

# UNA NUEVA ESTACIÓN DE MONITOREO NEONATAL CENTRALIZADA PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS MULTIVARIABLES EN TIEMPO REAL

Aníbal Carpio D<sup>1</sup>, Romain Billois<sup>2,3</sup>, Miguel Altuve<sup>1</sup>, Alfredo Hernández<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Biofísica y Bioingeniería Aplicada, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

<sup>2</sup> Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image, Université de Rennes I, Rennes, Francia

<sup>3</sup> INSERM, U1099, Rennes, Francia

acarpio@usb.ve, romain.billois@univ-rennes1.fr, maltuve@usb.ve, alfredo.hernandez@univ-rennes1.fr

## RESUMEN

En unidades de cuidado intensivo neonatales, el monitoreo de señales fisiológicas de neonatos prematuros contribuye a la detección temprana de eventos fisiopatológicos que atentan contra su vida. En este trabajo se propone una novedosa estación de monitoreo central, desarrollada bajo ambiente LabVIEW, para la adquisición de señales de electrocardiograma, plestimografía y respiración de neonatos prematuros, en tiempo real y, a un costo inferior de los sistemas de monitoreo comerciales. La estación de monitoreo propuesta permite el almacenamiento de señales fisiológicas junto a datos demográficos del paciente para futuro desarrollo de algoritmos de detección y mejor aprovechamiento del *hardware*, gracias a la arquitectura de *software* seleccionada, patrón de programación productor consumidor con una máquina de estados embebida. En el futuro se desea mejorar el flujo de datos entre el monitor de cabecera y la estación de monitoreo central, el incremento del desempeño y la disminución de la latencia en la aplicación.

**Palabras Clave:** monitoreo médico neonatal, sistema de adquisición, instrumentación virtual, LabVIEW.

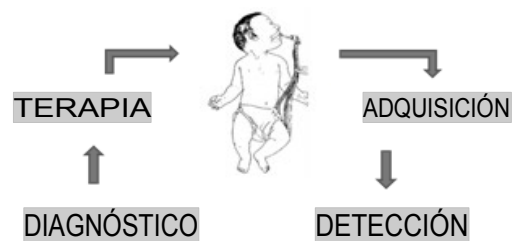
## INTRODUCCIÓN

Los neonatos nacidos antes de las 37 semanas de gestación o que presentan un peso inferior a 2500 gramos son considerados prematuros. Estos neonatos se enfrentan a varios problemas ya que sus órganos vitales no se han desarrollado por completo y se requiere ingresarlos en una unidad de cuidados intensivos neonatales (UCIN), donde podrán alcanzar la madurez fisiológica y peso corporal que permitan al bebe mantenerse vivo sin soporte médico.

Entre las patologías a las cuales se ven enfrentados los neonatos prematuro se tienen: problemas de termorregulación corporal, problemas respiratorios, problemas de nutrición debido a que su capacidad de succión está limitada y posee poca fuerza, infecciones, hemorragias intracraneales e hiperbilirrubina [1]. Sin embargo, los problemas más críticos se presentan en el sistema cardiorrespiratorio, episodios de apnea-bradicardia, los cuales ponen prontamente en peligro la vida del neonato. La apnea en los neonatos prematuros está definida como el cese de la respiración por más de 20 segundos o un período más corto, asociado con cianosis, o una disminución de la frecuencia cardíaca de menos de 100 latidos por minuto (lpm) [2]. La bradicardia en neonatos sucede cuando existe una disminución de la frecuencia cardíaca menor a 100 lpm o inferior al 33% de su valor medio, calculado en una ventana temporal predefinida [3].

El monitoreo médico (ver figura 1) forma parte de los sistemas médicos usados para soporte en la medicina y se define como el proceso de realizar seguimiento a

parámetros fisiológicos utilizando una supervisión continua y rápida de detección de cualquier vestigio de anomalía relacionado a una patología, de forma tal de aplicar una terapia en el menor tiempo posible. Este monitoreo se fundamenta en las etapas de adquisición y posterior análisis de una o varias señales (electrocardiograma, presión arterial, plestimografía, etc.) [4].



**Figura 1: Ciclo de monitoreo médico**

En la actualidad, los equipos para monitoreo médico cuentan con alarmas (sonoras y visuales) para indicar que las señales monitoreadas están fuera de rango y alertar al personal médico de que ha sucedido una eventualidad. Los valores de activación de las alarmas son configurados por el personal de la UCIN.

En comparación a una unidad de cuidado intensivo convencional, una UCIN presenta diferencias en cuanto al ambiente y el uso de los equipos de monitoreo. Primeramente, es necesario crear y mantener un ambiente lo más parecido al útero materno para facilitar el desarrollo

y maduración de sus órganos vitales. Para simular la temperatura intrauterina, los neonatos son colocados en dispositivos especiales (incubadoras) que cuentan con sensores que regulan la temperatura corporal del neonato. También cuentan con una serie de sensores que adquieren los signos vitales del neonato, ECG, respiración, oximetría, etc., que permiten detectar eventos importantes, tales como episodios patológicos cardiorrespiratorios. Estas señales son adquiridas a través de monitores de cabecera ubicados al lado del paciente; para preservar las condiciones ambientales, las alarmas sonoras son desconectadas.

Cada una de las señales adquiridas junto con las notificaciones de alarma visuales de cada paciente, son retransmitidas a un punto de control central, generalmente ubicado en el puesto de enfermeras, de tal forma que el personal pueda detectar un evento fisiopatológico, episodio de apnea-bradicardia, y aplicar la terapia correspondiente en el menor tiempo posible. No obstante, estos sistemas de monitoreo central no permiten la integración y la evaluación de nuevos métodos de tratamiento de señales y limitan la capacidad de utilizar los datos adquiridos del paciente en diferentes protocolos de investigación clínica.

Aún se mantiene en el presente verdaderos retos para el desarrollo y mejoramiento de sistemas de monitoreo médico, que contengan mejores algoritmos especializados para la detección temprana de eventos que ponen en riesgo la vida de un neonato prematuro, específicamente, detección temprana de episodios de apnea-bradicardia que permita al personal de la UCIN aplicar la terapia apropiada rápidamente. Varios trabajos pertenecientes a miembros de nuestros grupos han sido dirigidos justamente hacia la mejora de la detección de estos eventos [5], [6], [7] y [8].

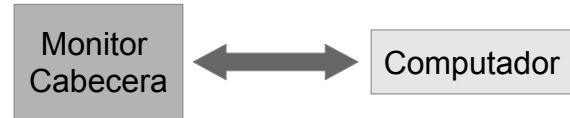
El uso de un computador como plataforma para el desarrollo de sistemas electrónicos de instrumentación [9] y software especializado, como LabVIEW, ha sido una valiosa herramienta para la resolución de problemas en el área de bioingeniería [10][11].

El objetivo del presente trabajo es mostrar el desarrollo de la primera etapa de un sistema de monitoreo centralizado, etapa de adquisición, implementado utilizando LabVIEW como plataforma para la presentación y procesamiento de señales fisiológicas (ECG, plestimografía y respiración), adquiridas a través de monitores de cabecera marca Philip, serie MP20-MP-90.

## METODOLOGÍA

Para la etapa inicial del desarrollo de la estación de monitoreo centralizada propuesta, se requiere la adquisición de señales de ECG, plestimografía y respiración del neonato (etapa de adquisición). Para llevar a cabo esta tarea, dos componentes son utilizados: *i*) el monitor cardiorrespiratorio marca Philips modelo Intellivue y *ii*) la aplicación desarrollada bajo ambiente LabVIEW, encargada de entablar comunicación con el monitor de cabecera y adquirir las señales fisiológicas para su posterior

presentación en la interfaz de usuario que se encuentra alojada en un computador personal. La interconexión entre el monitor de cabecera y la aplicación se realizó a través de un protocolo de conexión serial, tal como se muestra en la figura 2).



**Figura 2: Conexión entre el monitor de la UCIN y el computador personal con la aplicación en LabVIEW**

El modelo del monitor utilizado para el desarrollo de la estación es el Intellivue serie MP20 de la empresa Philips. El protocolo para la exportación de datos utilizado por este monitor es orientado a objetos y basado en un modelo Servidor/Cliente, donde la comunicación ocurre por envío/recepción de comando de mensajes.

Los mensajes de comando se encuentran concentrados en dos grandes grupos:

- Comandos de control de asociación: utilizados para entablar y finalizar la conexión lógica entre el monitor y el cliente, y negociar y fijar parámetros de comunicación.
- Comandos de exportación de datos: encargados de configurar el tipo de datos a ser exportados, demográficos, numéricos o tipo onda, la frecuencia de envío de información y finalmente los datos en cuestión.

La interfaz de comunicación entre el monitor de cabecera y el computador que aloja la aplicación de monitoreo es del tipo serial MIB/RS232 y sigue el estándar IEEE 1073.3.2, con una velocidad fija de 115.2 Kbps (kilobits por segundo).

Cada byte transmitido está caracterizado por:

- Un bit inicio
- Ocho bits de data
- No paridad
- Un bit de parada
- Sin soporte de flujo de control

La aplicación de monitoreo centralizada fue desarrollada para correr en múltiples plataformas. En ese sentido, se utilizaron los controladores VISA de la empresa National Instruments para realizar las operaciones de escritura/lectura de datos desde el computador hacia el puerto serial y viceversa.

Debido a la gran cantidad de datos que la aplicación debe manejar (datos demográficos, ondas en tiempo real, ...), se decidió utilizar un patrón de programación híbrido compuesto de una sección Productor/Consumidor y una máquina de estados embebida en el sector "consumidor". La selección del patrón Productor/Consumidor permite el procesamiento de un alto volumen de datos, en el mismo orden de su recepción, sin el riesgo de pérdida de información, en caso que la aplicación tardara en procesar los datos

obtenidos previamente. Otro punto importante es la maximización del rendimiento de la aplicación al recibir datos, Productor, y mostrar la información adquirida, Consumidor [12]. La máquina de estados embebida permite implementar de manera práctica el protocolo de diálogo entre el monitor Intellivue y el computador, el cual consiste en un proceso de envío “solicitud/respuesta” entre ambas plataformas.

La transferencia de datos entre la sección productor y consumidor se efectuó por medio de colas en vez de utilizar variables locales, lo que agrega un mejor control entre el traspaso de datos de ambos ciclos. Por último, debido a los requerimientos secuenciales de solicitud de información desde la aplicación hacia el monitor y la recepción o respuesta por parte del monitor hacia la aplicación, se decidió incluir una máquina de estados embebida dentro del ciclo consumidor, lo que asegurará operaciones secuenciales según sea el requerimiento.

En la figura 3 se observa la interfaz de usuario diseñada para la aplicación de monitoreo, ésta incluye los siguientes controles e información:

- Control de inicio/parada de la aplicación.
- Controles para seleccionar el puerto de comunicación y la velocidad de transmisión de datos.
- Leds indicadores del proceso de intercambio de mensajes entre la aplicación y el monitor Intellivue.
- Nombre del paciente y gráficos de las señales de ECG, pletismografía y respiración del paciente, así como también el tiempo de grabación



**Figura 3: Interfaz de usuario propuesta**

## RESULTADOS

El uso del patrón productor/consumidor permitió que la aplicación:

- No tuviese pérdida de paquetes de datos mientras se procesaba la data recibida.
- Tuviese un buen rendimiento y aprovechamiento de la capacidad computacional del procesador i7, ya que los ciclos de productor y consumidor se ubicaron en ciclos paralelos, lo que permite la asignación de cada ciclo a núcleos distintos del procesador en el computador.

Se logró presentar de manera correcta y con un retraso de menos de 1 segundo con respecto al monitor de cabecera las señales de ECG, respiración y pletismográfica (ver Figura 3). Además, se pudo almacenar la data adquirida para el desarrollo de futuros estudios y algoritmos de detección en patologías asociadas a neonatos prematuros.

## CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se presentó una nueva estación de monitoreo centralizada en tiempo real para unidades de cuidados intensivos neonatales. Los resultados de este trabajo muestran la factibilidad de realizar la comunicación efectiva entre un monitor de cabecera y una aplicación desarrollada bajo ambiente LabVIEW para el monitoreo de neonatos prematuros.

Los datos demográficos y las señales fisiológicas del neonato, adquiridas en tiempo real, pueden ser almacenados para su posterior uso. El costo la estación de monitoreo centralizada propuesta es mucho menor que las ofrecidas por las empresas proveedoras de monitores de señales fisiológicas. Lo anterior permitirá que unidades de cuidado intensivo de hospitales de países en vías de desarrollo puedan optar por tener una estación de monitoreo central con los beneficios que esto implica. A futuro, la transmisión de información vía puerto serial entre el monitor y la aplicación puede ser mejorado implementando la comunicación usando protocolo de red de área local (LAN. *local area network*) en vez de protocolo serial, o a través de protocolos inalámbricos (Bluetooth, o WiFi), como ya han sido desarrollados por nuestros grupos [4].

Adicionalmente, es factible poder mejorar la transferencia de datos entre los ciclos productor y consumidor utilizando semáforos en vez de colas. Esto posiblemente disminuirá el tiempo y consumo de recursos del procesador. Se desea además aplicar los algoritmos desarrollados por el LTSI de la universidad de Rennes 1, Francia, para la detección de patologías tales como apnea-bradicardia, los cuales permitirán disminuir el tiempo de respuesta del personal de enfermeras y médicos frente a episodios de bradicardia en neonatos.

Finalmente, se espera que luego del periodo de evaluación iniciado en julio del 2012 en la unidad de

cuidados intensivos neonatales del hospital de Rennes, continuar con la próxima etapa del proyecto en donde se implementará la adquisición de ocho pacientes en paralelo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran agradecer al programa de cooperación ECOS NORD por el apoyo prestado al proyecto V09S04.

## REFERENCIAS

[1] Philip, A. G. S. (2005): *The Evolution of Neonatology*. Pediatric Research, 58(4): pp 799-815.

[2] Marino, B. *et al* (2009): *Blueprints Pediatrics*, 5ta edición, Editorial Blueprints: pp 313.

[3] Poets, C. F. *et al* (1993). *The relationship between bradycardia, apnea, and hypoxemia in preterm infants*. Pediatr Research, 34(2): pp 144–147.

[4] Cruz, J. (2007): *Sistema Multiagentes de Monitoreo Aplicados a Cuidados Neonatales*. Tesis de Doctorado, Universidad Simón Bolívar, Venezuela.

[5] Altuve, M. *et al* (2011): *On-line apnea-bradycardia detection using hidden semi-Markov models*. 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS. Boston, United States of America: pp 4373-4377. [6] Altuve, M. *et al* (2011): *Multivariate ECG analysis for apnoea-bradycardia detection and characterisation in preterm infants*. International Journal of Biomedical Engineering and Technology. 5(2-3): pp 247 - 265 .

[7] Cruz, J. *et al*. (2006): *Algorithm fusion for the early detection of apnea-bradycardia in preterm infants*. Computer in Cardiology. 33: pp 473-476

[8] A. Beuchée *et al*. (2007): *Stimulateur kinesthésique automatisé asservi à la détection d'apnées-bradycardies chez le nouveau-né prématuré*, IRBM. 28(3-4): pp 124-130

[9] Manuel, A. *et al* (2002): *Instrumentación Virtual: Adquisición, procesado y análisis de señales*. Alfaomega: pp 15-31.

[10] Luo, Y. *et al*. (2011): *The real-time monitor system based on LabVIEW*. International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT), 2(24-26): pp.848-851.

[11] Priya, N.S. *et al* (2011): *A novel algorithm for sudden cardiac death risk estimation using LabVIEW*. International

Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), Chennai, India: pp 906-909.

[12] National Instruments (2006): *Manual LabVIEW Básico II*: pp 2-16.