



R-DC-95

DOCENCIA

PÁGINA 1

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y

VERSIÓN: 01



**ESTADO DEL ARTE SOBRE TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DEL
ELECTROCARDIOGRAMA FETAL NO INVASIVO SEGÚN EL
PHYSIONET/COMPUTING IN CARDIOLOGY CHALLENGE 2013**

KAREN JANETH TURIZO BENAVIDES

ESTADO DEL ARTE

DIRECTOR

LUIS OMAR SARMIENTO ÁLVAREZ

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAL A LA QUE PERTENECE EL PROGRAMA ACADÉMICO
TECNOLOGIA EN ELECTRONICA INDUSTRIAL
BARRANCABERMEJA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 05-06-2017**



R-DC-95

DOCENCIA

PÁGINA 2

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y

VERSIÓN: 01

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado



R-DC-95

DOCENCIA

PÁGINA 3

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y

VERSIÓN: 01

DEDICATORIA

Primero que todo doy gracias a Dios por haber acompañado en este camino, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

A mis padres por haberme dado esta segunda oportunidad de culminar mis estudios, por apoyarme cada día y darme ánimo para salir adelante.

A mis hermanos, Marlyn y Henry, por estar a mi lado cada día y confiar en mí.

A mi sobrina Sofía, para que veas en mi un ejemplo a seguir.

A mi mami Argenida por ser tan especial y tenerme siempre en sus oraciones.

A mis familiares por apoyarme en cada momento.

A mi novio Jairo Rincón, gracias por ser tan especial, creer en mi potencial y animarme cada día para culminar este mi gran sueño.

A mis compañeros de clase: Julián, Cesar, Anderson, Jalk, gracias por su amistad y por estar conmigo durante todo este proceso.

A las unidades tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja por ayudarme a realizar mi sueño de convertirme en tecnóloga.



R-DC-95

DOCENCIA

PÁGINA 4

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y

VERSIÓN: 01

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al ingeniero Luis Omar Sarmiento Álvarez director de proyecto de grado de las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja, quien a lo largo del desarrollo del presente trabajo me brindo todo su apoyo y conocimiento.

Cualquiera de los errores u omisiones son de exclusiva responsabilidad de la autora. Documento de trabajo versión final, cualquier tipo de sugerencia aportará a mi crecimiento como investigadora.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	7
PALABRAS CLAVE.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	10
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	100
1.2. JUSTIFICACIÓN	111
1.3. OBJETIVOS	111
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	121
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	121
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES	122
2. MARCOS REFERENCIALES	144
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	177
4. RESULTADOS	178
5. CONCLUSIONES	33
6. RECOMENDACIONES.....	34
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35



R-DC-95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los parámetros utilizados por los autores para la obtención de los resultados	19
Tabla 2. Métodos de puntuación para los registros de la prueba.....	26
Tabla 3. Mejores puntajes en el evento principal para E1 y E2 de acuerdo al conjunto de grabaciones B el cual contiene un total de 100 grabaciones.....	27
Tabla 4. Resultados del desafío para los algoritmos presentados en este libro, Mejores puntajes en el evento principal para E4 y E5 de acuerdo al conjunto de grabaciones B el cual contiene un total de 100 grabaciones.....	28
Tabla 5. Métodos utilizados por los diferentes participantes para obtener los resultados expresados en la tabla 3 y 4.....	30

RESUMEN EJECUTIVO

A pesar de los importantes avances logrados en el campo del procesamiento de señales electrocardiográficas para adultos, el análisis del electrocardiograma fetal no invasivo (NI-FECG) sigue siendo un desafío. Antes del 2013 no existían bases de datos estándar que proporcionen complejos FECG QRS marcados (y otros parámetros morfológicos), y las publicaciones se basaban en bases de datos propietarias o en un conjunto muy limitado de datos registrados de pocos (o más a menudo, sólo uno) individuos.

El Desafío PhysioNet / Computing in Cardiology 2013 permitió abordar algunas de estas limitaciones al publicar un conjunto de datos NI-FECG a la comunidad científica para evaluar las técnicas de procesamiento de señales para la extracción de NI-FECG. El objetivo del desafío era fomentar el desarrollo de algoritmos precisos para localizar complejos QRS y estimar el intervalo QT en señales no invasivas FECG. Utilizando anotaciones QRS de referencia cuidadosamente revisadas e intervalos QT como patrones de referencia, basados en el FECG directo adquirido en forma simultánea, cuando fue posible. El desafío fue diseñado para medir y comparar el rendimiento de los algoritmos de los participantes de manera objetiva. Múltiples eventos de desafío fueron diseñados para probar la exactitud de la estimación FHR básica, así como la precisión en la medición de inter-beat (RR) y QT intervalos necesarios como base para la derivación de otras características FECG.

El proyecto consiste en realizar un estado del arte de las técnicas contenidas en el libro Physiological Measurement, con el fin de organizar los alcances que tuvieron cada uno del participante de acuerdo con los parámetros establecido en el Challenge 2013.



R-DC-95

DOCENCIA

PÁGINA 8

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y

VERSIÓN: 01

PALABRAS CLAVE. FECG, ECG NO INVASIVO, BSS, QRS FETAL

INTRODUCCIÓN

Las deficiencias congénitas del corazón son una de las deformidades de nacimiento más comunes (Sameni, 2008), de manera similar a la electrocardiografía adulto, el estudio morfológico del electrocardiograma fetal (ECG fetal) proporciona información de diagnóstico adicional, ya que la mayoría de los defectos cardíacos tienen alguna manifestación en los trazados electrocardiográficos (D S. R., 2010). Sin embargo, una detección fiable y precisa de los picos fetales es un requisito previo para el análisis morfológico del FECCG.

Desde su introducción en la década de 1960, el monitoreo fetal electrónico se ha convertido en parte de la atención materna de rutina (E, 2009), que incluye el estudio de patrones de frecuencia cardíaca fetal (FHR). Los métodos estándar de monitorización fetal electrónica son no invasivos (es decir, cardiotocografía) o, más recientemente, invasivos (es decir, electrodo de cuero cabelludo fetal). A pesar de su amplia aceptación, estos métodos no son adecuados para el monitoreo anteparto a largo plazo, debido a la falta de especificidad o la compatibilidad exclusiva con el período intraparto. La cardiotocografía por ejemplo, aparte de proporcionar generalmente una estimación promediada para la FHR, requiere un especialista experto para colocar la sonda de ultrasonido durante la medición completa. Como consecuencia de ello, la cardiotocografía es conocida por su baja especificidad (van Laar J, 2009) y su pobre confiabilidad inter e intraobservador (Gynecologist, 2009). Por otra parte, la cardiotocografía se ha asociado con un aumento en el número de intervenciones médicas, mientras que las tasas de mortalidad y morbilidad no han disminuido (Amer-Wählin y Maršál 2011, Bailey 2009). Por otro lado, un electrodo de cuero cabelludo fetal proporciona información sobre la actividad eléctrica del corazón fetal con resolución de alta frecuencia (sobre una base de batir a batir). Sin embargo, su uso se limita al período intraparto y desde el tratamiento de un método invasivo, puede incurrir en el riesgo de infección.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde finales del siglo XIX, se ha sabido que las desaceleraciones de la frecuencia cardíaca fetal están asociadas con la angustia fetal. Las observaciones intermitentes de los sonidos cardíacos fetales (auscultación) se convirtieron en práctica clínica estándar a mediados del siglo XX. Los primeros monitores de frecuencia cardíaca fetal (FHR) se desarrollaron hace más de 50 años y se difundieron ampliamente a mediados de los años setenta. Se esperaba que el monitoreo continuo de FHR resultara en una reducción dramática de la hipoxia fetal no diagnosticada, pero la desilusión se estableció rápidamente ya que los estudios mostraron que los resultados de los monitores de FHR eran a menudo poco fiables y difíciles de interpretar, presentándose aumento de costosas cesáreas, de la depresión posnatal (A, Increased risk of postnatal depression after emergency, 1992) y dolor postoperatorio que afecta negativamente la lactancia materna y el cuidado infantil (Karlström A, 2007). Hubo poca evidencia de que las reducciones en los resultados adversos fueran atribuibles al uso de monitores de FHR.

El Physionet Challenge 2013 consistió en la extracción del FECG a partir del ECG abdominal mediante un método fetal no invasivo, en una colección de registros de un minuto de duración. Cada grabación incluye cuatro señales abdominales no invasivas. Los datos se obtuvieron de múltiples fuentes utilizando una variedad de instrumentación con diferentes respuestas en frecuencia, resolución y configuración, aunque en todos los casos se presentan como 1000 muestras de señal por segundo.

En cada caso, se produjeron anotaciones de referencia que marcaban las ubicaciones de cada complejo QRS fetal, usualmente con referencia a una señal FECG directa, adquirida a partir de un electrodo de cuero cabelludo fetal. Sin embargo, las señales directas no se incluyen en los conjuntos de datos de desafío.

La pregunta de investigación es la siguiente ¿cómo se realiza un estado del arte a partir de las publicaciones de los diferentes participantes contenidas en el libro Physiological Measurement?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo consiste en realizar un análisis comparativo sobre las diferentes técnicas empleadas por los investigadores en el Challenge 2013 para la extracción del electrocardiograma fetal no invasivo.

En el libro Physiological Measurement se encuentran los artículos que describen las diferentes técnicas usadas por los ganadores del Challenge 2013. A partir de la lectura de estos artículos se procederá a realizar un análisis comparativo de las técnicas que se usaron con el fin de clasificarlas según los resultados obtenidos.

Debido a las diversas investigaciones realizadas en el semillero de investigación GITEDI sobre el procesamiento de señales biomédicas, se vio la necesidad de crear y organizar una base de datos sobre los métodos, algoritmos y puntajes obtenidos en el Challenge 2013.

La realización de este estado del arte tiene como objetivo ayudar a solucionar el inconveniente de la falta de una base de datos de fácil comprensión, para así poder seguir realizando las investigaciones correspondientes y avanzar un poco más en el procesamiento de señales biomédicas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar en forma comparativa las diferentes técnicas empleadas por los investigadores en el Challenge 2013 para la extracción del electrocardiograma fetal no invasivo publicados en el libro *Physiological Measurement* de agosto de 2014.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar los trabajos según los mejores puntajes obtenidos en el Challenge 2013 por parámetros de desempeño.
- Describir los diferentes métodos utilizados por cada uno de los autores teniendo en cuenta el pre-procesamiento, detección y cancelación del mQRS, y detección del fQRS.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

De acuerdo con (Borkholder, 2014), la monitorización no invasiva del ECG fetal (fECG) tiene una aplicación potencial en el diagnóstico de enfermedades cardíacas congénitas de manera oportuna y ayuda a los médicos a tomar decisiones más apropiadas durante el parto. Sin embargo, a pesar de los avances en el procesamiento de señales y en las técnicas de aprendizaje automático, el análisis de las señales fECG se ha mantenido en sus etapas preliminares.

Por otro lado (M Varanini, 2014), muestra que la frecuencia cardíaca fetal no invasiva es de gran relevancia en la práctica clínica para monitorear el estado de salud fetal durante el embarazo. Hasta la fecha, sin embargo, a pesar de los avances significativos en el campo de la electrocardiografía, el análisis de ECG fetal

fetal se considera un problema difícil para las comunidades biomédicas y de procesamiento de señales

En trabajos como el de (Sarmiento, y otros, 2010), se describe un método para localizar el complejo QRS en el FECG no invasivo, utilizando técnicas basadas en la cancelación del ECG materno y el Análisis de Componentes Principales. Se emplea una base de datos compuesta de 15 electrocardiogramas abdominales maternos de 4 derivaciones cada una muestreadas a 1000 Hz. La base de datos contiene las anotaciones de referencia que marcan las ubicaciones reales de cada complejo QRS fetal. La posición de cada complejo QRS estimado se compara con la posición de cada complejo QRS real para determinar las prestaciones del método propuesto. El método localiza los complejos QRS fetales con una eficiencia superior al 80% en bases de datos altamente contaminadas con ruido uterino y de movimiento fetal.

A lo largo de los años se ha logrado una precisión mejorada en la estimación de la FCF (Gari D Clifford I. s., 28 de julio de 2014) mediante el uso de técnicas de procesamiento de señales más sofisticadas aplicadas a señales más fiables. Estas mejoras, junto con una mejor comprensión de las limitaciones de la vigilancia fetal, han llevado a una mayor aceptación. Sin embargo, todavía queda mucho por mejorar. Las técnicas electrónicas de monitoreo fetal pueden ser invasivas o no invasivas con evaluación intermitente o continua; Estas técnicas incluyen fonocardiografía fetal, ecografía Doppler, cardiotocografía (CTG), magnetocardiografía fetal (FMCG) y electrocardiograma fetal (FECG)

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1.1. Marco teórico.

Para la extracción del FECCG (**Luis Omar Sarmiento Alvarez, 2015**) se emplean diversas técnicas que pueden agruparse en tres tipos: filtrado adaptativo, descomposición de valores singulares y separación de la fuente ciega BSS.

BSS es la técnica más utilizada para Extracción de la FECCG, ya que se ha demostrado que de BSS los métodos son mejores que los filtros adaptativos y las transformaciones no lineales tienen mayor carga computacional y requieren que algunos parámetros se establezcan empíricamente, esta técnica consiste en recuperar un grupo de señales o fuentes que no han sido observadas directamente desde otro grupo de señales u observaciones obtenidas como mezclas de estas fuentes.

Si la mezcla es lineal y sin ruido, tenemos $\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s}$, donde \mathbf{x} son las observaciones, las fuentes y \mathbf{A} es la matriz de mezcla que contiene los coeficientes que representan la transformación lineal entre fuentes y observaciones. El problema del BSS es resuelto por encontrar una transformación lineal que cumple con $\mathbf{s} = \mathbf{W}\mathbf{x}$ y $\mathbf{W} = \mathbf{A}^{-1}$.

Para solucionar este problema diferentes métodos han sido propuestos basados en componentes principales de análisis (PCA) y en componentes de análisis independiente (ICA). La diferencia principal entre PCA e ICA está en la hipótesis que subyace a la probabilidad de la función de distribución de las señales contenidas en \mathbf{x} . PCA asumió que \mathbf{x} tiene una función de distribución gaussiana que es completamente determinada por sus estadísticas de segundo orden, mientras que la ICA asume que los \mathbf{x} son estadísticamente independientes y no gaussianas y que la función de distribución se determina por sus estadísticas de orden superior.

2.1.2. Marco conceptual.

El intervalo QT “es la medida del tiempo entre el comienzo de la onda Q y el final de la onda T en el electrocardiograma. Si se encuentra anormalmente prolongado puede generar arritmias ventriculares. El intervalo QT es dependiente de la frecuencia cardíaca y tiene que ser ajustado a dicha frecuencia para su interpretación.” (Wikipedia, 2016)

El complejo QRS “es la representación gráfica de la despolarización de los ventrículos del corazón formando una estructura picuda en el electrocardiograma. El complejo QRS aparece después de la onda P y, por tener los ventrículos más masa que las aurículas cardíacas, el complejo QRS es de mayor tamaño que la onda P.” (Wikipedia, 2016)

El electrocardiograma fetal “es un registro médico sobre los potenciales eléctricos producidos por el corazón del feto. Las ondas, complejos y segmentos que lo componen son los mismos que componen el electrocardiograma de un adulto. Cuando el corazón del feto se encuentra trabajando, las señales eléctricas producidas por los impulsos cardíacos se propagan a través de los tejidos más cercanos hasta llegar a los tejidos de la madre” (Wikipedia, 2016)

BSS: BSS consiste en recuperar un grupo de señales o fuentes que no han sido observadas directamente desde otro grupo de señales u observaciones obtenidas como mezclas de estas fuentes.

F₁ measure: es el índice de evaluación para la localización tanto materna, fetal y los complejos QRS, los cuales son definidos a continuación:

$$F_1 = \frac{2xTP}{2xTP+FP+FN}$$



R-DC-95

DOCENCIA

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y

PÁGINA 16

VERSIÓN: 01

Donde TP es el número de QRS complejo verdaderamente detectado, FP es el número de falso positivo(complejo QRS extra falsamente detectado) y FN es el número de falso negativo(complejo QRS detectado). (Chengyu Liu, 2014)

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

3.1. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

Se realiza un análisis comparativo de todas las técnicas utilizadas y se evaluarán de acuerdo a los parámetros establecidos por el Challenge 2013, esto con el fin de mostrar quien fue el que realizó el aporte más significativo al campo de la electrocardiografía fetal no invasiva.

3.2. METODOLOGÍA PROPUESTA

El presente trabajo tiene un enfoque principalmente descriptivo, cuantitativo y de análisis. Es descriptivo, porque describe las técnicas y procedimientos empleados por los autores en el Challenge 2013 el cual está contenido en el libro Physiological Measurement. Es cuantitativo ya que se pretende organizar los resultados obtenidos en el challenge de acuerdo a los puntajes obtenidos en cada prueba. Es de análisis, porque se realizará un análisis comparativo de los artículos contenidos en el libro Physiological Measurement, de acuerdo a los parámetros establecidos por el Challenge 2013.

Se realizarán las siguientes etapas:

- **Recopilación de información.** Se buscará información en el libro Physiological Measurement, en la página web del Physionet Challenge 2013, y en artículos del Computing in Cardiology.
- **Análisis comparativo:** se procederá a tomar los métodos a tratar y organizarlos según sus aportes.
- **Análisis de resultados:** en este punto se extraen los mejores procesos y aportes.
- **Conclusiones y elaboración de informe:** se mostrarán los avances a los que llegaron los participantes y que aportes finales hicieron a la investigación.

4. RESULTADOS

A continuación se muestran las siguientes tablas: parámetro utilizados por los autores para la obtención de los resultados, métodos de puntuación para los registros de la prueba, resultados, métodos utilizados por cada participante.

4.1. Descripción de los parámetros.

De acuerdo con (Clifford G D, 2014) las técnicas presentadas en el desafío eran únicas y originales, pero en general cada una tenía los siguientes pasos:

- Pre-procesamiento
- Detección y cancelación del mQRS
- Detección del fQRS

El primer paso consiste generalmente en pre-procesar las formas de onda sin procesar. En esta etapa el ruido, los artefactos, el desplazamiento de línea de base (es decir, las tendencias) y la interferencia de la línea eléctrica se eliminan mediante el uso de filtros, promediado o filtrado medio.

En la segunda etapa, se obtiene una estimación de las señales maternas utilizando una forma de descomposición, filtrado, generación de plantilla o una combinación de estos tres.

En la tercera etapa, se elimina el componente materno de las formas de onda a través de una combinación de una o más de las siguientes técnicas: reconstrucción del subespacio, resta de plantilla materna (cancelación de señal), filtrado y / o ventanas temporales asíncronas.

Tabla1. Descripción de los parámetros utilizados por los autores para la obtención de los resultados

Comentado [U1]: Ya se lo he indicado varias veces. Hay una carencia total de redacción en este capítulo. El objetivo del capítulo no es pegar una tablas detrás de otras a manera de anexo. El objetivo es explicar detalladamente su trabajo.

Cada tabla debe tener un texto explicativo donde se mencione el nombre de la tabla, el objetivo de la tabla, aspectos relevantes, etc.

Es el capítulo donde más se requiere esfuerzo de texto explicativo no solo por normas de redacción sino también para que el calificador entienda lo que usted hizo y valore el trabajo.

Las tablas tienen diferentes formatos e incluso formatos diferentes

La última tabla parece explicar un poco la primera. De ser así ese no es el orden adecuado.

Las tablas 3 y 4 no muestran cumplimiento del primer objetivo del proyecto el de la clasificación. Parece ser tomada del texto sin ningún análisis.

Autor/ título	Pre-procesamiento	detección y cancelación del mQRS	detección del fQRS
<p>Extracción robusta de ECG fetal y detección de derivaciones abdominales</p> <p>Adreotti et al (2014)</p>	<p>-FIR de fase cero - BP: 3-80 Hz</p> <p>-NO:50 y 60 Hz</p>	<p>-Mejoramiento ICA</p> <p>-Decisión estática</p> <p>-Filtro combinado</p>	<p>Correcciones FQRS</p> <p>Decisión estadística correcciones de la FHR</p> <p>Detecciones fetales QRS</p> <p>Simple Max-Search + Enfoque evolutivo</p>
<p>Combinando y comparando métodos de la extracción fetal del ECG sin los datos del electrodo materno o del cuero cabelludo</p> <p>Behar et al (2013) (non-official)</p>	<p>pre procesamiento de los ECG por conexión en cascada de un filtro pasa bajo y uno pasa alto para eliminar las frecuencias mas altas.</p>	<p>La serie temporal de referencia MQRS se extrajo de uno de los canales abdominales.</p>	<p>El algoritmo suaviza la serie cronológica RR con el fin de eliminar FQRS extra detectado y fijar FQRS perdido.</p>

Autor/ título	Pre-procesamiento	detección cancelación y del mQRS	detección del fQRS
<p>Extracción de QRS fetal de grabaciones abdominales a través de procesamiento de señales basado en modelos y combinación inteligente de señales</p> <p>Haghpanahi y Borkholder(2013)</p>	<p>las interferencias de la línea eléctrica se eliminaron de cada canal usando un filtro de muesca simple de segundo orden a 50 Hz.</p>	<p>En resumen, el método aplica repetidamente una secuencia de descomposición lineal para separar los subespacios de ECG materno y fetal, seguido por eliminación los componentes de mECG y finalmente retroproyección de los componentes.</p>	<p>Con el fin de extraer los picos fetales de los componentes principales, se utilizaron señales kurtosis .A continuación, se ajustó a cero un conjunto de 60 muestras alrededor e incluyendo cada pico materno para eliminar los componentes maternos de la señal. Finalmente, se realizó una detección de pico simple para detectar los picos fetales presentes en la señal</p>

Comentado [U2]: elija un tipo de tabla que pone en encabezado en cada nueva página.

Autor/ título	Pre-procesamiento	detección cancelación y del mQRS	detección del fQRS
<p>Una eficiente detección del complejo QRS fetal no supervisado a partir del ECG materno abdominal.</p> <p>Varanini et al (2013)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Eliminación impulsiva de artefactos -Eliminación de línea de base errante -Cancelación de línea de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> -ICA para separar y mejorar mECG -Mejor selección de canales mECG -Detección de mQRS -MECG eliminación por aproximación SVD 	<ul style="list-style-type: none"> -ICA para separar y mejorar fECG -Detección fQRS en cada componente ICA -Selección de la mejor anotación fQRS estimada
<p>Un algoritmo avanzado para la estimación de la frecuencia cardiaca fetal a partir de grabaciones de baja densidad de electrodos no invasivas</p> <p>Dessi et al (2013)</p>	<p>Se implementó un filtro FIR de paso de banda entre 2 y 46 Hz en cascada un paso bajo (orden 459) Y un filtro paso alto (pedido 2234), diseñado utilizando el método de diseño de fase lineal con ventanas Kaiser.</p>	<p>Ya que el algoritmo se basa en la sustracción de los complejos maternos QRS, la primera etapa principal tiene como objetivo identificar su posición con una buena selectividad con respecto a los fetales. De hecho, la calidad de todas las fases subsiguientes del procesamiento está fuertemente afectada por la calidad de la sustracción materna</p>	<p>El paso final del algoritmo implica la identificación de los complejos QRS fetales en las fuentes estimuladas. En cuanto a la detección materna de QRS, en principio es posible utilizar un algoritmo de detección de QRS.</p>

Comentado [U3]: elija un tipo de tabla que pone en encabezado en cada nueva página.

Comentado [U4]: Esta tabla hace parte de los resultados. Debe ir en el capítulo 4. Debe tener un título y una descripción

Autor/ título	Pre-procesamiento	detección y cancelación del mQRS	detección del fQRS
<p>Modelo de componente principal para la extracción materna de ECG en la detección de QRS fetal</p> <p>Lipponen y Tarvaiven (2013)</p>	<p>Antes de aplicar en el método de PCR, fueron filtrados desde el ECG utilizando el sexto orden Butterworth filtro de paso alto con frecuencia de corte de 2 Hz. En segundo lugar, se eliminó el ruido de la línea eléctrica eliminando el pico de 50 Hz en el dominio de Fourier.</p>	<p>En técnicas de resta de mitigación, el mECG se elimina restando la plantilla escalada del complejo mECG</p> <p>La duración del complejo QRS permanece casi constante a pesar de los cambios en la frecuencia cardíaca y, por lo tanto, los complejos QRS pueden extraerse utilizando una ventana estática de 0,2 s (la parte central del pico R).</p>	<p>Para la detección de fQRS, se utilizó la técnica de filtro adaptado.</p>
<p>Extraer los latidos cardíacos fetales de las grabaciones abdominales maternas: selección de los componentes óptimos principales</p> <p>Di Maria et al (2013)</p>	<p>1.1 filtro de 3-100 Hz</p> <p>1.2 Filtro de muesca</p> <p>1.3 wavelet de-ruido</p>	<p>Filtro de 3-35 Hz</p> <p>Computacion pc</p> <p>Seleccione PC</p> <p>Detectar mR-picos</p> <p>Calcular la plantilla mECG</p> <p>Cancelar mECG</p>	<p>Wavelet de-ruido</p> <p>Computacion PC</p> <p>Seleccione PC</p> <p>Detectar picos fR</p>

Comentado [U5]: elija un tipo de tabla que pone en encabezado en cada nueva página.

Comentado [U6]: La tabla debe complementarse pues en algunos casos no indica nada concreto

Autor/ título	Pre-procesamiento	detección cancelación y del mQRS	detección del fQRS
<p>Un método de varios pasos con la evaluación de la calidad de la señal y el procedimiento de ajuste fino para localizar los complejos QRS maternos y fetales de las grabaciones de ECG abdominal.</p> <p>Liu y Li (2013)</p>	<p>-filtración</p> <p>-Evaluación de la calidad de la señal (SQA)</p> <p>-Análisis de PCA</p>	<p>Localización del complejo QRS maternal</p> <p>Detección de picos R primarios maternos</p> <p>Detección de polaridad de canal</p> <p>Complejo QRS maternal localización</p> <p>Anulación materna del ECG</p> <p>Construcción mECG</p> <p>Ajuste fino para mECG (FTM)</p> <p>Cancelación de mECG</p>	<p>-filtración -Detección primaria de picos R fetales</p> <p>- Localización del complejo QRS fetal</p>
<p>Detección no invasiva de QRS fetal utilizando una red de estado de eco y programación dinámica</p> <p>Lukosevicius y Mazoras (2013)</p>	<p>Se filtro la señal utilizando un filtro de paso de banda dejando sólo las frecuencias entre 3 y 48 Hz. La señal resultante se normaliza para tener una media cero y una desviación estándar de la unidad</p>	<p>La eliminación de mECG a su vez consta de varios pasos.</p> <p>Se detectan los primeros complejos de mECG en una de las cuatro derivaciones.</p> <p>Las derivaciones con asimetría absoluta máxima se selecciona para la detección de mQRS</p>	<p>El procedimiento consta de dos etapas. La primera etapa, es una red neural recurrente artificial del tipo eco state network (ESN) (H., 2001), (H., 2007), (H. L. M., 2009). Obtiene las señales preprocesadas con mECG cancelado como su entrada, y se entrena para producir una señal que indica los picos fR.</p>

Comentado [U7]: elija un tipo de tabla que pone en encabezado en cada nueva página.

Comentado [U8]: La tabla debe complementarse pues en algunos casos no indica nada concreto

Autor/ título	Pre-procesamiento	detección y cancelación del mQRS	detección del fQRS
<p>Detección fetal de golpes en grabaciones de ECG abdominal: enfoques globales y adaptativos en el tiempo</p> <p>Rodrigues (2013)</p>	<p>Aplicando un filtro mediano con una ventana de 200 ms de largo obtenemos una estimación de la señal original para obtener una señal con una línea de base plana.</p>	<p>La detección se realiza por separado en cada canal. Los valores iniciales de Dmin y Dmax son respectivamente 320ms y 550ms.El conjunto inicial de la detección de al menos 110 FQRS, en un registro de 1 min se obtienen nuevos estimados para Dmin y Dmax: $6 / 7K$ y $9/8 K$ respectivamente, donde K es la longitud del intervalo RR.</p>	<p>La detección de FQRS se realiza usando un procedimiento similar al usado para la detección de MQRS pero con las siguientes diferencias.</p> <p>La detección se realiza por separado en cada canal</p>
<p>Extracción del ECG fetal en grabaciones no invasivas por descomposiciones de señal</p> <p>Christov et al (2013)</p>	<p>Se sugirió un método para la cancelación de la ECG materna que consiste en: la detección QRS maternas, P-QRS-T intervalo dependiente del ritmo cardíaco, y la substracción secuencial de la señal media de todo el registro fECG</p>	<p>El método adaptativo de detección de QRS de Christov (Christov I, 2013) se utilizó para detectar el QRS maternal. Se usaron dos entradas de la magnitud QRS más alta, elegidas entre las cuatro derivaciones, como entradas del algoritmo.</p>	<p>El método adaptativo Christov (II, 2004) se ajustó a una hipotética frecuencia cardíaca de 120-180 latidos por minuto y se utilizó para detectar el fQRS.</p>

Comentado [U9]: elija un tipo de tabla que pone en encabezado en cada nueva página.

Comentado [U10]: La tabla debe complementarse pues en algunos casos no indica nada concreto

Autor/ título	Pre-procesamiento	detección y cancelación del mQRS	detección del fQRS
<p>Detección de QRS fetal y estimulación de la frecuencia cardíaca: un enfoque basado en wavelets</p> <p>Almeida et al (2013)</p>	<p>Pre-procesamiento inicial de cada derivación j (j = 1,2,3,4</p> <p>ICA rápido (basado en todas las derivaciones)</p> <p>Detección original de QRS para cada derivación j</p> <p>Detección de QRS adaptada para cada derivación j</p>	<p>Aplicación de la estrategia original de detección de QRS (Martínez, 2004) a complejos QRS maternos detectados, localización de sus límites e identificación de extremos de WT asociados (LMM); Aplicación de la estrategia de detección de QRS adaptada para identificar el FQRS sobre FECG abdominal (SLj, j = 1,2,3,4), que excluye los complejos QRS maternos usando la información del último paso</p>	<p>Combinación de marcas de conductores individuales, con el objetivo de mejorar la identificación FQRS (SLR)</p>

Comentado [U11]: elija un tipo de tabla que pone en encabezado en cada nueva página.

4.2. Resultados del challenge

Las puntuaciones de desafío (Clifford G D, 2014) en los diferentes eventos se definieron así; Las puntuaciones de los eventos basados en FHR (E1 y E4) se calcularon a partir de las diferencias entre la referencia coincidente y la medida de FHR de prueba en 12 instancias (es decir, una cada 5 s). Las puntuaciones de los eventos RR (E2 y E5) se calcularon a partir de las diferencias entre las referencias coincidentes y los intervalos de prueba RR.

El propósito de los eventos RR fue evaluar si un algoritmo era capaz de extraer la posición FQRS absoluta, es decir, la posición de los picos R-fetales en la señal con respecto a los marcadores fiduciales de referencia.

El propósito de los eventos FHR fue evaluar el rendimiento de un algoritmo para proporcionar información clínicamente relevante, independientemente de dónde se localizaron los picos R fetales (por lo que la serie temporal FQRS podría ser muy suavizada antes de calcular la FHR).

Tabla 2. Métodos de puntuación para los registros de la prueba. E significa evento.

Tarea de estimación	Método clasificación	Unidades	Eventos
Serie FHR	Error de clasificación beat por beat	(beat min ⁻¹) ²	E1,E4
Serie RR	Error medio cuadrado raíz	milisegundos	E2,E5

Fuente: Physiological Measurement

Tabla 3. Mejores puntajes en el evento principal para E1 y E2 de acuerdo al conjunto de grabaciones B el cual contiene un total de 100 grabaciones. EL ganador de este evento fue Varanini *et al* (2013) tal como se evidencia en la tabla. E1-E2. E1 y E4 en bpm² y E2, E5 en ms.

Participante/eventos	E1	E2
Varanini <i>et al</i> (2013)	187.091	20.975
Behar <i>et al</i> (2013) (no oficial)	179.439	20.793
Rodrigues (2013)	278.8	28.2
Dessi <i>et al</i> (2013)	684.2	48.0
Liu and Li (2013)	2782.3	81.7
Haghpanahi and Borkholder (2013)	6298.1	159.9
Adreotti <i>et al</i> (2014)	NA	NA
Lipponen and Tarvaiven (2013)	NA	NA
Di Maria <i>et al</i> (2013)	NA	NA
Lukosevicius and Marozas (2014)	NA	NA
Christov <i>et al</i> (2013)	NA	NA

Participante/eventos	E1	E2
Almeida <i>et al</i> (2013)	NA	NA

Fuente: Physiological Measurement

Tabla 4. Mejores puntajes en el evento principal para E1 y E2 de acuerdo al conjunto de grabaciones B el cual contiene un total de 100 grabaciones. EL ganador de este evento fue Adreotti *et al* (2014) tal como se evidencia en la tabla. E1-E2. E1 y E4 en bpm² y E2, E5 en ms.

Participante/eventos	E4	E5
Adreotti <i>et al</i> (2014)	18.1	4.38
Lipponen and Tarvaiven (2013)	28.9	4.84
Behar <i>et al</i> (2013) (no oficial)	29.6	4.67
Varanini <i>et al</i> (2013)	34.0	5.1
Haghpanahi and Borkholder (2013)	50.1	9.1
Lukosevicius and Marozas (2014)	66.3	8.2
Rodrigues (2013)	124.8	14.4
Di Maria <i>et al</i> (2013)	223.2	19.3

Participante/eventos	E4	E5
Liu and Li (2013)	264.9	9.0
Christov <i>et al</i> (2013)	285.1	20.0
Almeida <i>et al</i> (2013)	521.4	33.0
Dessi <i>et al</i> (2013)	639.5	23.8

Fuente: Physiological Measurement

4.3. Métodos.

A continuación se realizar un recuento de los métodos utilizados por los participantes para obtener los resultados expresados en las tablas 3 y 4.

Tabla 5. Métodos utilizados por los diferentes participantes para obtener los resultados expresados en la tabla 2.

Participantes	Métodos
Adreotti <i>et al</i> (2014)	Los autores utilizaron la estimación de la densidad de Merkel para fusionar algoritmos de detección en los diferentes canales para la detección de MQRS. El uso de canales diferenciales para aumentar el conjunto de los cuatro canales abdominales también se estudió
Behar <i>et al</i> (2013) (no oficial)	Su artículo presenta una revisión completa de los métodos clásicos utilizados en el campo para esta aplicación (sustracción de plantilla, separación de fuente ciega y enfoques de filtro de Kalman). La contribución clave (aparte de proporcionar algoritmos de benchmarking), fue el detalle de cómo entrenar y combinar estos algoritmos con el fin de lograr un mejor rendimiento
Haghpanahi and Borkholder (2013)	Utilizó el método de deflación de sameni (2008) (descomposición subespacial iterativa y filtrado de Kalman) para eliminar el MEEG. También usaron PCA en los cuatro canales abdominales y seleccionaron las mejores series de tiempo FQRS de los dos enfoques (deflación / PCA). Los autores usaron kurtosis como un proxy para la calidad de la señal y para clasificar las señales residuales de los métodos de deflación y combinado y subconjunto de éstos para inferir la serie de tiempo FQRS

Participantes	Métodos
Varanini <i>et al</i> (2013)	Eliminó el MECG de la señal abdominal utilizando un algoritmo de sustracción de plantilla basado en PCA y la ICA aplicada sobre los residuos. Y luego se seleccionó uno de los residuos basándose en: conocimiento de la FHR típica, media de la primera derivada RR absoluta y media de la segunda derivada RR absoluta y el número de QRS detectado
Dessi <i>et al</i> (2013)	Utilizó un enfoque de resta de plantilla seguido de un paso ICA, detección y corrección de FQRS y selección de canales. Para realizar el paso de sustracción de plantilla, los autores observaron que realizar la operación a una frecuencia de muestreo alta (que aumentó el número de datos a 8 kHz) era importante para permitir la alineación de cada ciclo MECG con la plantilla y lograr una cancelación superior. Con el fin de construir la plantilla MECG ciclo de los autores seleccionados beats basado en la correlación umbral para evitar la inclusión de latidos anormales en la plantilla

Participantes	Métodos
Lipponen and Tarvaiven (2013)	Utilizó un enfoque de sustracción de plantilla basado en PCA para eliminar el MECG. Construyeron la matriz de diseño para las ondas P y QRS y las ondas T por separado y la PCA aplicada para identificar los componentes principales. Los vectores propios más significativos se adaptaron a las épocas de las olas individuales del MECG con el fin de eliminarlos
Di Maria <i>et al</i> (2013)	Tomó un PCA muy estándar y enfoque de resta de plantilla. El objetivo principal del trabajo fue explorar la selección del mejor componente principal con el fin de identificar el mejor canal MECG y el mejor canal FECG después de realizar la cancelación MECG
Liu and Li (2013)	Se realizó el prefiltrado, luego la detección de MQRS, luego la sustracción de plantilla y finalmente la detección de FQRS en el residuo. Es importante notar que utilizaron un índice de calidad (entropía de la muestra) para excluir canales de mala calidad, lo que teóricamente es mejor que la detección FQRS en cada uno Canal y tomar la decisión basada en la regularidad del intervalo RR (como la mayoría de los participantes)

Participantes	Métodos
Lukosevicius and Marozas (2014)	Se centró en la aplicación de un detector de QRS utilizando una red neuronal de estado de eco (ESN), un enfoque basado en datos de aprendizaje de máquina estadística. El ESN es entrenado con las cuatro señales residuales (obtenidas usando el método de cancelación de MEG de Materns et al (2007)) como canales del flujo de entrada, y una probabilidad de detección de QRS como output.it debe observarse que los autores no Se centran en los algoritmos de extracción, pero en el detector QRS utilizando múltiples canales

Participantes	Métodos
Rodrigues (2013)	Empleó un filtro de Wiener que tomó como entrada, los tres canales abdominales con un número de coeficiente (91) para filtrar el MQRS del cuarto canal. Los autores también utilizaron el MIT abdominal y Direct Fetal Electrocardiogram Database fue incluido en set-a, set-b.
Christov <i>et al</i> (2013)	Describió un método de sustracción de plantilla, siendo la longitud de la plantilla dependiente del ritmo cardíaco, seguido por un método de mejora que combinaba los cuatro canales abdominales. El plomo combinado se obtuvo utilizando i) PCA, ii) RMS o iii) Hotelling T-cuadrado. La combinación final se obtuvo tomando una media sobre estos tres métodos y, aunque FQRS detección se realizó en este combinado de plomo
Almeida <i>et al</i> (2013)	Tomar una aproximación wavelet a borrar y extraer el ECG fetal. Aunque un análisis tiempo-frecuencia parece muy prometedor, el gran cross-over en el dominio espectral entre las señales maternas y fetales y el ruido, significa que este enfoque parece ser limitado. Sin embargo, los autores señalan que su método es altamente dependiente del pre -procesamiento métodos empleados. Esta observación notable es verdad para cada método en mayor o menor grado.

Fuente: libro *Physiological Measurement*

CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo general planteado al inicio del trabajo, se logró realizar un análisis de las diferentes técnicas utilizadas por los participantes del challenge 2013 para la extracción del electrocardiograma fetal no invasivo (NI-FECG).

También se realizó la clasificación de los mejores puntajes obtenidos, en cada evento según los parámetros establecidos.

Así mismo se describieron los diferentes métodos utilizados por los autores, teniendo en cuenta; el pre-procesamiento, detección y cancelación de mQRS y la detección de fQRS.

Para terminar se puede añadir que las personas que obtuvieron el mejor puntaje en el evento principal son Varanini y compañía quienes optaron por utilizar una técnica de remoción de mECG tal como se muestra en la tabla 2.

5. RECOMENDACIONES

Dada la importancia de los datos obtenidos en el Challenge, y que se encuentran contenidos en este estado del arte, se considera importante, continuar realizando investigaciones periódicas de este tipo para mantener actualizada la información, y poder obtener así datos más actualizados sobre el procesamiento de señales biomédicas y los aportes que se están realizando constantemente al campo de la electrocardiografía fetal no invasiva (NI-FECG).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(A, Increased risk of postnatal depression after emergency, 1992)

- A, B. P. (1992). *Increased risk of postnatal depression after emergency*.
- A, B. P. (1992). *Increased risk of potnatal depression after emergency*. Med. J. Aust.
- Borkholder, M. H. (2014). *Fetal QRS extraction from abdominal recordings via model-based signal processing and intelligent signal merging*. Rochester. NY.
- Chengyu Liu, P. L. (2014). *A multi-step method with signal quality assessment and fine-tuning procedure to locate maternal and fetal QRS complexes from abdominal ECG recordings*.
- D, B. S. (2001). *Guidelines and recommendations for safe use of Doppler Ultrasound in perinatal application J. Matern. Fetal Neo. Med*.
- D, S. R. (2010). *A review of fetal ECG signal processing; issues and promising direction Open Pacing Electrophys*.
- E, B. R. (2009). *Intrapartum fetal monitoring Am. Family Phys*.
- Gari D Clifford, G. B. (2014). *Physiological Measurement*. IOP Publishing.
- Gari D Clifford, I. s. (28 de julio de 2014). *Non- invasive fetal ECG analysis*. IOP Publishing.
- Gynecologist, A. C. (2009). *intrapartum fetal heart rate monitoring: nomenclature, interpretation, and general management principles Obstet. Gynecol*.
- K, A.-W. I. (2011). *ST analysis of fetal electrocardiography in labor Semin. Fetal Neonatal Med*.
- Karlström A, E.-O. R.-G. (2007). *Postoperative pain after cesarean birth affects breastfeeding and infant care JOGNN*.
- Luis Omar Sarmiento Alvarez, A. G. (2015). *Hybrid BSS Techniques for Fetal ECG Extraction Using a semi-synthetic database*.

- M Varanini, G. T. (2014). *An efficient unsupervised fetal QRS complex detection from abdominal maternal ECG*. Italy.
- Peters M, C. J.-F.-G. (2001). *Monitoring the fetal heart non-invasively: a review of methods*. J Perinat. Med.
- Sameni. (2008). *Extraction of fetal cardiac signals from an array of maternal abdominal recordings*.
- Sarmiento, L. o., Irina, V., Natalia, F., C, O. J., Francisco, M., & Jose, M. (2010). *Estimacion No invasiva de la frecuencia cardiaca fetal mediante tecnicas de separacion ciega de fuentes*. *Revista Colombiana de Cardiologia*.
- van Laar J, P. C. (2009). *Fetal autonomic response to severe acidaemia during labour* *Int. J. Obstet. Gynaecol*.