



## CARDIOLOGÍA PEDIÁTRICA - TRABAJOS LIBRES

# Estimación no invasiva de la frecuencia cardiaca fetal mediante técnicas de separación ciega de fuentes

## *Non-invasive fetal heart rate estimate by use of blind signal separation techniques*

Luis O. Sarmiento, PhD. (C) Ing. Telecomunicaciones<sup>(1)</sup>; Irina Vélez, Ing. Telecomunicaciones<sup>(1)</sup>; Natalia Flórez, PhD. Ing. Electrónica<sup>(1)</sup>; Juan C. Otero, MD.<sup>(2)</sup>, Francisco Manrique, MD.<sup>(3)</sup>, José Millet, PhD. Ing. Industrial<sup>(4)</sup>

*Bucaramanga, Colombia; Valencia, España.*

El diagnóstico anticipado de la enfermedad cardiaca durante la etapa de gestación del feto es uno de los retos de la medicina actual. La evaluación del electrocardiograma fetal es, por tanto, crucial para diagnosticar diversas anomalías cardiacas. No obstante, extraer el electrocardiograma fetal para su posterior valoración es una tarea complicada debido a muchos factores que abarcan desde las técnicas de adquisición del mismo y afección de factores fisiológicos, hasta la posible comorbidad entre diversas patologías.

Desde años atrás la investigación en el estudio del electrocardiograma fetal y se han empleado técnicas tanto invasivas como no invasivas. La técnica no invasiva más usada es el ultrasonido Doppler pero éste no aporta información respecto a los parámetros morfológicos y temporales del electrocardiograma fetal; este último puede obtenerse mediante la colocación de electrodos sobre el abdomen y el tórax de la madre. Esta técnica abre la posibilidad de caracterizar la señal del electrocardiograma fetal; el problema radica en que la señal se mezcla con otras señales biomédicas, como la del electrocardiograma materno, la respiración, la actividad estomacal y las contracciones del útero, y por interferencias externas provocadas por la red eléctrica o el ruido térmico. Al día de hoy la señal del electrocardiograma fetal está aún en etapa de caracterización, motivo por el cual se hace necesario investigar nuevas metodologías para su estudio.

El objetivo de este trabajo es utilizar técnicas de procesamiento de señales para extraer de manera no invasiva el electrocardiograma fetal partiendo del electrocardiograma superficial de la madre a fin de obtener una estimación de la frecuencia cardiaca fetal.

**PALABRAS CLAVE:** frecuencia cardiaca fetal, electrocardiograma fetal, técnica de separación ciega, análisis de componentes independientes (ICA).

Early fetal diagnosis of heart disease during pregnancy is one of the current medical challenges. Therefore, the evaluation of the fetal electrocardiogram is crucial in the diagnosis of various cardiac abnormalities. However, the performance of the fetal electrocardiogram for its further assessment is a complicated task due to many factors ranging from EEG acquisition techniques and conditions of physiological factors, to the possible comorbidity between different pathologies.

(1) Grupo de Investigación UNITEL, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia.

(2) Hospital Universitario de Santander, Bucaramanga, Colombia.

(3) Instituto del Corazón, Bucaramanga, Colombia.

(4) Universidad Politécnica de Valencia UPV, España.

Correspondencia: Dr. Luis Omar Sarmiento. Universidad Santo Tomás. Cra. 18 No. 9-27.  
Teléfono: (097) 680 08 01 ext.: 14 21. Bucaramanga, Colombia. Correo electrónico:  
luisomar.sarmiento@gmail.com

Recibido: 12/05/2010. Aceptado: 17/06/2010.

From years ago, the scientific investigation is focused in the study of the fetal electrocardiogram and both invasive and non-invasive techniques have been used. The non-invasive most used technique is the doppler ultrasound, but this does not provide information about the morphological and temporal parameters of the fetal electrocardiogram; the latter can be obtained by placing electrodes on the abdomen and thorax of the mother. This technique opens the possibility to characterize the fetal electrocardiographic signal but there is the problem that this signal may be mixed with other bio-medical signals such as maternal ECG, respiration, stomach activity, contraction of the uterus, and by external interference with AC power or thermal noise. As of today, the fetal electrocardiographic signal is still in a characterization stage, which is why it is necessary to investigate new methodologies for its study.

The aim of this work is to use signal processing techniques to perform a non-invasive fetal electrocardiogram starting from the superficial electrocardiogram of the mother in order to obtain an estimate of the fetal heart rate.

**KEY WORDS:** fetal heart rate, FECG (fetal electrocardiogram), BSS (blind source separation, ICA (independent component analysis).

(Rev Colomb Cardiol 2010; 17: 187-190)

## Objetivo

Utilizar técnicas de procesamiento de señales basadas en la separación ciega de fuentes (*Blind Source Separation*, BSS) y el análisis de componentes independientes (*Independent component analysis*, ICA) para extraer de manera no invasiva el electrocardiograma fetal partiendo del electrocardiograma superficial de la madre y así obtener una estimación de la frecuencia cardiaca fetal.

## Diseño

Para la extracción del electrocardiograma fetal se han introducido varias técnicas de procesamiento de señales, las cuales incluyen: filtrado adaptativo (1), técnicas de correlación (2), descomposición de valor singular (3), redes neuronales (4, 5) y separación ciega de fuentes (6, 7); esta última es la que mejores aproximaciones ha demostrado. No obstante, hasta hoy no se cuenta con una técnica totalmente viable y reproducible para su extracción.

Previamente se ha evaluado la técnica de separación ciega de fuentes con varios algoritmos basados en análisis de componentes independientes (8). En general, la aplicación de componentes independientes consiste en buscar una transformación que minimice la dependencia estadística entre sus componentes (9).

Se desarrolló una herramienta propia de posproceso implementada en Matlab R7 (*The Math-Works, Inc., Natick, MA, USA*), en la que se incorporaron diversas funciones para el posproceso de señales. A los registros de la base de datos de DalSy (*Department of electrical Engineering, ESAT/SISTA, Belgium*), se les aplicaron diferentes algoritmos para la extracción del electrocardiograma fetal. Esta base de registros está compuesta por

ocho derivaciones obtenidas de electrodos ubicados en diferentes puntos del cuerpo de la madre. Cinco de las ocho derivaciones se ubicaron en la región abdominal y tres en la torácica. La frecuencia de muestreo fue de 250 Hz y la duración de los registros de 10 segundos.

Luego de obtener las fuentes estimadas por cada uno de los algoritmos, se tuvieron en cuenta dos criterios para seleccionar el método que más se aproximara a extraer la señal electrocardiaca fetal. El primero de ellos fue evaluar la distancia entre las ondas R consecutivas de las fuentes estimadas, con lo cual se determina la frecuencia cardiaca, que para el caso del electrocardiograma fetal debe ser mayor a 100 pulsaciones por minuto (lpm); el segundo criterio es la selección de la fuente con menos perturbaciones ocasionadas por ruido. El algoritmo JADEop reveló los mejores resultados.

Partiendo de estos resultados, el estudio consistió en desarrollar una metodología propia para la extracción de la señal del electrocardiograma fetal y la posterior cuantificación de la frecuencia cardiaca. Esta metodología consta de cuatro pasos: obtener el electrocardiograma superficial (ocho registros) mediante electrodos de succión localizados sobre el tórax y el abdomen de la madre, preprocesar los registros adquiridos (eliminación del ruido eléctrico y línea base), aplicar el algoritmo JADEop y caracterizar la señal del electrocardiograma fetal seleccionada para así cuantificar la frecuencia cardíaca promedio.

## Sitio del estudio

Las tareas multidisciplinarias realizadas en el trabajo se ejecutaron en los laboratorios de investigación de la Facultad de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga y el Hospital Universitario de Santander.

## Pacientes

Se recolectaron registros de una base de datos propia adquirida con un equipo de electrocardiografía estándar computarizada (ECG-PS, *Galix Biomedical Instrumentation*) con el cual se adquirieron señales compuestas por tres registros tomados de las extremidades de la madre y seis registros abdominales. La frecuencia de muestreo fue de 1.000 Hz por derivación y la duración fue de 10 segundos.

## Intervenciones

Dado el tipo de estudio no se hizo necesario llevar a cabo ninguna clase de intervención.

## Mediciones

Una vez se extrajo el electrocardiograma fetal empleando las técnicas de procesamiento de señales, se cuantificaron dos parámetros: amplitud de la señal electrocardiográfica y estimación de la frecuencia cardiaca. Para el cálculo de la frecuencia se introdujeron métodos tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. Los métodos en el dominio del tiempo se dividen en métodos estadísticos y métodos geométricos. Así mismo, los métodos en el dominio de la frecuencia se dividen en métodos paramétricos y métodos no paramétricos.

Para validar este valor de frecuencia cardiaca se realizó un monitoreo fetal a un mismo paciente; el valor de frecuencia obtenido mediante este método se comparó con el valor de frecuencia obtenido mediante el método aquí descrito.

## Resultados

La figura 1 corresponde a las señales adquiridas en uno de los estudios tomados con el electrocardiógrafo ECG-1; los tres primeros registros contienen las derivaciones tomadas de las extremidades de la madre y los restantes contienen las seis tomadas con los electrodos de succión sobre la región abdominal.

La figura 2 muestra los registros con el preproceso realizado (eliminación del ruido causado por la red eléctrica y la línea base).

En la figura 3 se observan los resultados al aplicar la técnica de procesamiento de señales propuesta.



Figura 1. Registros obtenidos de un paciente con el equipo ECG-PS. Las primeras tres señales se tomaron en las extremidades de la madre; las restantes son los registros abdominales.

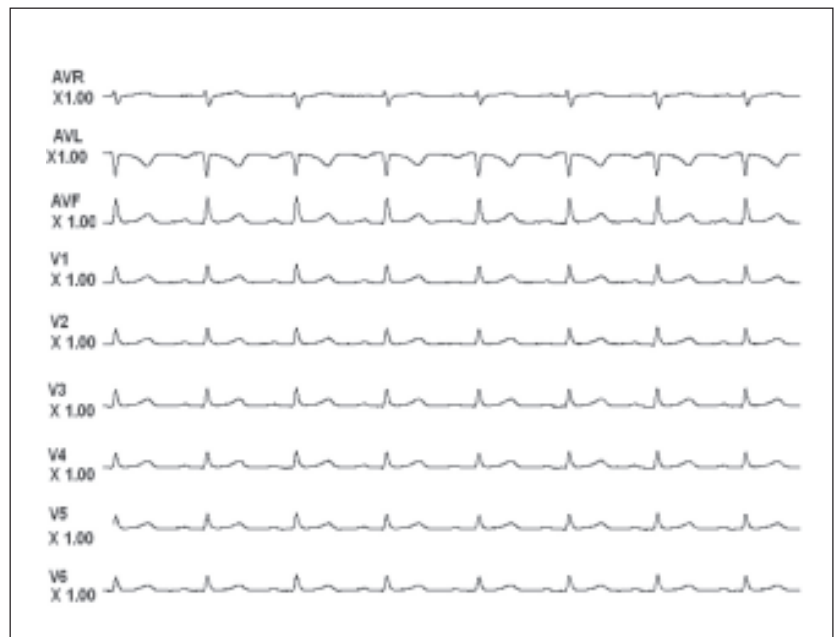


Figura 2. Registros preprocesados, eliminación del ruido de 60 Hz (eléctrico) y sin línea de base.

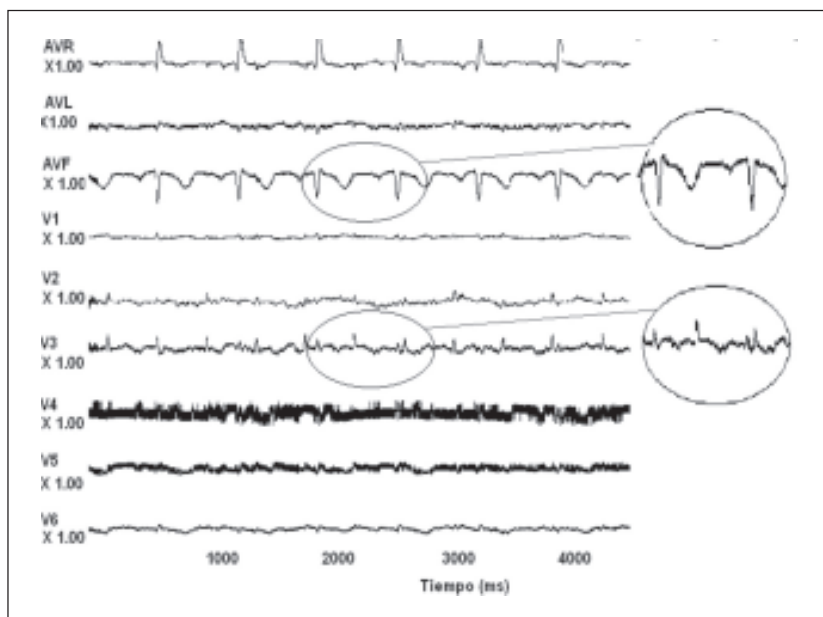


Figura 3. Fuentes estimadas con el algoritmo de análisis de componentes independientes JADEop y cancelación de la línea de base. El registro AVF contiene el electrocardiograma materno y el registro V<sub>3</sub> contiene el electrocardiograma fetal.

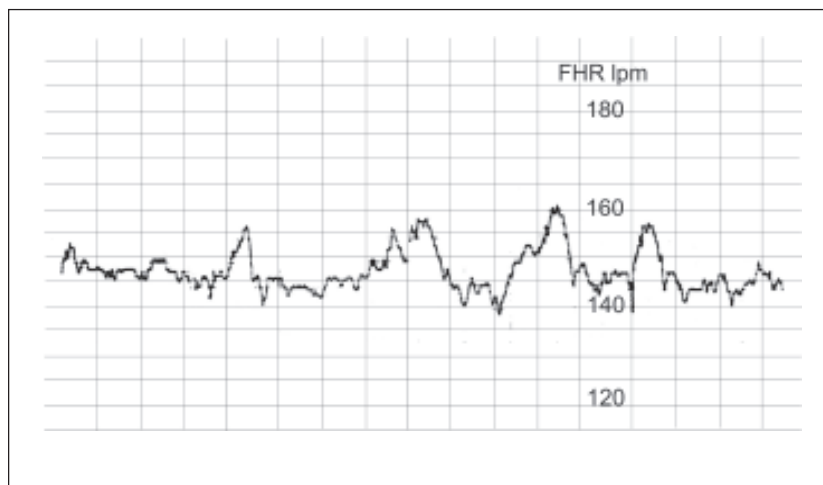


Figura 4. Detalle escaneado del monitoreo fetal, en el que se muestra una frecuencia

El registro número 3 contiene el electrocardiograma materno y el registro 6 el fetal. Las frecuencias cardiaca materna y fetal obtenidas fueron 91 lpm y 151 lpm respectivamente.

La figura 4 muestra un segmento del resultado de un monitoreo fetal realizado a la paciente. Se observa que la frecuencia cardiaca fetal oscila entre 140

lpm y 160 lpm con un valor medio de 150 lpm, valor que corresponde con el valor obtenido empleando la metodología propuesta.

## Conclusiones

Las técnicas de procesamiento de señales basadas en análisis de componentes independientes como el algoritmo JADEop aplicadas al electrocardiograma materno superficial, permiten extraer el electrocardiograma fetal y tener una estimación de la frecuencia cardiaca de manera no invasiva. La metodología propuesta revela resultados prometedores; no obstante se está trabajando en la ampliación de una base de registros propios para la completa validación del método, la extracción de biomarcadores diferentes a la frecuencia cardiaca y la automatización del proceso.

## Bibliografía

1. Ferrara ER, Widrow B. Fetal electrocardiogram enhancement by time-sequenced adaptive filtering. *IEEE Trans Biomed Eng* 1982; 29 (6): 458-60.
2. Abboud S, Alaluf A, Einav S, Sadeh D. Real time abdominal fetal ECG recording using hardware correlator. *Comput Biol Med* 1992; 22 (2): 325-35.
3. Callaerts D, De Moor B, Vandewalle J, Sansen W. Comparison of SVD methods to extract the fetal electrocardiogram from coetaneous electrode signals. *Med Biol Eng Comput* 1990; 28: 217-24.
4. Camps G, Martínez M, Soria E. Fetal ECG extraction using an FIR neural network. *Computers in Cardiology 2001*: 249-252.
5. Camps-Valls G, Martínez-Sober M, Soria-Olivas E et al. Fetal ECG recovery using dynamic neural networks. *Artif Intel Med* 2004; 31 (3): 197-209.
6. Lathauwer LD, Moor BD, Vandewalle J. Fetal electrocardiogram extraction by source subspace separation. In *Proc. IEEE SP/ATHOS Workshop HOS 1995*; 134-138.
7. Zarzoso V, Nandi AK, Bacharakis E. Maternal and fetal ECG separation using blind source separation methods. *Math App Med Biol* 1997; 14 (3): 207-25.
8. Sarmiento LO, Vélez I, Romero J, Otero PJ, Manrique RF. Análisis de componentes independientes para la extracción del electrocardiograma fetal: Un ejemplo de aplicación clínica. *Revista Iteckne* 2007; 4 (2): 30-35.
9. Comon P. Independent component analysis. A new concept? *Signal Processing* 1994; 36 (3): 287-314.