



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



Iztapalapa, CDMX, a 14 de octubre de 2022

Actualización de proyecto de investigación

Monitoreo fetal anteparto mediante fonografía abdominal

El presente documento presenta un informe del proyecto de investigación “Monitoreo fetal anteparto mediante fonografía abdominal” y una planeación para el periodo 2022-2024.

Palabras clave: Fonografía y electrocardiografía abdominal; separación ciega de fuentes; seguimiento fetal, sonidos cardiacos, intervalos sistólicos.

Objetivo general

En colaboración con el Laboratorio de Ingeniería de Fenómenos Fisiológicos Perinatales, ampliar el conocimiento sobre el embarazo y el desarrollo perinatal, desde la perspectiva de la ingeniería biomédica y la fisiopatología, con el propósito de contribuir a los esquemas de vigilancia materno- fetal e infantil.

Metas particulares

Generar y evaluar métodos no invasivos para el seguimiento fetal a través de la investigación de los siguientes fenómenos:

- a. Electrocardiograma abdominal
- b. Fonograma abdominal
- c. Sonidos cardiacos e intervalos sistólicos

Participantes

Dra. Aída Jiménez González	Responsable
Dra. María del Rocio Ortiz Pedroza	Participante

Antecedentes

Un problema reconocido en el ámbito del monitoreo fetal anteparto es el bajo desempeño de los métodos tradicionalmente usados en la clínica para evaluar el bienestar fetal (i.e., la calidad de oxigenación fetal), definir si un embarazo debe ser clasificado como de bajo o alto riesgo y, en consecuencia, establecer el mejor tratamiento a seguir. En los últimos 50 años esto se ha reflejado en una muy pequeña reducción en el porcentaje de muertes fetales, siendo el grupo clasificado como de bajo riesgo el caso en que la mayoría de las pérdidas fetales “inesperadas” se presenta. Esta situación

UNIDAD IZTAPALAPA

Av. Ferrocarril de San Rafael Atlixco No. 186, Col. Leyes de Reforma 1ª Sección,
Iztapalapa, CDMX, C. P. 09310, Celular: 55 4525 8951 Email: aidaj@xanum.uam.mx



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



ha llevado a pensar que los problemas de identificación del riesgo fetal pueden deberse a factores como error humano, el posible desconocimiento de ciertos mecanismos fisiológicos involucrados en la respuesta fetal a la hipoxemia o incluso la falta de sensibilidad en las herramientas de diagnóstico. En cualquier caso, esto ha indicado que aún a la fecha es necesario trabajar en métodos que coadyuven a la identificación correcta de fetos en riesgo, especialmente en aquellos embarazos que aparentan ser de bajo riesgo.

En un intento por incrementar la eficiencia en las herramientas de diagnóstico, y considerando que un feto puede pasar a un estado hipoxémico riesgoso en cualquier etapa del embarazo, se han destinado esfuerzos hacia el monitoreo a largo-plazo de parámetros fisiológicos sensibles al nivel de oxigenación fetal. Dichos parámetros, conocidos como la frecuencia cardíaca fetal (FCF), los movimientos “respiratorios” fetales (MRF), y los movimientos corporales fetales (MF), pueden medirse en forma no-invasiva mediante el uso de transductores pasivos que detectan señales bioeléctricas (electrocardiografía abdominal), biomagnéticas (magnetocardiografía abdominal) o sonoras (fonografía abdominal).

Con esta idea en mente, y con el propósito de estudiar ampliamente el desarrollo fetal y de valorar la condición materno-fetal, en el Laboratorio de Ingeniería en Fenómenos Fisiológicos Perinatales (LIFPer) –del cual formo parte– se han enfocado los esfuerzos en la generación y evaluación de métodos no-invasivos que permitan estudiar parámetros como la FCF, los sonidos cardiacos fetales, los MRF, los MF, y la actividad electromiográfica uterina.

En particular, este proyecto se ha enfocado en el análisis del fonograma y del electrocardiograma abdominales, señales obtenidas de forma pasiva al colocar un transductor sensible sobre el abdomen materno y que permiten el acceso no-invasivo a parámetros fisiológicos fetales de interés como la FCF latido-a-latido (cuyas variaciones son la respuesta fetal más temprana a la hipoxemia y reflejan la madurez de sistema nervioso autónomo fetal), los MRF y MF, los sonidos cardiacos fetales (cuya morfología refleja el estado de las válvulas cardiacas fetales y sus eventos de cierre y apertura durante el ciclo cardiaco y cuyas características espectrales y energéticas parecen depender de la madurez cardiaca fetal) y, recientemente, de los intervalos sistólicos (que son indicadores de la contractilidad cardiaca), pero completamente enmascarados por interferencias maternas y ambientales cuyas características en amplitud y frecuencia dificultan que los métodos tradicionales de procesamiento de señales extraigan información fetal confiable (Jiménez-González & James 2009, Jiménez-González & James 2013). El principal problema de estos métodos, desde el punto de vista de este proyecto, es que al enfocarse en la extracción de un solo parámetro mediante el uso de criterios rígidos, son poco adaptables a las variaciones que naturalmente caracterizan a las señales biológicas (ya sea entre sujetos o a lo largo del tiempo) y desaprovechan la riqueza de información fisiológica existente en las mismas.

Alternativamente, este proyecto considera al fonograma y al electrocardiograma abdominales como una combinación de señales de interés que, al provenir de diferentes fuentes (e.g., materna, fetal o ambiental), serían estadísticamente independientes. De esta manera, al asumir independencia estadística en los componentes de las señales, sería posible “separarlos” por medio del análisis por componentes

UNIDAD IZTAPALAPA

Av. Ferrocarril de San Rafael Atlixco No. 186, Col. Leyes de Reforma 1ª Sección,
Iztapalapa, CDMX, C. P. 09310, Celular: 55 4525 8951 Email: aidaj@xanum.uam.mx



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



independientes (ICA, por sus siglas en inglés), pero adecuado para trabajar con registros con muy pocos canales. El método, basado en estadística de alto orden, ya había sido estudiado por Davies & James (2007) en registros con un solo canal (single-channel ICA, SCICA) y aplicado exitosamente en la separación de los componentes de señales biomédicas como el electroencefalograma y el magnetoencefalograma, pero nunca en el fonograma o en el electrocardiograma abdominal (con pocos canales o un solo canal de registro).

Objetivo particular

Extraer información confiable para evaluar el bienestar fetal mediante el uso de SCICA (e ICA espacio-tiempo, o STICA por sus siglas en inglés) como métodos alternativos para la descomposición del fonograma y del electrocardiograma abdominales.

Avances y resultados obtenidos en el periodo 2015-2021 (publicaciones indizadas/arbitradas)

1. Jimenez-Gonzalez A. Timing the opening and closure of the aortic valve using a phonocardiogram envelope: a performance test for systolic time intervals measurement. *Physiological Measurement* 42(2): 025004, 2021
2. Jimenez-Gonzalez A, Castaneda-Villa N. Blind extraction of fetal and maternal components from the abdominal electrocardiogram: An ICA implementation for low-dimensional recordings. *Biomedical Signal Processing and Control* 58: 101836, 2020
3. Aída Jiménez-González and Norma Castañeda-Villa. “On the classification of in-dependent components for biomedical signals de-noising: two study cases”. In: *Pattern recognition techniques applied to biomedical problems*. Berlín, Alemania. Springer. 2020, pp. 1-33. DOI:10.1007/978-3-030-38021-2_1
4. M. E. Rodríguez García, S. Charleston Villalobos, N. Castañeda Villa, A. Jiménez González, R. González Camarena, T. Aljama Corrales. “Automated extraction of fine and coarse crackles by independent component analysis”. *Health and Technology*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12553-019-00365-w>.
5. E. Méndez Rubio, N. Castañeda Villa, A. Jiménez González. “Extracción del electrocardiograma fetal mediante técnicas de separación ciega de fuentes: una implementación para registros abdominales de cuatro canales”. *Memorias del XLI Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, 2018, pp. 70-73.
6. K. P. Zea-Espinosa, N. Castañeda Villa, A. Jiménez González. “Extracción automática del ECG fetal en registros abdominales de cuatro canales mediante la atenuación del ECG materno y el análisis por componentes independientes”. *Memorias del XLI Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, 2018, pp. 218-221, 2018.
7. E. O. Mejía-Tovar, A. Jiménez-González, N. Castañeda-Villa, L. Jiménez-Ángeles, R. Valdés-Cristerna. “Filtrado de imágenes de resonancia magnética cardiovascular mediante análisis por componentes independientes”. *Memorias del XLI Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, 2018, pp. 82-85.

UNIDAD IZTAPALAPA

Av. Ferrocarril de San Rafael Atlixco No. 186, Col. Leyes de Reforma 1ª Sección,
Iztapalapa, CDMX, C. P. 09310, Celular: 55 4525 8951 Email: aidaj@xanum.uam.mx



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



8. L. A. Porras-Illescas, A. Jiménez-González, N. Castañeda-Villa. “Uso del Análisis por Componentes Independientes en la extracción de artefactos de la respuesta Mismatch Negativity”. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 38(2): 420-436, 2017.
9. Castaneda-Villa N, Jimenez-Gonzalez A, Ortiz-Posadas MR. An assessment strategy for proposals of engineering projects in the bachelor of biomedical engineering curriculum at Universidad Autonomy Metropolitana-Iztapalapa. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference Proceedings* 3659-3662, 2015
10. N. Castañeda-Villa, E. R. Calderón-Ríos, A. Jiménez-González. “On the identification of an ICA algorithm for auditory evoked potentials extraction: a study on synthetic data”. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 36(2): 107-119, 2015. [dx.doi.org/10.17488/RMIB.36.2.2pdf](https://doi.org/10.17488/RMIB.36.2.2pdf)
11. V.A. Jaimes Romero, C.A. Casas Sánchez, A. Jiménez Anguiano, A. Jiménez González. “Interfaz gráfica de usuario para adquisición, almacenamiento y etiquetado de biopotenciales polisomnográficos en ratas y gatos. Memorias del XXXVIII Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica, 2015, pp. 408-411.
12. A. Jiménez González. “Programa de talleres intertrimestrales de los Laboratorios de Docencia en Ingeniería Biomédica de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa”. *Memorias del XXXVIII Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, 2015, pp. 432-435.

Dirección de proyectos terminales de licenciatura concluidos en el periodo 2014 -2021

1. Benjamín Eduardo Aguilar Arce, 2143045614, Licenciatura en Ingeniería Biomédica, “Diseño, construcción y caracterización de una etapa de acondicionamiento analógico para fonocardiografía fetal de banda ancha”, 2019.
2. Alitzel Soriano Silva, 2133042816, Licenciatura en Ingeniería Biomédica, “Influencia de la frecuencia y el ángulo de incidencia del haz ultrasónico en la medición de la velocidad del flujo sanguíneo: caracterización del error de medición”, 2019.
3. Evaluación del desempeño de transductores acústicos ante señales simuladas de fonocardiografía fetal. Diego Iván Hernández Miranda (*Ingeniería Biomédica*, 2019).
4. Andrés Navarro Galindo, 2113009422, Licenciatura en Ingeniería Biomédica, “Análisis cuantitativo de señales electromiográficas del esfínter anal externo en sujetos con patologías del piso pélvico: un estudio durante la maniobra de pujo”, 2018.
5. Nuria Renata Ortiz Gracidas, 209340637, Licenciatura en Ingeniería Biomédica, “Desarrollo de módulos software para procesamiento digital de señales polisomnográficas de ratas”, 2018.
6. Enrique Antonio Méndez Rubio, 207309538, Licenciatura en Ingeniería Biomédica, “Extracción semiautomatizada del electrocardiograma fetal mediante técnicas de separación ciega de fuentes: una implementación para registros de cuatro canales”, 2018.
7. Procesamiento de señales de pulsos obtenidas con un marcador de eventos para la simulación de señales de movimientos respiratorios fetales (MRF). Andrea Flores Estrada (*Ingeniería Biomédica*, 2018).

UNIDAD IZTAPALAPA

Av. Ferrocarril de San Rafael Atlixco No. 186, Col. Leyes de Reforma 1ª Sección,
Iztapalapa, CDMX, C. P. 09310, Celular: 55 4525 8951 Email: aidaj@xanum.uam.mx



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



8. Evaluación de un algoritmo de medición del gasto energético basado en la medición de la frecuencia cardíaca y la intensidad de la actividad física. Carolina Yutsil Martínez Estrada y Fernando Novales Campos (Ingeniería Biomédica, 2018).
9. Guzmán Cruz Juan José, 204202630, Licenciatura en Ingeniería Biomédica, “Interfaz gráfica de usuario para medir potenciales evocados: Una aplicación para un equipo Neuropack Σ basada en LabVIEW”, 2015.
10. Análisis cuantitativo del patrón respiratorio y de la arritmia sinusal respiratoria en mujeres con embarazos de entre 20 y 40 semanas de gestación Kevin Aldama Ruiz (Ingeniería Biomédica, 2015).
11. Jaimes Romero Vasti Alely, 208218829, y Casas Sánchez César Antonio, 208216966, Licenciatura en Ingeniería Biomédica, “Sistema de adquisición y análisis digital de biopotenciales polisomnográficos en ratas y gatos: un desarrollo basado en LabVIEW”, 2015.
12. Zaragoza Piceno, 209340603, Licenciatura en Ingeniería Biomédica. “Interfaz gráfica de usuario para generar cardiogramas latido a latido a partir del electrocardiograma abdominal”, 2014.
13. Arellano López Marco Antonio, 209312731, Licenciatura en Ingeniería Biomédica. “Extracción de parámetros respiratorios maternos a partir del fonograma abdominal: un estudio basado en análisis por componentes independientes”, 2014.
14. Conformación y evaluación de sistemas para adquisición de señales fonográficas fetales. Ana Cecilia Gutiérrez Ambriz. (Ingeniería Biomédica, 2014).
15. Simulador de sonidos cardiacos fetales. Maximiliano Martínez Cordera (Ingeniería Biomédica, 2014).

Objetivos y metas del proyecto para el trienio 2022 – 2024

Objetivos

- Desarrollar un prototipo para registrar señales fonográficas (en adulto y feto) con respuesta en frecuencia amplia y sensibilidad alta.
- Desarrollar un prototipo para caracterizar el desempeño de transductores electroacústicos usados en fonocardiografía.
- Generar una base de datos con registros electrocardiográficos, fonográficos y ultrasónicos (como referencia) en un modelo de adulto normal para validar el desempeño de las herramientas desarrolladas para medir intervalos sistólicos.
- Generar una base de datos con registros electrocardiográficos, fonográficos y ultrasónicos (como referencia) en un modelo fetal normal para monitorear la edad gestacional por semana y validar el desempeño de las herramientas desarrolladas.

UNIDAD IZTAPALAPA

Av. Ferrocarril de San Rafael Atlixco No. 186, Col. Leyes de Reforma 1ª Sección,
Iztapalapa, CDMX, C. P. 09310, Celular: 55 4525 8951 Email: aidaj@xanum.uam.mx



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



Metas para el trienio 2022 – 2024

Componente	Productos de trabajo	Cantidad
Investigación	Artículos en revista indizada	3
	Artículos de memorias in extenso	1
Docencia	Proyectos terminales	5
	Tesis de Posgrado (Maestría)	2

Duración del proyecto

10 años

Resumen de cambios

Duración del proyecto

UNIDAD IZTAPALAPA

Av. Ferrocarril de San Rafael Atlixco No. 186, Col. Leyes de Reforma 1ª Sección,
Iztapalapa, CDMX, C. P. 09310, Celular: 55 4525 8951 Email: aidaj@xanum.uam.mx