

# EVOLUCIÓN DE UN SISTEMA DE ELECTROCARDIOGRAFÍA DIGITAL ASOCIADO A UNA HISTORIA CLÍNICA ELECTRÓNICA EN ARGENTINA

Evolution of a Computerized Electrocardiographic System interoperable with a Computerized Medical Record System in Argentina

Jorge Martinez Garbino<sup>1</sup>, Guillermo Vignau<sup>1</sup>, Bibiana Schachner<sup>1</sup>, Fernando Campos<sup>1</sup>, Daniel Luna<sup>1</sup>, Fernan Gonzalez Bernaldo de Quirós<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Informática en Salud/Hospital Italiano de Buenos Aires, Argentina

**Resumen:** Este artículo describe la evolución tecnológica del sistema de electrocardiografía digital de nuestro hospital a partir de su implementación inicial en el ámbito ambulatorio y en respuesta a las demandas de complejidad creciente generadas por los nuevos ámbitos de atención clínicas que lo utilizan. El relato se realiza en el contexto de la estrecha relación existente entre este sistema y la Historia Clínica Electrónica de desarrollo propio y utilizada en el hospital desde hace más de una década.

**Palabras clave:** Sistemas de Registros Médicos Computarizados; Electrocardiografía, Cardiología.

**Abstract:** *This paper describes the technical evolution of our electrocardiographic computerized system since its first implementation in response to the growing demand and complexity of the medical services that use it. Such description is made regarding the close relationship between this system and the Computerized Medical Record System developed in-house and used in the hospital since more than a decade.*

**Keywords :** *Medical Records Systems, Computerized; Electrocardiography; Cardiology.*

## Introducción

El Hospital Italiano de Buenos Aires es un hospital polivalente de comunidad de carácter universitario y sin fines de lucro con más de 750 camas de internación, 30 centros de atención descentralizada, cerca de 2000 médicos con dedicación full-time y más de 2 millones de consultas anuales. En el año 1998 nuestro hospital lanzó el proyecto “Itálica” para registrar electrónicamente su actividad asistencial comenzando con la codificación de problemas durante las consultas ambulatorias<sup>1</sup>. En el año 2003 el hospital ya contaba con dos sistemas de Historia Clínica Electrónica (HCE) para los ámbitos ambulatorio<sup>2</sup> y de internación<sup>3</sup> sobre una arquitectura cliente-servidor luego migrada a tecnología web por las ventajas de esta tecnología<sup>4</sup>. Como menciona la literatura<sup>5</sup>, pronto se observó la conveniencia de integrar a la HCE los resultados de estudios complementarios<sup>6</sup> como análisis de laboratorio<sup>7</sup> y estudios de diagnóstico por imágenes, lo cual se fue logrando por etapas y en distintos tiempos dando origen al sistema que hoy denominamos Historia Clínica Electrónica Multimedia<sup>8</sup>.

Un capítulo con fuerte desarrollo actual en nuestra institución lo constituye la integración de señales biomédicas a la HCE y dentro de estas la del electrocardiograma ó ECG, un estudio que desde su introducción por Eithoven hace exactamente 110 años<sup>9</sup>, se ha convertido en el procedimiento de diagnóstico cardiovascular más utilizado en medicina<sup>10</sup>. Para integrar este estudio, el hospital decidió en el año 2003 el desarrollo de un sistema a medida para la toma del ECG digital de 12 derivaciones que funcionó inicialmente en el ámbito de atención ambulatoria<sup>11</sup>. La posterior extensión del registro electrónico a todos los ámbitos hospitalarios requirió la ampliación del alcance y la modificación funcional del sistema de ECG digital respecto de su diseño y arquitectura originales. El sistema inicial y su evolución posterior se describe a continuación.

## Materiales y métodos

**Sistema inicial:** el sistema de electrocardiografía digital en su concepción básica consta de un módulo hardware registrador analógico-digital con un ancho de banda de 0.05 a 150 Hz (+/- 10%) en el amplificador de entrada y una relación de rechazo de modo común (RRMC) mayor a 100dB. Con este módulo se toma un ECG de 12 derivaciones durante 15 segundos que se digitaliza con una tasa de muestreo de 1200 Hz por derivación, 12 bits de resolución y 5 microvolts/lb de sensibilidad. Estas señales digitales son transferidas en línea a través del puerto USB a un módulo de software corriendo en una plataforma Win32 que aplica un filtro fijo pasaaltos compensador de desfase y otros filtros opcionales para disminuir la incidencia de perturbaciones ajenas al ECG de diverso origen (red eléctrica, actividad muscular esquelética, deriva de línea de base, etc.) Las señales se submuestran a 300 Hz en línea para facilitar la graficación durante la toma del estudio (Figura 1) y minimizar el tamaño del archivo de almacenamiento de la señal (100 KBytes en este caso), siendo la necesidad de reducir el espacio de almacenamiento significativa en el pasado pero de importancia relativa actual frente a otras características deseables de mantener en las señales en virtud de la gran reducción de precio (U\$/TByte) de las unidades de discos de almacenamiento permanente.

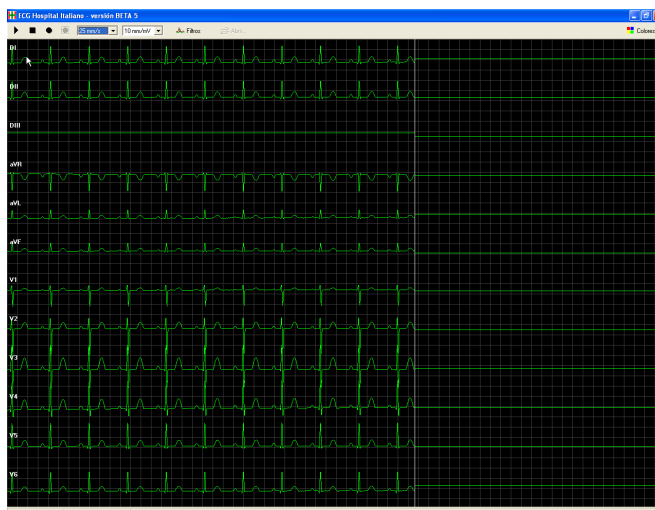


Fig.1 Interfaz del módulo de registro del electrocardiograma digital

El módulo de software realiza además la medición de varios índices cardiológicos mediante la segmentación de los complejos existentes en las señales por técnicas de procesamiento wavelets<sup>12,13</sup>. Las señales crudas quedan almacenadas localmente en forma encriptada en un archivo de texto plano a la par de un archivo con extensión .pdf con la imagen de las 12 derivaciones resultantes.

El sistema es invocado desde un sistema web generador de reportes estandarizados<sup>14</sup> llamado “*RPTGen*” mediante un objeto de tipo ActiveX residente en la PC a través del cual se devuelven los índices medidos y la dirección url del archivo pdf con la imagen de las señales. El sistema *RPTGen* genera entonces un reporte en formato XML (ver Figura 2) bajo el esquema CDA de documentos clínicos de HL7 en el que se guardan los índices y un link HTML al archivo pdf con la imagen de la señal. Ambos archivos son almacenados en un repositorio centralizado de documentos de desarrollo propio con la posibilidad de ser visualizados posteriormente a demanda por el médico desde el sistema de HCE ambulatoria.

Esta arquitectura fue utilizada sin inconvenientes durante 5 años en tres consultorios ambulatorios del servicio de Cardiología, un cuarto de exámenes prequirúrgicos y un quinto de demanda espontánea del plan de salud prepago del hospital.

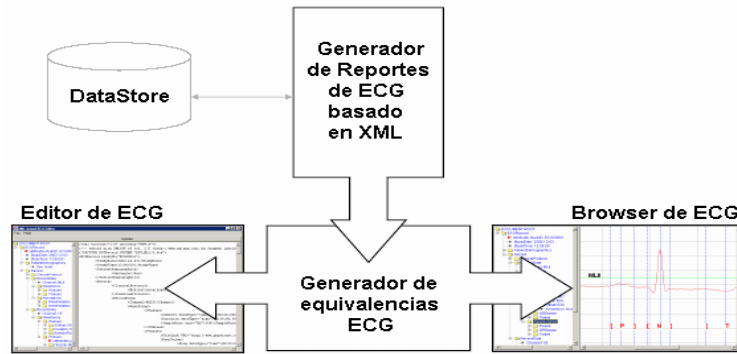


Figura 2. Esquema funcional de la generación del reporte de electrocardiografía digital

**Sistema actual:** en el año 2010, el sistema de HCE comenzó a extenderse del ámbito ambulatorio hacia las terapias intensivas y guardias de emergencia. Se generó entonces la necesidad de digitalizar los ECG de pacientes con estados de salud más complejos sobre cuyos registros en papel los médicos tratantes acostumbra realizar medidas de tiempos y amplitudes. Por la misma época, desde el cuerpo médico de la prepaga del hospital se expresa también la necesidad de comenzar a trabajar en la determinación de indicadores de riesgo cardiológico. Se evidenció entonces la necesidad de preservar los vectores de las señales crudas de cada derivación, lo cual hasta el momento no había sido requerido. Como el sistema RPTGen no era aplicable en los ámbitos de internación ni incluía la funcionalidad de procesar las señales crudas se decidió el desarrollo de un nuevo sistema de control del sistema de registro del electrocardiograma digital denominado “*ECGCaptor*” y la invocación directa del mismo desde el registro personal del paciente dentro del sistema de la HCE con el objeto de eliminar los procesos de carga de datos demográficos reiterada con los consabidos errores que pueden generarse.

El sistema ECGCaptor funciona en dos etapas: en la primera un módulo local es invocado por la HCE a través de un objeto ActiveX en el código JavaScript en el browser. Este módulo controla el flujo de la toma del ECG del mismo modo que el sistema RPTGen pero adicionalmente procesa el archivo de texto plano con las señales crudas, las que son reformateadas a un formato propietario XML con 3 secciones de encabezado, anotaciones y señales muy parecido al del formato SCP-ECG<sup>15</sup>.

En la segunda etapa los archivos del reporte y el pdf con las imágenes de las señales son transferidas a un servicio web remoto centralizado bajo arquitectura SOAP y subidas por este al repositorio documental, mientras que los fragmentos de XML con las señales crudas son almacenadas en campos de tipo XMLType dentro de un esquema exclusivo para señales biomédicas en la base de datos Oracle que contiene toda la información de los pacientes. Las señales así guardadas son pasibles de reprocesamiento futuro.

Otro elemento que se decidió reforzar también fue el de la seguridad en la ejecución de ECGCaptor para lo cual se crearon instancias de validación del usuario y de la aplicación invocantes mediante la generación en línea de claves encriptadas en Base64 tanto durante la llamada inicial como ante cada acceso a la base de datos para la lectura y almacenamiento de datos.

Otra línea de trabajo importante y consumidora de tiempo consistió en la especificación de las plataformas móviles en los que se montaría el sistema para llevarlo hasta el pie de la cama de cada paciente. Se armaron varios prototipos de volúmenes y alturas diferentes y se iniciaron pruebas de usabilidad en los distintos servicios y que incluyeron en algunos la prueba de montar el sistema sobre carros multipropósito de enfermería que se utilizaban también para la administración de medicamentos. Algunos prototipos se muestran a continuación (Figura 3)



Figura 3. Prototipos de plataformas móviles para el sistema de ECG digital. Izquierda: pedestal para la Central de Emergencias. Centro: mesita en la Unidad Coronaria. Derecha: cajonera rodante en Internación General.

Las pruebas mostraron que cada sector necesitaba un tipo de carro diferente y que para un uso ágil y eficiente el mismo debía estar dedicado en exclusiva al sistema de ECG digital. Para compensar el alto costo de fabricación de los carros se eligió como plataforma informática para todo el sistema una notebook Lenovo ThinkPad T60 reacondicionada en fábrica y con garantía de IBM que contaba con procesador Dual Core, 1GB de RAM, placas de red cableada e inalámbrica (wifi) y WinXP Profesional, la que sostiene la ejecución del software de registro, del sistema *ECGCaptor* y del sistema de HCE.

Se configuró además una subred virtual (VLAN) para estos dispositivos sobre la intranet WIFI con un SSID propio en todos los puntos de acceso de los servicios de internación para segmentar el tráfico de señales biomédicas del resto del tráfico informático que transmite la intranet del hospital. Se garantiza así un buen ancho de banda para el sistema de ECG digital.

## Resultados

El despliegue del sistema *ECGCaptor* comenzó a fines del 2011 y actualmente se han instalado 7 unidades, con 5 de ellas en la Unidad de Cuidados Intensivos Coronarios (UCIC) y 2 en la Central de Emergencias de Adultos (CEA). Su uso es permanente, con un promedio de 10 estudios por día por unidad y una tasa de registro en la HCE del 95% de los estudios. Se listan las principales demandas de los usuarios y las respuestas brindadas:

- a. Ambos servicios pidieron una reducción en la cantidad de clicks necesarios para llegar a registrar un estudio en la HCE, lo cual se logró eliminando pantallas de tutoría en línea para la realización guiada del estudio y reforzando la capacitación al usuario.
- b. Ambos servicios pidieron comenzar un registro rápidamente durante una emergencia. Esto se resolvió con un acceso directo al sistema de registro en el escritorio (saltando la invocación desde el sistema de HCE) que permite iniciar un registro en 1 a 2 segundos.
- c. Ambos servicios se quejaron por pérdidas de conectividad a la intranet. Se agregaron puntos de acceso inalámbrico y se equiparon las unidades con cables de red para que ante caídas de la red wifi se conectase la notebook a tomas de red en las cabeceras de cama.
- d. En la Unidad Coronaria se expresó la necesidad de realizar medidas sobre las señales, las cuales si bien son posibles al guardarse las muestras numéricas de las señales, se dificulta

por el hecho de no contar *ECGCaptor* con un visor de señales con un escalado gráfico real. La solución está cercana y se describe en la sección de discusión.

- e. También en la Unidad Coronaria se planteó la necesidad de realizar tomas de estudios de mayor duración y en algunos casos de menos derivaciones. La solución a futuro se bosqueja en las conclusiones.

## Discusión

Analizando las soluciones a las demandas planteadas se observa que el punto “b” debe completarse a futuro con la generación de una rutina de ligado posterior del estudio con el registro electrónico del paciente que incluya una instancia de identificación segura.

Respecto del punto “c” sobre conectividad, se considera que el nivel de confiabilidad en la conectividad inalámbrica alcanzado es muy bueno y que si bien la modalidad de uso compartido de los puntos de acceso inalámbricos con otros dispositivos no médicos no es ideal, la misma está considerada una solución de costo-compromiso aceptable en tanto se implementen ciertas medidas de seguridad en las conexiones inalámbricas<sup>16</sup>.

Para resolver la demanda de realizar mediciones de amplitud y tiempos sobre las señales (punto d) se está incorporando a *ECGCaptor* una rutina de software para el reformateo adicional de las señales al formato *Dicom-Waveforms*<sup>17</sup> con lo cual las mismas podrán ser almacenadas en el PACS existente en el hospital y desde este ser visualizadas con la nueva versión del visualizador web de estudios de DxI en formato DICOM que incluye la funcionalidad de graficar estudios de ECG en formato *Dicom-Waveforms* y posee reglas verticales y horizontales para realizar mediciones.

Resta también la implementación en Java del servicio DICOM Storage en la aplicación web de servicios web centralizados que interactúa con *ECGCaptor*.

La demanda de poder realizar estudios de duración y cantidad de derivaciones arbitraria (punto e) no es atendible con los módulos de hardware y software actuales. Asimismo, durante la ejecución de un proyecto previo de procesamiento de señales para la generación de indicadores de riesgo se detectó que la frecuencia de muestreo del módulo actual resulta insuficiente para generar una señal de calidad suficiente para los usos de las señales en la clínica cardiológica actual y del futuro cercano, pensándose que la misma debe ser elevada a un mínimo de 2 KHz para poder detectar eventos rápidos como las espigas de marcapasos.

## Conclusiones

La complejización de la práctica médica demanda la evolución en paralelo de los sistemas informáticos de soporte tanto de los transversales a todas las especialidades como es la HCE como de los sistemas específicos vinculados a la misma como el de electrocardiografía digital.

Las particularidades de cada servicio generan demandas que no son siempre fáciles de atender en forma inmediata y dilatan las implementaciones.

Si bien el balance actual es satisfactorio por los avances respecto al sistema preexistente en los aspectos de recuperación de las señales originales y de la extensión de la prestación al ámbito de internación y guardia de emergencias, se considera crucial responder a la mayor brevedad posible a las demandas d y e descritas en la sección de discusión y aún no satisfechas.

Debido al requerimiento de mejorar la calidad de la señal se tomó la definición de incorporar nuevos módulos de registro con mejores prestaciones que los existentes en particular en lo que respecta a su frecuencia de muestreo y posibilidad de tiempos de registro arbitrario, por lo que se solicitaron módulos con capacidad de exportación de datos a

numerosos proveedores del mercado local para su testeo exhaustivo. Actualmente nos encontramos en la instancia de definición. Lo anterior también implica que se deberán generar nuevas interfases de integración en el sistema ECGCaptor para los estudios que se tomen con estos módulos, las que coexistirán con las de los módulos actuales.

## Referencias

- [1] Daniel Luna, Fernán González Bernaldo de Quirós, Leonardo Garfí, Enrique Soriano, M. O'Flaherty. Reliability of secondary centralized coding using ICPC. 10th World Congress on Medical Informatics. Londres – 2001.
- [2] Luna D., Otero P., García Martí S., López Osornio A., De los Rios E., Pedernera F., Gómez A., Martínez M., Cifarelli G., Marchetti M., González Bernaldo de Quirós, F. Implementación de una Historia Clínica Electrónica Ambulatoria: El Proyecto ITALICA. 6to Simposio de Informática en Salud - 32 JAIIO. Buenos Aires - Argentina - 2003
- [3] Gonzalez Bernaldo de Quiros F, Soriano E, Luna D, Gomez A, Martinez M, Schpilberg M, Lopez Osornio, A. Desarrollo e implementación de una Historia Clínica Electrónica de Internación en un Hospital de alta complejidad. 6to Simposio de Informática en Salud - 32 JAIIO. Buenos Aires - Argentina - 2003
- [4] Gonzalez Bernaldo de Quiros, F., A. Gomez, D. Luna, M. Martinez, E. Soriano, G. Staccia, M.L. Gambarte, F. Gassino, G. Lopez, and M. Landoni. Migración a plataforma web de una Historia Clínica Electrónica. CBIS'2004 - IX Congresso Brasileiro de Informática em Saúde. Ribeirão Preto-SP. Brasil. - 2004
- [5] Cohen S. PACS and Electronic Health Records. IBM Haifa Labs.
- [6] Gómez A., Campos F., Martínez M., Luna D., Staccia G., Cifarelli G., Kaminker D., Calvo D., Sarandria G., González Bernaldo de Quirós F. Implementación de mensajería HL7 en un sistema de solicitud de exámenes complementarios. 5to Simposio de Informática en Salud - 31 JAIIO. Santa Fe - Argentina – 2002
- [7] Gómez A., Campos F., Kaminker D., Martínez M., Luna D., De Cristóforo M.A., González Bernaldo de Quirós F. Implementación de mensajería HL7 en un sistema de consulta de resultados de laboratorio. 6to Simposio de Informática en Salud - 32 JAIIO. Buenos Aires - Argentina – 2003.
- [8] Fernando Plazzotta, Diego Kaminker, Fernando Campos, Alfredo Cancio, Daniel Luna, Alberto Seehaus, Ricardo García Mónaco, Enrique Soriano, Fernán González Bernaldo de Quirós. Imágenes más allá del PACS: el Proyecto Historia Clínica Multimedia. INFOLAC 2008, Pilar, Buenos Aires, Argentina, 2008.
- [9] Einthoven W. Galvanometrische registratie van het menselijk electrocardiogram. In: Herinneringsbundel Professor S. S. Rosenstein. Leiden, Netherlands: Eduard Ijdo; 1902:101–106.
- [10] Fye WB. A history of the origin, evolution, and impact of electrocardiography. Am J Cardiol. 1994;73:937–949 (edición corregida en Am J Cardiol. 1995;76:641)
- [11] Mastriani, M., A. Gomez, M. Martinez, G. Lopez, A. Lopez Osornio, A. Baum, F. Pedernera, D. Luna, F. Gonzalez Bernaldo de Quiros, and J. Piccinini. Sistema Inteligente de Adquisición de Señales Biomédicas y su vinculación con una Historia Clínica Electrónica. Simposio de Informática en Salud - 33 JAIIO. Córdoba, Argentina, 2004.
- [12] Akay, M.: "Time-frequency and Wavelets in Biomedical Signal Processing". IEEE Press. USA. 1998. ISBN: 0- 7803-1147- 7.
- [13] J. P. Martínez y cols. A Wavelet-Based ECG Delineator: Evaluation on Standard Databases. IEEE Transactions on Biomedical Engineering; vol. 51; no. 4; pp. 570-581; 2004.
- [14] Sosa G, Navas H, Cancio A, Plazzotta F, Otero P, Luna D, González Bernaldo de Quirós F. Integration of specialist and ancillary services system into a HIS: Development and implementation of a generic report system. 12th World Congress on Health Informatics. Brisbane, 2007.
- [15] Health informatics-Standard Communication Protocol-Computer-assisted Electrocardiography. ICS: 35.240.80 IT applications in health care technology, Reference number EN 1064:2005, accesible en <http://www.cenorm.org>.
- [16] Wifi Alliance. Wi-Fi in Healthcare: Security Solutions for Hospital Wi-Fi Networks, Febrero de 2012, disponible en <http://www.wi-fi.org>.
- [17] Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Supplement 30: Waveform Interchange. Borrador disponible en [http://medical.nema.org/dicom/supps/sup30\\_lb.pdf](http://medical.nema.org/dicom/supps/sup30_lb.pdf)

## Contacto

Jorge Martínez Garbino, Bioingeniero  
Coordinador Desarrollos de Bioingeniería  
Departamento de Informática en Salud  
Hospital Italiano de Buenos Aires, Argentina  
Tel.:+541149590200, Ext.4976  
Email: [jorge.garbino@hiba.org.ar](mailto:jorge.garbino@hiba.org.ar)