

# Señales Electrohisterográficas en Predicción de Parto Pretérmino: Una revisión narrativa

## Electrohysterographic Signals in Preterm Birth Prediction: A Narrative Review

Marco Antonio Chamorro Lucero<sup>1</sup>\* María Fernanda Acosta Romo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Mariana. San Juan de Pasto, Colombia

\* **Dirigir correspondencia a:** marcochamorro@umariana.edu.co

### RESUMEN

**Introducción:** En la práctica clínica se utilizan varios métodos o técnicas para monitorización de la actividad uterina, por lo que resulta trascendental identificar por medio de una revisión narrativa ¿cuáles son las técnicas para diagnóstico de parto pretérmino?, se abordó dos áreas temáticas: comparación de señales electrohisterográficas con otras pruebas diagnósticas y análisis de señales electrohisterográficas. **Métodos:** Se realizó una revisión de artículos científicos, en inglés, español, en bases de datos científicas, utilizando combinaciones de palabras claves: electrohisterografía, actividad eléctrica uterina, bioseñales uterinas, parto pretérmino, diagnóstico de parto pretérmino. Se tuvo en cuenta que hayan sido publicados entre los años 2012 a 2019. **Conclusiones:** La electrohisterografía es la técnica más sensible para la monitorización uterina en comparación con otras pruebas diagnósticas no invasivas utilizadas para diagnóstico de parto pretérmino.

**Palabras clave:** Trabajo de parto prematuro; electromiografía; diagnóstico precoz; procesamiento de señales asistido por computador.

### ABSTRACT

**Background:** In clinical practice, various methods or techniques are used to monitor uterine activity, so it is essential to identify, through a narrative review, ¿what are the techniques for diagnosing preterm delivery? Two thematic areas were addressed: comparison of signals electrohysterographic with other diagnostic tests and analysis of electrohysterographic signals. **Methods:** A review of scientific articles, in English and Spanish, was carried out in scientific databases, using combinations of keywords: electrohysterography, uterine electrical activity, uterine biosignals, preterm delivery, diagnosis of preterm delivery. It was taken into account that they were published between the years 2012 to 2019. **Conclusions:** Electrohysterography is the most sensitive technique for uterine monitoring compared to other non-invasive diagnostic tests used for diagnosis of preterm labor.

**Keywords:** Preterm labor; electromyography; early diagnosis; signal processing computer-assisted.

### Proceso Editorial

Recibido: 09 12 19

Aceptado: 23 09 20

Publicado: 09 10 20

[DOI 10.17081/innosa.98](https://doi.org/10.17081/innosa.98)

©Copyright2020.

Chamorro<sup>1</sup> et al.



## I. INTRODUCCIÓN

Los métodos frecuentemente utilizados para predecir el parto pretérmino como los antecedentes obstétricos, síntomas y factores de riesgo maternos, no son tan precisos a la hora de realizar el diagnóstico, por lo que se requiere de otras técnicas para una mejor predicción (1). En la actualidad el avance tecnológico ha permitido adelantos importantes en el campo de la salud, en favor de atender las necesidades del ser humano, por medio de sensores y análisis de datos se desarrollan herramientas que mejoran los servicios de salud en el monitoreo de enfermedades y caracterización de patrones para apoyar los diagnósticos médicos.

El parto pretérmino (PP) es la principal causa de morbi-mortalidad fetal; se considera como un nacimiento prematuro aquel que ocurre después de las 20 semanas de gestación y antes de finalizar las 37 semanas de gestación, independientemente del peso al nacer (2), a pesar de los esfuerzos realizados para evitar y tratar esta patología no se ha observado un cambio en su incidencia en los últimos años, convirtiéndose en un importante problema de salud pública.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reporta que la mayor parte de las defunciones de recién nacidos se debe a los partos prematuros y a complicaciones relacionadas con el parto como infecciones y defectos congénitos, cada año nacen en el mundo unos 15 millones de bebés antes de llegar a término, es decir, más de uno en 10 nacimientos (3). Aproximadamente un millón de niños prematuros mueren cada año, a nivel mundial.

La prematuridad es la primera causa de mortalidad en los niños menores de cinco años, en la mayoría de países la tasa de nacimientos prematuros oscila entre el 5% y el 18% de los recién nacidos (4).

Para realizar el diagnóstico de Amenaza de Parto Pretérmino (APP), se utilizan diferentes pruebas diagnósticas como: ecografía transvaginal, medición de longitud cervical, test de fibronectina, (5) medición de las concentraciones cervicovaginales de interleucina-6, (6) concentraciones cervicovaginales de prolactina en el segundo trimestre. (7) La electrohisterografía es una de las nuevas herramientas de ayuda diagnóstica que se está utilizando, se define como una serie de registros de la actividad mioeléctrica uterina, esta técnica no es invasiva y es capaz de distinguir contracciones efectivas y no efectivas al parto, (8) útil para detectar cambios bioeléctricos que se presentan en la actividad muscular uterina en el embarazo (9).

En Colombia se han realizado algunos estudios investigativos con señales electrohisterográficas (EHG), en los cuales se han utilizado bases de datos de gestantes de otros países, específicamente de Estados Unidos, las cuales para fines de analizar las representaciones gráficas de las señales son útiles, pero no se ha demostrado la efectividad de estas en predicción de parto pretérmino en nuestro contexto (10). Por lo mencionado, resulta trascendental identificar a todas aquellas mujeres que tengan riesgo de presentar una amenaza de parto pretérmino, por medio de diferentes métodos o herramientas clínicas y diagnósticas que permitan determinar con mayor precisión el PP.

El presente artículo tiene como objetivo describir, a través de una revisión narrativa la experiencia documentada por algunos autores sobre técnicas o medios de diagnóstico para la

predicción de parto pretérmino, las unidades de revisión fueron artículos científicos de diferentes nacionalidades, escritos en inglés y español publicados en revistas indexadas de ciencias de la salud e ingeniería; se consultaron descriptores Mesh, DeCS y Unesco y bases de datos como: PubMed, Scielo, Scopus, IEEE, Science Direct, DOAJ (Directory of Open Access Journals), Nature, Springer, con búsquedas en temas afines y utilizando combinaciones de palabras claves en inglés y español: electrohisterografía, electrohysterography, actividad eléctrica uterina, uterine electrical activity, bioseñales uterinas, uterine biosignals, parto pretérmino, preterm delivery uterine, electromiograma uterina, electromyogram uterine, diagnóstico de parto pretérmino, diagnosis of preterm birth, como requisito para ser incluidos dentro de esta revisión, se tuvo en cuenta que hayan sido artículos publicados entre los años 2012 a mayo 2019, se tomaron 105 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión, posteriormente, se realizó revisión integrativa, de los cuales 45 respondieron al objetivo planteado.

El interés surge a partir de la necesidad de contribuir a mejorar la calidad de la atención a gestantes y disponer de nuevas evidencias que permitan diagnosticar con mayor precisión el parto pretérmino.

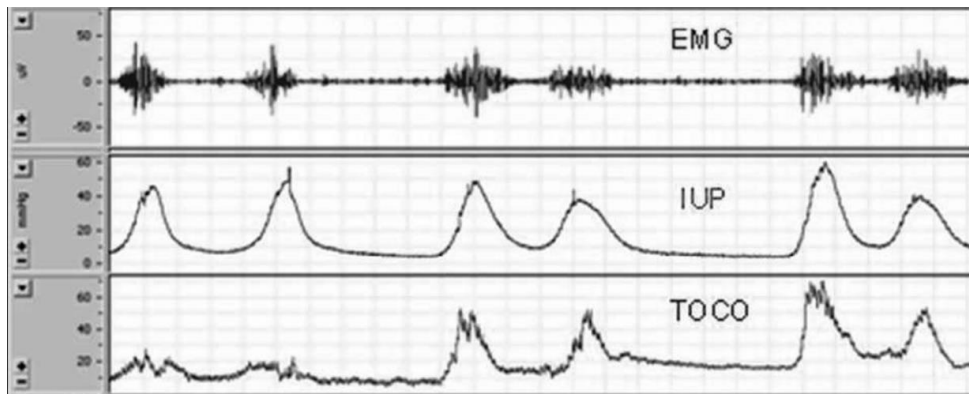
## II. COMPARACIÓN DE SEÑALES ELECTROHISTEROGRÁFICAS CON OTRAS PRUEBAS DIAGNÓSTICAS.

Durante la mayor parte del embarazo, el útero está inactivo, tiene una baja excitabilidad y un acoplamiento débil que evita la propagación y las contracciones globales. A medida que aumenta el acoplamiento intercelular durante la gestación, puede producirse la propagación con una velocidad de conducción lenta que proporciona una longitud de onda corta que podría permitir la propagación entrante. Las ondas reentrantes (un patrón anormal de actividad en un sistema fisiológicamente normal) podrían ser un mecanismo de parto prematuro, pero se esperaría que se auto-terminaran a menos que se fijen en alguna heterogeneidad estructural. Este enfoque cuantitativo se centra en la electrofisiología del músculo liso uterino y considera la contracción uterina como el objetivo de control primario (11).

El diagnóstico precoz para la prevención del parto pretérmino es actualmente uno de los retos perinatales, ya que su identificación y tratamiento oportuno genera mayores posibilidades de vida del recién nacido prematuro. Para realizar el diagnóstico de APP, se utilizan diferentes técnicas o métodos de monitoreo de la actividad mioeléctrica uterina, entre las cuales se encuentran: ecografía transvaginal, medición de longitud cervical, test de fibronectina, tocodinamometría (TOCO), catéter de presión intrauterina (IUPC) y electrohisterografía uterina (EHG). El TOCO es un método no invasivo, mide externamente la contractilidad uterina y evalúa las etapas completas del parto. Sin embargo, este no proporciona una medición cuantitativa de intensidad de contracción y proporciona solo una medida única de la presión uterina global. El método IUPC, proporciona una medición cuantitativa de la presión intrauterina, es un procedimiento invasivo (12). EHG mide el potencial de acción generado por los músculos durante el embarazo y el parto, no es invasivo y las señales se sincronizan a tiempo con las contracciones uterinas, detecta cambios bioeléctricos que se presentan en la actividad muscular uterina, mediante electrodos en superficie abdominal (13). Los electrodos se colocan sobre el abdomen de la paciente, se utilizan diferentes tipos, los más comunes son los electrodos Ag/AgCl Beekman, fueron utilizados en un estudio en el Departamento de

Obstetricia y Ginecología del Hospital de Amiens, Francia y en el Hospital Universitario Landspítali en Islandia, utilizaron 16 electrodos en el abdomen de la gestante, ubicados en el eje mediano vertical uterino y un electrodo de referencia en cada lado de la cadera de la mujer. (14) Otros autores analizaron tres posiciones diferentes de colocación de los electrodos para determinar su precisión de parto prematuro, los resultados evidenciaron que la posición óptima para la adquisición de la señal de EHG es el eje medio uterino, (15) zona donde se detectó el mayor número de contracciones consistentes con las registradas con el IUPC. Debido a la dificultad en la interpretación y las interferencias de la señal de EHG de origen biológico, esta técnica a pesar de mostrar muchas bondades en comparación a otras técnicas (no es invasiva, mayor sensibilidad, capacidad para identificar distocias durante el trabajo de parto), aun no se utiliza en la práctica clínica (14). La EHG tiene como principal ventaja respecto la medición de la presión intrauterina que no es invasiva y con respecto al toco que es capaz de distinguir contracciones efectivas y no efectivas del parto, (8) además de ser más preciso en detectar las contracciones. (Ver **Figura 1**).

**Figura 1** Registro de diferentes técnicas de monitorización, electromiografía (EMG), (IUP), (TOCO).



Fuente: Lucovnik, Kuon y Garfield (16)

La señal EHG en comparación con la tocodinometría externa para la detección de la contracción uterina, señaló que, en la segunda etapa del parto, la electrohisterografía no funciona mejor que la tocodinometría externa. Por lo que se puede decir que, la electrohisterografía tiene una mayor sensibilidad para la detección de la contracción uterina que la tocodinometría externa durante la primera etapa del parto. La electrohisterografía identifica más contracciones que las técnicas convencionales (17).

Al comparar la capacidad de detección de contracciones uterinas y la calidad de señal obtenida a través de IUP, externa TOCO, y de EHG, se evidencia que la electrohisterografía es capaz de detectar un mayor número de contracciones uterinas que el TOCO (18). Varios Estudios han encontrado que las técnicas de registro mono polares o bipolares de EHG detectan más número de contracciones; asegurando que la actividad uterina es mucho más precisa detectada con EHG que con TOCO. (19, 20)

Otros autores, realizaron evaluación automática de la frecuencia de contracción en pacientes no embarazadas por electrohisterografía. Se realizaron mediciones de electrohisterografía

abdominal, ultrasonido transvaginal (TVUS) y niveles de progesterona durante el final de fase folicular y luteal del ciclo de la menstruación. Las señales EHG determinaron el cambio de la frecuencia de contracción a las fases del ciclo menstrual (21).

Se hace necesario resaltar que se han utilizado otras pruebas para la predicción de parto pretérmino como la Proteína C reactiva (PCR) plasmática en el segundo trimestre del embarazo. En un estudio donde se compararon las concentraciones plasmáticas de PCR reactiva entre dos grupos. Se determinó que las mujeres del grupo A, presentaron concentraciones significativamente más altas de proteína C reactiva comparadas con las embarazadas del grupo B  $p < 0.0001$ . Un valor de corte de 1.6ng/mL presentó un valor por debajo de la curva de 0.71 con sensibilidad del 71.1%, especificidad del 54.1%, valor predictivo positivo del 12.5% y valor predictivo negativo del 95.3% (22).

Los métodos utilizados para diagnosticar el parto prematuro verdadero, son aún poco confiables en pacientes obesas que en pacientes no obesas. Según un estudio realizado con el objetivo de evaluar el efecto del índice de masa corporal (IMC) en la precisión del electromiograma uterino en la predicción del parto prematuro, concluyeron que la precisión de la monitorización EHG uterina no invasiva y su valor predictivo para el parto prematuro no se ven afectados por la obesidad. Puede identificar con precisión el trabajo de PP real, independientemente del alto IMC de la paciente (23).

Un estudio realizado por Euliano, en el que se comparó la eficacia del tocodinómetro y el electrohisterograma en relación con el catéter de presión intrauterino, indicó que el electrohisterograma tiene mayor sensibilidad y proporciona trazos de fácil interpretación durante la monitorización Intraparto. Además, reportó que cerca de 90 % de las contracciones identificadas por el catéter de presión intrauterino se asocian con el trazo del electrohisterograma (24).

Asimismo, se han comparado patrones específicos de los datos fisiológicos de la EHG con la frecuencia cardíaca fetal, se obtuvieron características del dominio de tiempo y frecuencia, mediante un modelo estadístico, evidenciando una alta precisión en la clasificación de registros de gestantes con trabajo de parto y registros de gestantes en falso trabajo de parto (25).

### III. ANÁLISIS DE LAS SEÑALES ELECTROHISTEROGRÁFICAS

#### 3.1. Preprocesamiento

Varios autores determinan que el contenido espectral de las señales EHG se encuentran en baja frecuencia entre (0.3 - 1,5) Hz, y en alta frecuencia entre (1,5 - 3) Hz, además dichos rangos evitan la influencia de la frecuencia cardíaca (26), (27), (28), (13).

#### 3.2. Segmentación y extracción de características

Para la extracción de características de las señales EHG se han probado diferentes métodos, con relación a los parámetros lineales se encontró que los autores analizaron la densidad espectral de potencia, análisis de frecuencia mediante Transformada de Fourier y Transformada wavelet, algunos utilizaron wavelet symlet 5 (27). Además, los índices no lineales como entropía de muestra, los cuadrados medios de raíz (RMS), dimensión de

correlación, exponente de Lyapunov, (29) (9), la reversibilidad en el tiempo, la dimensión fractal de las señales (30).

Entre estos estudios se determina que la frecuencia media y el RMS para la señal completa, son las características espectrales con mejor eficiencia para distinguir los registros con síntomas de amenaza de PP (28). Otra característica común entre los estudios es la diferencia significativa entre los registros de parto a término y pretérmino registrados antes de la semana 26 (31). Además, las descomposiciones espectrales realizadas por Transformada de Fourier, Transformada Wavelet y el modelado autorregresivo (AR), dieron resultados similares y pueden ser útiles para el diagnóstico de PP (32, 33, 34, 35). El análisis del espectro de potencia Wavelet se caracteriza por una frecuencia dominante pico, de fácil interpretación y puede mejorar las indicaciones del tratamiento tocolítico (36).

Otros autores reportan que la detectabilidad del inicio y fin de la contracción, así como las rupturas temporales o espectrales, analizadas mediante el criterio de información de Bayes o coeficientes de correlación lineal, podrían ser factores importantes para extraer de manera confiable las características de EHG que pueden predecir un posible riesgo de parto pretérmino (27, 37). También se han evaluado las señales EHG por medio de índices de eficiencia global (GEI) determinando que la intensidad aporta más características a la eficiencia miométrial que la excitabilidad y sincronización de las señales (38). Una característica general entre todos los métodos de extracción de características se da a medida que avanza el embarazo, todas presentan tendencias cada vez mayores lo cual resulta obvio.

### **3.3. Clasificación de las señales mediante procesos automáticos**

En las últimas décadas, y con el avance de la tecnología, se han utilizado múltiples herramientas informáticas para analizar las señales EHG. Se han desarrollado sistemas automáticos mediante Inteligencia Artificial (IA) con el fin de clasificar, aprender, adaptar y modificar conjuntos de datos.

Para extraer características del espectrograma de señal EHG y determinar la entropía de la han utilizado máquinas de soporte vectorial (MSV) mediante el método adaptativo autorregresivo (AAR) (34). Para la clasificación de señales EHG se han utilizado redes neuronales artificiales, MSV, algoritmos genéticos, análisis de componentes principales, redes bayesianas y características lineales y no lineales de las señales (39). Dentro de las MSV utilizaron análisis de cuantificación de recurrencia (RQA) para extraer características; y análisis de componentes principales (PCA) para distinguir patrones particulares para el parto a término y pretérmino. Sin embargo, estas técnicas detectan diferencias entre la dinámica de las señales de EHG, pero no indican directamente los procesos físicos responsables del mecanismo del PP (40). El clasificador de análisis discriminante cuadrático logró una mejor precisión de clasificación independientemente del momento del registro; mientras que, para las mediciones de entropía de muestra, el clasificador MSV obtuvo mejores precisiones de clasificación (13, 34, 36, 41). MSV con lagrangianos no lineales permiten mejorar la calidad de aprendizaje del algoritmo, (42) y se puede observar que una forma de mejorar la precisión de la extracción de características podría lograrse mediante el uso de algoritmos con mayor número de funciones. (43, 41)

También se han desarrollado algoritmos de redes neuronales para clasificar registros a término y pretérmino mediante técnicas de sobre muestreo, validación cruzada, (44) parametrizaciones multivariadas (45) y redes neuronales recurrentes, como la red Elman, Jordan y Layer para el reconocimiento de patrones (46). Entre los algoritmos de redes neuronales artificiales o aprendizaje automático se han evaluado algunos como k-Vecinos Cercanos, MSV, Random Forest (47), autoencoder, (31), determinando que son mejores predictores de amenazas de parto pretérmino los clasificadores de Red neuronal aleatoria (48). Algunos de estos estudios han determinado que las redes neuronales recurrentes (RNN) tienen una mejor capacidad para filtrar señales EHG con una alta sensibilidad (49).

El árbol de decisión es otra técnica empleada para clasificar las actividades uterinas, utilizando la potencia y la entropía de muestra extraída de los segmentos de EHG no normalizados, los cuales detectaron de manera efectiva las actividades uterinas (50).

Se presenta los resultados de algunas investigaciones en la aplicación de cada método de selección entre PP y parto a término, en términos de sensibilidad,  $Se = TP / ( TP + FN )$ , especificidad,  $Sp = TN / ( TN + FP )$  y precisión de clasificación,  $CA = ( TP + TN ) / ( TP + FN + TN + FP )$ , donde TP denota el número de verdaderos positivos, FN el número de falsos negativos, TN el número de verdaderos negativos y FP el número de falsos positivos; y en términos del área bajo la curva ROC (AUC ). **Tabla 1.**

**Tabla 1.** Clasificación métodos de selección automática para parto pretérmino

<b>Autor</b>	<b>Se(%)</b>	<b>Sp(%)</b>	<b>CA(%)</b>	<b>AUC(%)</b>
Idowu et al. (26)	96	92	-	95
Chen et al. (32)	92	88	90	-
Altini et al. (25)	80	94	89	-
Hussain et al. (44)	91	91	90	-
Radomsk (45)	87	50	-	-
Sadi-Ahmed et al. (41)	98,4	93	95,7	95
Shahbakhti et al. (43)	98,9	99,3	99,6	-
Fergus et al. (51)	96	90	-	95
Ha et al. (50)	84	78	81	75
Fergus et al. (48)	91	84	-	94

**Fuente:** Elaboración propia

#### IV. CONCLUSIONES

Actualmente existen diferentes técnicas de monitorización, para predicción de parto pretérmino tales como: catéter de presión intrauterina (IUP), tocodinometría (TOCO) y Electrohisterografía (EHG), siendo esta última capaz de detectar un mayor número de contracciones uterinas en comparación con las otras técnicas, además de ser no invasiva en comparación con el IUP.

Esta revisión narrativa entrega nuevos conocimientos al área de la salud y de ingeniería, acerca de los diferentes métodos utilizados tanto en la extracción de características de las señales EHG como en las técnicas computacionales y de inteligencia artificial para la

clasificación de las señales para predicción de PP. Comparando las técnicas de clasificación Tabla 2. Se puede concluir que el método de Máquina de soporte vectorial, fue el que tuvo mejor rendimiento y se ha evidenciado, además en diferentes estudios que lo han aplicado con múltiples técnicas para la extracción de características.

**Contribución de los autores:** Conceptualización, M.A.CH.L. y M.F.A.R.; metodología, M.A.CH.L. y M.F.A.R.; validación, M.A.CH.L. M.F.A.R.; análisis formal, M.A.CH.L. y M.F.A.R.; investigación, M.A.CH.L. y M.F.A.R.; curación de datos, M.A.CH.L. y M.F.A.R.; escritura: preparación del borrador original, M.A.CH.L. y M.F.A.R.; escritura: revisión y edición, M.A.CH.L. y M.F.A.R.; visualización, M.A.CH.L. y M.F.A.R.; supervisión, M.A.CH.L. y M.F.A.R.; administración del proyecto, M.A.CH.L. y M.F.A.R.; adquisición de fondos, M.A.CH.L. y M.F.A.R. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.”

**Fondos:** Esta investigación no recibió fondos externos.

**Conflictos de intereses:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

1. Jager F, Libenšek S, Geršak K. Characterization and automatic classification of preterm and term uterine records. PLoS ONE. [Internet] 2018 [citado 2019 Nov 26]; 13(8): e0202125. [DOI: 10.1371/journal.pone.0202125](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202125)
2. Navas, L, Lankester, E. Abordaje del Parto Pretérmino. Rev Méd Costa Rica. 2014; 71(613), 725-773. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revmedcoscen/rmc-2014/rmc145i.pdf>
3. Gladstone M, Oliver C, Van den Broek N. Survival, morbidity, growth and developmental delay for babies born preterm in low and middle income countries - a systematic review of outcomes measured. PLoS One. [Internet] 2015 [citado 2019 Nov 23]; 10(3): e0120566. DOI: 10.1371/journal.pone.0120566
4. Organización Mundial de la Salud. Nacimientos prematuros. 2018. [Acceso 30 de marzo de 2019]. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/preterm-birth>
5. Manzanares S, López M, Redondo P, Garrote A, Molina F, Carrillo M, et al. Amenaza de parto prematuro. Valor de la cervicometría y la fibronectina. Actualización Obstetricia y Ginecología. 2009. [Acceso 05 de mayo de 2019]. [https://www.huvn.es/asistencia\\_sanitaria/ginecologia\\_y\\_obstetricia](https://www.huvn.es/asistencia_sanitaria/ginecologia_y_obstetricia)
6. Reyna-Villasmil E, Mejía-Montilla J, Reyna-Villasmil N, Torres-Cepeda D, Santos-Bolívar J, Fernández-Ramírez A. Interleucina 6 cervicovaginal en la predicción de parto pretérmino. Rev. peru. ginecol. obstet. [Internet]. 2016 Abr [citado 2019 Nov 25]; 62(2): 175-181. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2304-51322016000200005&lng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-51322016000200005&lng=es)
7. Rondón-Tapia M, Reyna-Villasmil E, Mejía Montilla J, Reyna-Villasmil N, Torres-Cepeda D, et al. Prolactina cervicovaginal en la predicción de parto pretérmino. Repert. Med. Cir. [Internet]. 2018 [citado 2019 Nov 24]; 27(1), 18-23. <https://www.fucsalud.edu.co/sites/default/files/2018-07/Prolactina-cervicovaginal.pdf>
8. Vasak B, Graatsma E, Hekman-Drost E, Eijkemans M, van Leeuwen J, Visser G, Jacod B. Uterine electromyography for identification of first-stage labor arrest in term nulliparous women with



- spontaneous onset of labor. *Am J Obstet Gynecol MFM*. [Internet] 2013 [citado 2019 Nov 25]; 209(3), 232.e1-8. DOI: [10.1016/j.ajog.2013.05.056](https://doi.org/10.1016/j.ajog.2013.05.056)
9. Fele-Zorz G, Kavsek G, Novak-Antolic Z, Jager F. A comparison of various linear and non-linear signal processing techniques to separate uterine EMG records of term and pre-term delivery groups. *Med Biol Eng Comput*. 2008; 46(9), 911-922. DOI: [10.1007/s11517-008-0350-y](https://doi.org/10.1007/s11517-008-0350-y)
  10. Constantino MA. Análisis de la evolución del grado de sincronización de las señales mioeléctricas uterinas durante la gestación. [Trabajo de Grado]. Universitat Politècnica de València. Departamento de Ingeniería Electrónica, España. 2017. <https://riunet.upv.es/handle/10251/85579>
  11. Pervolaraki E, Holden AV. Spatiotemporal patterning of uterine excitation patterns in human labour. *Biosystems*. [Internet] 2013 [citado 2019 Nov 24]; 112(2): 63-72. DOI: [10.1016/j.biosystems.2013.03.012](https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2013.03.012)
  12. Asmi, S, Subramaniam K, Iqbal NV. A review of significant researches on prediction of preterm birth using uterine electromyogram signal. *Future Gener Comput Syst*. [Internet] 2019 [citado 2019 Nov 23]; 9: 135-143. Disponible en: DOI: [10.1155/2019/3168541](https://doi.org/10.1155/2019/3168541)
  13. Ye-Lin Y, Garcia-Casado J, Prats-Boluda G, Alberola-Rubio J, Perales A. Automatic Identification of Motion Artifacts in EHG Recording for Robust Analysis of Uterine Contractions. *Comput Math Methods Med*. [Internet] 2014; 11 [citado 2019 Nov 25]. DOI: [10.1155/2014/470786](https://doi.org/10.1155/2014/470786)
  14. Vasak B, Graatsma E, Hekman-Drost E, Eijkemans M, van Leeuwen J, Visser G, Jacod B. Uterine electromyography for identification of first-stage labor arrest in term nulliparous women with spontaneous onset of labor. *Am J Obstet Gynecol MFM*. [Internet] 2013 [citado 2019 Nov 22]; 209(3), 232.e1-8. DOI: [10.1016/j.ajog.2013.05.056](https://doi.org/10.1016/j.ajog.2013.05.056)
  15. Ren P, Yao S, Li J, Valdes-Sosa PA, Kendrick KM. Improved Prediction of Preterm Delivery Using Empirical Mode Decomposition Analysis of Uterine Electromyography Signals. *PLoS ONE*. [Internet] 2015 [citado 2019 Nov 25]; 10(7): e0132116. DOI: [10.1371/journal.pone.0132116](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132116)
  16. Lucovnik M, Kuon RJ, Garfield RE. Research Article Assessment of Parturition with Cervical Light-Induced Fluorescence and Uterine Electromyography. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. [Internet]. 2013 [citado 2019 Nov 26]; 165913. DOI: [10.1155/2013/165913](https://doi.org/10.1155/2013/165913)
  17. Vlemminx MW, Thijssen KM, Bajlekov GI, Dieleman JP, Van Der Hout-Van M B, Oei SE. Electrohysterography for uterine monitoring during term labour compared to external tocodynamometry and intra-uterine pressure catheter. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol X*. [Internet] 2017; [citado 2019 Nov 25], 197-205. DOI: [10.1016/j.ejogrb.2017.05.027](https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2017.05.027)
  18. Alberola-Rubio J, Prats-Boluda G, Ye-Lin Y, Valero J, Perales A, Garcia-Casado J. Comparison of non-invasive electrohysterographic recording techniques for monitoring uterine dynamics. *Med. eng. phys.* [Internet] 2013 [citado 2019 Nov 22]; 35(12): 1736-1743. D DOI: [10.1016/j.medengphy.2013.07.008](https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2013.07.008)
  19. Cohen WR. Clinical assessment of uterine contractions. *Int J Gynecol Obstet*. [Internet] 2017 [citado 2019 Nov 23]; 139(2), 137-142. DOI: [10.1002/ijgo.12270](https://doi.org/10.1002/ijgo.12270)
  20. Euliano TY, Tam Nguyen M, Darmanjian S, McGorray SP, Euliano N, Onkala A, Gregg AR. Monitoring uterine activity during labor: a comparison of 3 methods. *Am J Obstet Gynecol*. [Internet]. 2013 [citado 2019 Nov 25]; 208: 66.e1-6. Disponible en: DOI: [10.1016/j.ajog.2012.10.873](https://doi.org/10.1016/j.ajog.2012.10.873)
  21. Kuijsters N, Rabotti C, Sammalı F, Mischi M, Schoot B. Automatic Contraction Detection During the Menstrual Cycle By Electrohysterography. *J. minim. invasive gynecol*. [Internet] 2015 [citado 2019 Nov 22]; 22(6), S101. DOI: [10.1016/j.imiq.2015.08.272](https://doi.org/10.1016/j.imiq.2015.08.272)

22. Suarez-Torres I, Reyna-Villasmil E, Mejia-Montilla J, Reyna-Villasmil N, Torres-Cepeda D, Santos-Bolívar J, et al. Original: Proteína C reactiva plasmática en el segundo trimestre para predicción de parto pretérmino. *Perinatol Reprod Hum.* 2016; 30(2), 57-62. [DOI: 10.1016/j.rprh.2016.06.008](https://doi.org/10.1016/j.rprh.2016.06.008)
23. Lucovnik M, Chambliss LR, Blumrick R, Balducci J, Gersak K, Garfield RE. Effect of obesity on preterm delivery prediction by transabdominal recording of uterine electromyography. *Taiwan J Obstet Gynecol.* 2016; 55(5): 692-696. [DOI: 10.1016/j.tjog.2015.05.005](https://doi.org/10.1016/j.tjog.2015.05.005)
24. Euliano TY, Nguyen MT, Darmanjian S, Busowski JD, Euliano N, Gregg AR., et al. Monitoring Uterine Activity during Labor: Clinician Interpretation of Electrohysterography versus Intrauterine Pressure Catheter and Tocodynamometry. *Am J Perinatol.* 2016; 33(9): 831-8. [DOI: 10.1055/s-0036-1572425](https://doi.org/10.1055/s-0036-1572425)
25. Altini M, Rossetti E, Rooijackers M, Dy E, Penders J, Grieten L, Gyselaers W. 762: Remote labour detection using maternal electrohysterography and heart rate data acquired with a wearable sensor. *Am. j. obstet. gynecol.* [Internet]. 2017 [citado 2019 Nov 23]; 216(1), S441-S442. [DOI: 10.1016/j.ajog.2016.11.495](https://doi.org/10.1016/j.ajog.2016.11.495)
26. Idowu P, Fergus A, Hussain C, Dobbins H, Al-askar P, Fergus A, et al. Técnicas avanzadas de clasificación de redes neuronales artificiales que utilizan EHG para detectar nacimientos prematuros. *Conf. Softw inteligente complejo. Syst intensivo.* 2014; 8(1).
27. Alamedine D, Marque K, Alamedine D, Khalil M. Binary particle swarm optimization for feature Selection on uterine electrohysterogram signal. 2nd International Conference on Advances in Biomedical Engineering Date of Conference; 11-13 Sept. 2013. Tripoli, Lebanon: IEEE Conference Location. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6648863/>
28. Horoba K, Jezewski J, Matonia A, Wrobel J, Czabanski R, Jezewski M, et al. Early predicting a risk of preterm labour by analysis of antepartum electrohysterographic signals. *Biocybern Biomed Eng.* [Internet]. 2016 [citado 2019 Nov 25]; 36(4), 574-583. Disponible en: [DOI: 10.1016/j.bbe.2016.06.004](https://doi.org/10.1016/j.bbe.2016.06.004).
29. Diab A, Hassan M, Marque C, Karlsson B. Quantitative performance analysis of four methods of evaluating signal nonlinearity: Application to uterine EMG signals. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2012; 1045-8. [DOI: 10.1109/EMBC.2012.6346113](https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6346113)
30. Punitha N, Ramakrishnan S. Analysis of uterine electromyography signals in preterm condition using multifractal algorithm. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2018; 1-4. [DOI: 10.1109/EMBC.2018.8512891](https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8512891)
31. Sim S, Ryou H, Kim H, Han J, Park K. Evaluation of Electrohysterogram Feature Extraction to Classify the Preterm and Term Delivery Groups. In: Goh J. (eds). *The 15th International Conference on Biomedical Engineering. IFMBE Proceedings*, vol 43. Springer, Cham.
32. Chen L, Hao Y, Hu X. Detection of preterm birth in electrohysterogram signals based on wavelet transform and stacked sparse autoencoder. *PLoS ONE.* [Internet]. 2019 [citado 2019 Nov. 23]; 14: 1-16. [DOI: 10.1371/journal.pone.0214712](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214712)
33. Lemancewicz A, Kuc P, Doroszkiewicz K, Laudanski P, Jasinska E, Oczeretko E, et al. O389 Early Diagnosis of Threatened Premature Labor by Electrohysterographic Recordings. *Int. j. gynecol. obstet., Suppl.* [Internet] 2012 [citado 2019 Nov 23]; 119(3), S398. [DOI: 10.1016/S0020-7292\(12\)60819-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7292(12)60819-4)
34. Smrdel A, Jager F. Separating sets of term and pre-term uterine EMG records. *Physiol Meas.* [Internet] 2015 [citado 2019 Nov 22]; 36(2), 341-355. [DOI: 10.1088/0967-3334/36/2/341](https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/2/341)

35. Moslem B, Diab M, Khalil M, Marque C. Combining data fusion with multiresolution analysis for improving the classification accuracy of uterine EMG signals. EURASIP J Adv Signal Process. [Internet]. 2012 [citado 2019 Nov 26]; (1), 167. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/1687-6180-2012-167>
36. Lemancewicz A, Borowska M, Kuć P, Jasińska E, Laudański P, Laudański T, et al. Early diagnosis of threatened premature labor by electrohysterographic recordings – The use of digital signal processing. Biocybern Biomed Eng. [Internet]. 2016 [citado 2019 No. 23]; 36(1): 302-307. DOI: [10.1016/j.bbe.2015.11.005](https://doi.org/10.1016/j.bbe.2015.11.005)
37. Happillon T, Muszynski C, Zhang F, Marque C, Istrate D. Detection of Movement Artefacts and Contraction Bursts Using Accelerometer and Electrohysterograms for Home Monitoring of Pregnancy. IRBM. [Internet]. 2018 [citado 2019 Nov 25]; 39(6): 379-385. DOI: [10.1016/j.irbm.2018.10.008](https://doi.org/10.1016/j.irbm.2018.10.008)
38. Mas-Cabo J, Ye-Lin Y, Garcia-Casado J, Alberola-Rubio J, Perales A, Prats-Boluda G. Uterine contractile efficiency indexes for labor prediction: A bivariate approach from multichannel electrohysterographic records. Biomed. signal process. control. [Internet]. 2018 [citado 2019 Nov 23]; 46: 238-248. DOI: [10.1016/j.bspc.2018.07.018](https://doi.org/10.1016/j.bspc.2018.07.018)
39. Al-Askar H, Radi N, MacDermott A. Chapter 7 - Recurrent Neural Networks in Medical Data Analysis and Classifications. In: D. Al-Jumeily, A. Hussain, C. Mallucci, C. Oliver, Emerging Topics in Computer Science and Applied Computing, Applied Computing in Medicine and Health. 1ra. Ed. Boston: Morgan Kaufmann; 2016.
40. Borowska M, Brzozowska E, Kuć P, Oczeretko E, Mosdorf R, Laudański P. Identification of preterm birth based on RQA analysis of electrohysterograms. Comput Methods Programs Biomed. [Internet]. 2018 [citado 2019 Nov 24]; (153): 227-236. Disponible en: DOI: [10.1016 / j.cmpb.2017.10.018](https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.10.018)
41. Sadi-Ahmed N, Kacha B, Taleb H. Relevant Features Selection for Automatic Prediction of Preterm Deliveries from Pregnancy ElectroHysterographic (EHG) records. J Med Syst. 2017; 41: 204. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-017-0847-8>
42. Jezewski J, Matonia A, Czabanski R, Horoba K, Kupka T. Clasificación de los patrones de actividad eléctrica uterina para la detección temprana de nacimientos prematuros. En: Burduk R, Jackowski K, Kurzynski M, Wozniak M, Zolnierek A. (eds). Actas de la 8ª Conferencia Internacional sobre Sistemas de Reconocimiento por Computadora CORES 2013. Avances en Sistemas Inteligentes y Computación, vol 226. Heidelberg: Springer; 2013.
43. Shahbakhti M, Beiramvand M, Bavi MR, Mohammadi S. A New Efficient Algorithm for Prediction of Preterm Labor. 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). Berlin, Germany; 23-27 July 2019. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8857837>
44. Hussain AJ, Fergus P, Al-Askar H, Al-Jumeily D, Jager F. Dynamic neural network architecture inspired by the immune algorithm to predict preterm deliveries in pregnant women. Neurocomputing. [Internet]. 2015 [citado 2019 Nov 23]; 151(3): 963-974. DOI: [10.1016/j.neucom.2014.03.087](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.03.087)
45. Radomski DS. Reprint of 'A nonlinear parameterization of multivariate electrohysterographical signals'. Comput. Biol. Med. 2016; 69: 254-260. DOI: [10.1016/j.compbiomed.2016.01.006](https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2016.01.006)
46. Al-Jumeily D, Hussain A, Mallucci C, Oliver C. Applied Computing in Medicine and Health. 1ra. Ed. Boston: Morgan Kaufmann; 2016.

47. Haibo H, Bai Y, García EA, Li S. ADASYN: Adaptive Synthetic Sampling Approach for Imbalanced Learning. April 14, 2010; Proc. de IEEE International Joint Conference on Neural Networks; 2008. <https://www.ele.uri.edu/faculty/he/PDFfiles/adasyn.pdf>
48. Fergus P, Idowu I, Hussain A, Dobbins C. Advanced artificial neural network classification for detecting preterm births using EHG records. Neurocomputing. [Internet]. 2016 [citado 2019 Nov. 23]; 188: 42-49. DOI: 10.1016/j.neucom.2015.01.107
49. Al-Askar H, Radi N, MacDermott A. Chapter 7 - Recurrent Neural Networks in Medical Data Analysis and Classifications. In: D. Al-Jumeily, A. Hussain, C. Mallucci, C. Oliver, Emerging Topics in Computer Science and Applied Computing, Applied Computing in Medicine and Health. 1ra. Ed. Boston: Morgan Kaufmann; 2016.
50. Ha, D, Qiu Q, Zhou X, An Y, Peng J, Yang L, Zheng D. Application of decision tree in determining the importance of surface electrohysterography signal characteristics for recognizing uterine contractions. Biocybern Biomed Eng. 2019; 39(3), 806-813. DOI: [10.1016 / j.bbe.2019.06.008](https://doi.org/10.1016/j.bbe.2019.06.008)
51. Fergus P, Cheung P, Hussain A, Al-Jumeily D, Dobbins C, Iram S. Prediction of Preterm Deliveries from EHG Signals Using Machine Learning. PLoS ONE. [Internet]. 2013 [citado 2019 Nov 24], 8(10): e77154. DOI: [10.1371/journal.pone.0077154](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077154)