plan de evaluación que permita determinar el grado de éxito del servicio a través de los siguientes criterios estructurados en diversos formularios: datos básicos de utilización, seguridad, eficacia y efectividad, impacto organizativo, costes, satisfacción (accesibilidad, aceptabilidad). En concreto, se ha efectuado el diseño y la realización de encuestas (Tabla 1) tanto a los encargados de la adquisición y envío de las pruebas (DUEs) como a los expertos que consultan los ECGs, así como un análisis de costes, para tener una evaluación completa de la implantación del sistema.

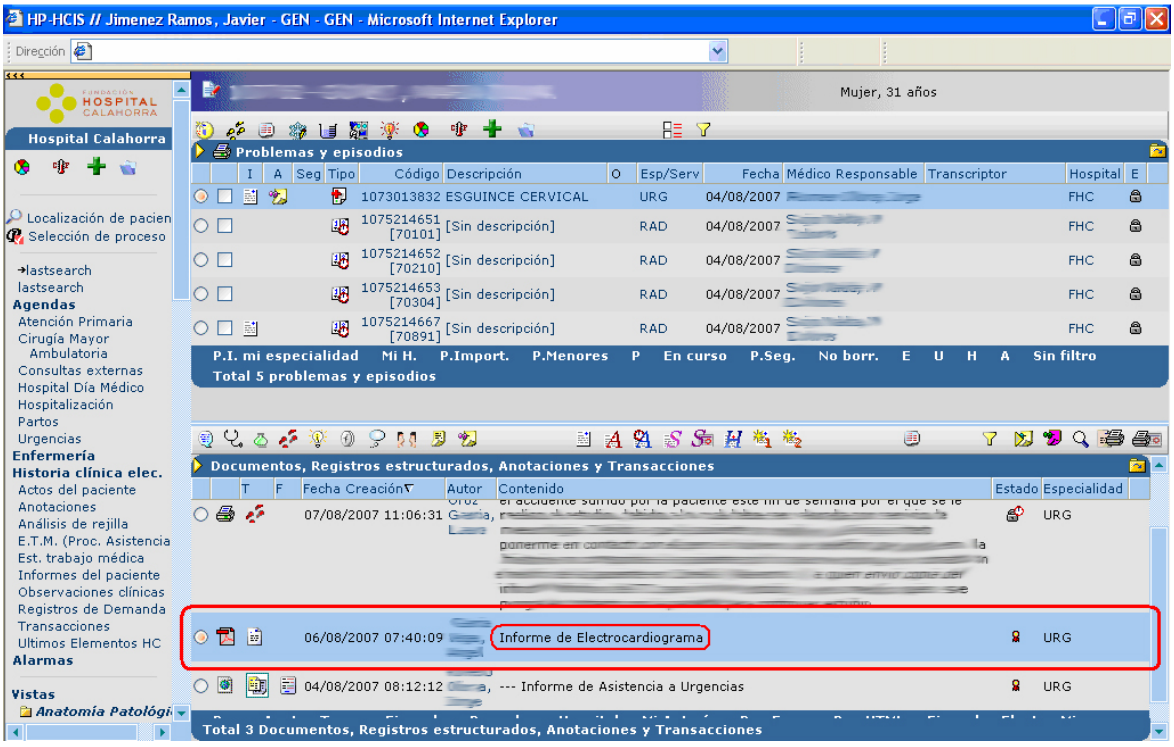

Figura 4. *Pagina del HCIS con el ECG en formato PDF*

Evaluación general	Sí	No
¿Se adecua el sistema a las necesidades concretas?	√	
¿Es fácil/intuitivo usarlo?	√	
Eficacia / Efectividad		
Calidad de los registros de electrocardiografía	adecuada	
He obtenido la misma información	√	
He emitido el mismo diagnóstico	√	
Impacto sobre el personal médico		
¿Se han tenido que establecer cambios?	algunos	
¿Han sido estos cambios bien aceptados?	√	
¿Cuánto tiempo adicional supone?	1 ‘ 54 ‘’	
Impacto Organizativo		
¿Ha mejorado en general la gestión del tiempo?	√	
El cambio asistencial le parece	muy positivo	

Tabla 1. *Resumen de los cuestionarios*

De los cuestionarios se extrae que la implementación ha resultado altamente positiva. Los cambios organizativos han sido muy escasos mientras que, por otro lado, se han producido sensibles beneficios, sobre todo en la gestión temporal.

Para las personas encargadas del registro y envío de las pruebas, la carga adicional de tiempo (estimada por el propio personal sanitario) asciende, en media, a 1’54’’. Esta pequeña carga adicional supone el ahorro de una gran cantidad de tiempo para los profesionales que consultan las pruebas.

En el apartado económico se han valorado los costes directos, necesarios para prestar el servicio (Tabla 2), e indirectos, aquellos que no pueden relacionarse claramente con el sistema.

Directos	Fijos	3 bridges x 90€ c/u + 3 baterías x 365€ c/u + software conversor (399€) = 1764 €
	Variables	50000 ECGs/año x 65 KB/ECG = 3,1 GB

Tabla 2. *Evaluación económica*

Como se observa en la tabla, es necesaria una pequeña inversión económica pero que se compensa con el tiempo que ahorran los auxiliares al no tener que ir a archivo a por las pruebas (ahorro de costes indirectos). En cuanto a la carga adicional en la BBDD, 3,1 GB es una carga perfectamente asumible, dado que el crecimiento anual previo a la implementación del sistema era de unos 5 GB.

4. Discusión

Las ventajas de este sistema frente al sistema anterior son múltiples y variadas. Antes los ECGs se imprimían y guardaban en papel; hoy, el hecho de disponer de ellos en formato electrónico, facilita la consulta automática de cualquier ECG. Otras mejoras son la disponibilidad (en cualquier momento), ubicuidad (desde cualquier lugar), velocidad (servicio automático) y comodidad (no se ha de ir al registro a buscar la copia física del ECG).

En cuanto a la seguridad, la transmisión se efectúa siguiendo protocolos seguros. Se han configurado los *routers* para que transmitan mediante WPA2, cumpliendo así lo que la LOPD exige para la transmisión de datos de carácter personal de nivel alto. Por otro lado, por estar integrado en el HCIS de la FHC, los médicos han de autentificarse para poder acceder a los datos de los pacientes.

Por último, si bien es cierto que el sistema funciona adecuadamente para lo que fue diseñado, se plantea, como línea futura, digitalizar las señales, no la imagen, y disponer visualizadores de la señal ECG. De este modo, el control de los médicos sobre la señal será mayor, dotando al sistema de una mayor potencialidad.

5. Conclusiones

Se ha diseñado y realizado una implantación real de un sistema de electrocardiografía digital apoyado en comunicaciones *wireless*, útil para el uso diario y la práctica clínica. El sistema propuesto permite a los especialistas consultar pruebas electrocardiográficas digitales, de difícil acceso sin el apoyo de las tecnologías de la información teniendo en cuenta las restricciones que existían. Además el sistema proporciona otras ventajas frente a la situación anterior como son la integración de los datos en la HCE o la rapidez en la consulta de datos.

Por otro lado, la evaluación final ha revelado que la implementación del sistema es, en definitiva, costo-beneficiosa, pues consigue ahorrar gran cantidad de tiempo a los especialistas, mientras que la carga adicional para las personas encargadas de realizar las pruebas no es significativa. El coste del sistema es pequeño, comparado con los beneficios y, además, resulta transparente para los pacientes.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Fundación Hospital de Calahorra (FHC) y por el proyecto PET2006-0579 del Programa de Estímulo de Transferencia de Resultados de Investigación (PETRI) del MEC.

Referencias

[1] Allan A. Coming: the era of telemedicine. *IEEE Spectrum*, vol 13, sup 12, 1976, pp 30-35.

[2] Martínez A. Bases Metodológicas para evaluar la viabilidad y el impacto de proyectos de telemedicina. Organización Panamericana de la Salud, 2001. (ISBN: 92-75-32363-1).

[3] Canto R, Olavaria L, Martín C, Serrano P, Márquez S, Benjumea MM. Guía para evaluar sistemas y servicios de salud basados en Telemedicina. Red de Telemedicina, 2004. (ISBN: 84-609-1199-3).

[4] Página web del W3C (World Wide Web Consortium), sección dedicada a SVG. http://www.w3.org/2000/svg (Consultada: Septiembre 2007).

[5] Página web del Altsoft, desarrollador de frameworks para trabajar con XML. http://alt-soft.com/ (Consultada: Septiembre 2007).