

Aprendizaje Computacional Para La Estimación Automática Del Peso Al Nacimiento Usando Variables Multimodales Materno-Fetales.

M. G. Martínez Acevedo^{1*}, J. Sánchez Paz², J. Pérez González³

¹Instituto Tecnológico de Mérida, Yucatán, México.

²Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi, UADY, Yucatán, México.

³Unidad Académica del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas en el Estado de Yucatán, UNAM, Yucatán, México.

* ¹guadalupe.marace@gmail.com; ²joel.sanchez@correo.uady.mx; ³jorge.perez@iimas.unam.mx

Abstract— During pregnancy there are various factors that directly or indirectly affect maternal and child health, the computational learning is presented as a pre-diagnosis tool, in conjunction with the observation of obstetric experts, for the early prediction of birth weight through characteristics of origin biometric. The 14 variables obtained by a subset of 584 volunteer subjects from the National Institute of Perinatology of Mexico, are processed by a non-parametric regression algorithm based on Gaussian processes. With a weighted mean absolute error of 8.3%, the Early estimation of birth weight is presented with the use of maternal-fetal variables for the management of the information by qualified medical personnel for the pre-diagnosis and care of possible complications and / or diseases. presented during pregnancy for the mother and child community.

Palabras clave—Estimación temprana, Peso, Regresión, Ultrasonido.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de nuevas herramientas tecnológicas, como la predicción del peso al nacer, ha impulsado el estudio de factores que ayudan al prediagnóstico de enfermedades que podría presentar una mujer gestante tales como el bajo peso al nacer, definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como aquel neonato que presenta un peso inferior a 2500 gr. De acuerdo con el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y la OMS, en el año 2015 se registraron 20.5 millones de nacimientos con bajo peso, de los cuales, América Latina y el Caribe cuenta con 8.7 % del total [11].

La presencia del bajo peso en recién nacidos se observa en aumento en países que se encuentran en vías de desarrollo, factor que influye en la nutrición y buena alimentación de las mujeres embarazadas, mantener el control de aspectos nutricionales son necesarios en la prevención de enfermedades que afecten al neonato y la madre. De acuerdo con los resultados de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID) 2018, por cada 100 mujeres embarazadas en México existe un 22.8 % de cesáreas realizadas de emergencia, lo cual deriva de complicaciones del embarazo [4].

Mantener un control y monitoreo durante las etapas del embarazo es beneficioso para la salud materno-fetal. La ultrasonografía es ampliamente utilizada para la evaluación prenatal del crecimiento y de la anatomía fetal, el procedimiento proporciona resultados diagnósticos que a menudo facilitan el manejo de los problemas que surgen al final del embarazo. De acuerdo con la Sociedad Internacional de Ultrasonido en Obstetricia y Ginecología (ISUOG), las mediciones deben ser realizadas de manera estandarizada en base a estrictos criterios de calidad. Las mediciones fetales por ecografía son de utilidad para identificar anomalías en el tamaño y la estimación del peso fetal [10].

En 1984 Hadlock propuso un análisis de la estimación del peso fetal por ultrasonografía, con la adición de la longitud del fémur a las mediciones propias de la cabeza y el abdomen. Argumentando que su estudio muestra un aumento significativo en la estimación debido a la relación de la longitud del fémur con los valores de la longitud cefalo caudal [1].

Un estudio realizado por Milner en 2017 donde presenta una revisión sistemática de la precisión de la estimación del peso fetal por ultrasonido en comparación con el peso al nacer muestra coherencia con lo propuesto por Hadlock ya que la formula destacada en los estudios es la que incorpora datos de biometría fetal como o son: circunferencia craneal, circunferencia abdominal y longitud del fémur [6].

En el 2007 Nahum y cols. mencionan que para una exactitud de la estimación del peso fetal es preferible basarse en mediciones ultrasonográficas con una adición de mediciones con información relevante, el estudio presenta alrededor de 61 fórmulas para el cálculo del peso fetal, donde los algoritmos utilizan 5 tipos de información, como las características maternas, factores paternos, información específica del embarazo, datos de laboratorio y mediciones ecográficas del feto. El sistema estudiado puede predecir el peso al nacer dentro de un $\pm 7\%$, esto hasta 3 meses antes del parto [2].

El estudio que se presenta a continuación muestra la aplicación de un método de predicción inteligente del peso

al nacer aplicado de forma temprana, es decir, a partir del primer trimestre de gestación.

La predicción se basa en un análisis de variables donde se encuentran los datos, tanto maternos como del feto, recolectados a partir de una ecografía, haciéndose presente la aplicación del algoritmo de procesos gaussianos como predictor no paramétrico para la estimación anticipada del peso al nacimiento. Hasta nuestro conocimiento no existe una metodología similar que prediga con tanta antelación el peso al nacer, considerando su utilidad en la valoración en poblaciones o regiones que no cuentan con expertos en obstetricia.

II. METODOLOGÍA

El proceso efectuado representado en la Fig. 1 consta de tres partes, inicialmente el estudio y recolección de los datos de las variables, realizado con apoyo de expertos en obstetricia, seguidamente del entrenamiento y uso del algoritmo no paramétrico para realizar la predicción, finalmente obtener una validación de los resultados.



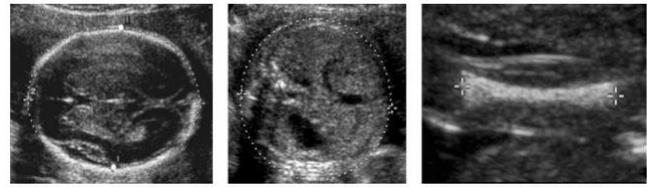
Fig.1 Diagrama de la metodología empleada.

A. Materiales

El Instituto Nacional de Perinatología de la Ciudad de México, brindó la base de datos con más de 3 mil registros de variables obtenidas durante su primer trimestre de gestación. Cada participante dio su consentimiento informado, además se contó con la aprobación del comité de ética del mismo instituto. Del total de sujetos se tomó un subconjunto de 584, considerando el siguiente criterio de inclusión: Edad gestacional obtenida por la longitud cráneo caudal entre 12-14 semanas, excluyendo los datos faltantes o atípicos.

De acuerdo con Nazario y cols en la descripción de la importancia de la ecografía de primer trimestre, la cual habría sido utilizada únicamente para obtener la edad gestacional y medir la longitud céfalo caudal del feto, se ha convertido en un estudio para evaluar una serie de detalles, entre los cuales destaca la viabilidad del feto, la determinación de su edad gestacional, la valoración de la anatomía fetal, así como la valoración de las arterias uterinas para determinar el riesgo de preeclampsia [7].

Al estudiar las evaluaciones que contempla la importancia de una ecografía de primer trimestre se reconoce la importancia de 14 variables para la predicción, tomando en cuenta la biometría fetal: Longitud céfalo caudal, Circunferencia craneal, Circunferencia abdominal, el Diámetro biparietal y la Longitud del fémur, establecidas en



milímetros (mm) y de acuerdo con las semanas de gestación (SDG), la Fig. 2 muestra algunas de las mediciones de la

Figura 2. Mediciones ecográficas del diámetro biparietal y de la circunferencia cefálica (a), de la circunferencia abdominal (b) y de la longitud de la diáfisis femoral (c) [10].

biometría fetal.

Con relación a la valoración de las arterias se presentan los índices de pulsatilidad de las arterias uterinas Derecha e Izquierda, así como su promedio. Como última variable se encuentra el peso al momento de nacer.

B. Regresión

Un algoritmo de regresión es un modelo matemático basado en determinar la relación existente entre las variables de entrada con la variable de salida, para el cual se determina un valor predictivo [9].

El algoritmo de regresión no paramétrico basado en Procesos Gaussianos, empleado a través del entorno científico de código abierto Spyder para Python versión 3.8., se desarrolla con el fin de obtener el valor de predicción del peso al nacer haciendo uso de las 13 variables descritas, sin contar el peso al nacer de la base de datos.

La ecuación de regresión por procesos gaussianos se denota como (1).

$$\begin{bmatrix} h(x_1) \\ \vdots \\ h(x_m) \end{bmatrix} \sim \mathcal{GP} \left(\begin{bmatrix} m(x_1) \\ \vdots \\ m(x_m) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} k(x_1, x_1) & \dots & k(x_1, x_m) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k(x_m, x_1) & \dots & k(x_m, x_m) \end{bmatrix} \right) \quad (1)$$

Donde $h(x)$ representa el peso al nacimiento, la variable a predecir, \mathcal{GP} representa el proceso gaussiano, $m(x)$ representa el promedio de las 13 variables involucradas en la predicción; $k(x, x)$ se refiere al kernel utilizado, el cual constituye la matriz de covarianza del proceso gaussiano. Por lo que al tener un nuevo $m(x)$ * con su respectivo *kernel*, se puede realizar la predicción del peso al nacimiento.

C. Validación

El método *hold-out* es uno de los métodos básicos de entre los distintos existentes para aplicar la validación cruzada, ya que separa el conjunto de datos disponibles en dos subconjuntos, uno utilizado para entrenar el modelo y el otro para realizar la prueba de validación.

Una aplicación alternativa de este método consiste en repetir el proceso *hold-out*, tomando distintos conjuntos de datos de entrenamiento (aleatorios) un determinado número de veces, en nuestro caso 5 experimentos.

Variables	Media±SD	
Longitud Céfaló Caudal	67.04±8.93 mm	12.89±0.67 SDG
Diámetro Biparietal	21.38±5.84 mm	13.22±0.63 SDG
Circunferencia Craneal	77.14±25.39 mm	13.21±0.60 SDG
Longitud del Fémur	9.25±5.16 mm	12.65±0.63 SDG
Circunferencia Abdominal	65.52±10.34 mm	13.07±0.67 SDG
Arteria Uterina D. IP	1.53±0.81	
Arteria Uterina I. IP	1.74±3.33	
Promedio de los IP	1.63±1.73	
Peso al nacer	2869.57±333.73 gr	

Las métricas de error presentes en la validación de datos son el RMSE (*Root Mean Square Error* o Raíz del Error Cuadrático Medio) que realiza una diferencia entre los valores estimados (y_i) y los valores reales (\hat{y}_i) (2).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

El MAE (*Mean Absolute Error* o Error Absoluto medio) que entrega como resultado qué tan cercano es la predicción hecha, al resultado real (3).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

El MAPE (*Mean Absolute Percentage Error* o Error Medio Absoluto Ponderado) que permite medir la precisión en porcentaje que busca evaluar el rendimiento de modelos de pronóstico (4) [8].

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (4)$$

Las métricas presentadas se realizaron en cada proceso de la validación ya que cada uno cuenta con diferentes datos para el entrenamiento y validación.

III. RESULTADOS

El presente estudio lleva a cabo la predicción del peso al nacimiento haciendo uso únicamente de 14 variables. Para realizar el estudio de las variables es de importancia una estadística descriptiva, obteniendo valores como se muestran en la Tabla 1, donde se encuentra la media y desviación estándar de cada una de las variables. De acuerdo con el promedio de las semanas de gestación de los datos de biometría fetal se puede corroborar el tiempo, perteneciente al primer trimestre, siendo un estudio de predicción temprano en comparación con los existentes, los cuales se basan en mediciones tomadas del embarazo a término.

De acuerdo con el promedio presentado del peso tomado al momento del nacimiento, nos encontramos con bebés entre los 2869.57±333.73 gr. siendo bebés de peso normal, ya que, de acuerdo con la OMS, pasado los 3500 gr.

MÉTRICA	SPLIT 1	SPLIT 2	SPLIT 3	SPLIT 4	SPLIT 5	MEDIA±SD	PRUEBA FINAL
RMSE (gr)	315.35	295.64	392.68	346.07	350.04	339.95±33.13	284.33
MAE (gr)	252.32	241.14	307.86	280.00	280.44	272.35±23.5	223.75
MAPE (%)	8.92	8.62	11.54	10.41	10.20	9.93±1.06	8.32

Se presenta un macro peso.

TABLA I
DATOS ESTADÍSTICOS DE LAS VARIABLES

Una vez aplicado el algoritmo de regresión con del método *hold out* se puede determinar 5 pequeños experimentos conocidos como *Split*, cada uno realizó la comparación del valor obtenido por la predicción, con valores de prueba seleccionados previamente, los cuales fueron ajenos al entrenamiento del modelo. Durante las 5 pruebas realizadas se encontró una leve variación de los valores obtenidos para las métricas de error, cuyo promedio fue de 339.95±33.13gr. Este resultado se muestra elevado en comparación con la prueba final, ya que se puede observar que la diferencia entre lo obtenido en el estudio y los valores registrados es de tan solo 284.33gr. La diferencia existente entre cada uno de los 5 experimentos con la prueba final podría estar relacionada con la cantidad de datos, al ser 5 experimentos se mantuvo una cantidad igual de datos proporcionado para cada uno, teniendo así 500 datos y en la prueba final se hizo uso de una menor cantidad.

IV. DISCUSIÓN

El bajo peso en neonatos es uno de los factores más influyentes en la tasa de mortalidad infantil, de manera que su estudio y monitoreo durante el embarazo se presenta como buena herramienta en el prediagnóstico t detección temprana de enfermedades.

Los resultados obtenidos muestran datos consistentes de la aplicación del algoritmo, de acuerdo con lo expuesto por Hadlock, cuyas formulas son las más utilizadas, la exactitud de la estimación del peso fetal es mayor cuando se emplean fórmulas que incluyen tres parámetros biométricos, para el estudio presente se aportaron cinco mediciones biométricas, la longitud céfalo caudal y el diámetro biparietal, sumado a las 3 más usadas por Hadlock. El uso de los parámetros biométricos es de utilidad ya que estos son determinados por la ecografía, siendo la ecografía de primer trimestre, a manera de evaluación temprana, la cual contiene información relevante para el estudio.

De acuerdo con Goto, Ajuluchukw y Manrique, la relación de las variables de sus estudios mostraron que la estimación por ecografía puede ser de las mejores en la estimación del peso al nacimiento, esta última menciona que, en condiciones ideales, la diferencia entre la estimación del peso por ecografía y el peso al nacer debería tener un error medio entre el 7-10% [3,5].

El presente estudio muestra un error medio absoluto porcentual de 8.32 % existiendo una raíz del error cuadrático medio de 284.33gr. lo que hace ver que la variación entre los datos de predicción y los datos reales no se eleva en

cantidades mayores a un kilogramo.

TABLA II
RESULTADOS Y MÉTRICAS DE LA PREDICCIÓN

Un proceso Gaussiano es una colección de variables aleatorias, que cumplen que cualquier subconjunto finito de la colección, tiene una distribución Gaussiana. Para una regresión no solo es importante conocer el valor esperado, también lo es tener un campo de referencia sobre los valores que están dentro de un intervalo de confianza, la cual es una de las ventajas que ofrece un regresor basado en Procesos Gaussianos.

V. CONCLUSIONES

El peso al nacer es considerado el indicador aislado más importante del crecimiento y desarrollo durante la vida intrauterina y del estado de nutrición del recién nacido, la estimación del peso fetal por ecografía ha planteado tener un porcentaje de precisión significativo por lo que diversos estudios se han presentado para determinar la correlación con el peso al nacer o incluso la afectación que tiene al presentarse con otra variable.

Los resultados obtenidos en la presente investigación sugieren que se puede efectuar una predicción temprana del peso al nacer a partir de variables, como lo son datos de biometría fetal e índices de pulsatilidad de las arterias uterinas ayudando al seguimiento y evaluación clínica del estado de salud materno-fetal durante los meses subsecuentes del embarazo. Es necesario efectuar una validación clínica exhaustiva con más datos con un previo análisis y ponerlo en evaluación por expertos en obstetricia.

RECONOCIMIENTO

Se agradece al Instituto Nacional de Perinatología por los datos proporcionados.

“Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IA102920 y IT100220. Se agradece a la DGAPA-UNAM la beca recibida”.

REFERENCIAS

- [1] F.P. Hadlock, R. L. Deter, R. B. Harrist y S. K. Park, “Estimating fetal age: computer-assisted análisis of multiple fetal growth parameters”. *Radiology* vol. 152, n° 2, pp.497-501, aug. 1984, DOI 10.1148/radiology.152.2.6739822
- [2] G. Nahum, H. Stanislaw, “Ultrasound alone is inferior to combination methods for predicting fetal weight”, *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*, vol. 30, n°6, pp 913-914, Nov. 2007, DOI 10.1002/uog.5175.
- [3] Goto E. Comparing the accuracy of maternal, clinical and ultrasound estimations to predict birthweight: a

meta-analysis, *Nagoya J. Med. Sci.* [internet]. 2017 [citado el 30 de agosto de 2021];12(10):218-231. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28832914>

- [4] INEGI. (2018). Principales resultados de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID) 2018. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enadid/2018/doc/nota_tec_enadid_18.pdf
- [5] Manrique Cardenas T. Relación entre peso estimado fetal por ecografía y el peso del recién nacido en gestantes a término en el Centro Materno Infantil Juan Pablo II – Los Olivos enero a diciembre 2017. Universidad de San Martín de Porres – USMP [Internet]. 2019 [citado 30 de agosto de 2021]; Disponible en: <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/5411>
- [6] Milner J, Arezina J. The accuracy of ultrasound estimation of fetal weight in comparison to birth weight: A systematic review. *Rev Ultrasound* [Internet]. 2018 [citado el 30 de agosto de 2021]; 26(1): 32-41. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29456580>
- [7] Nazario-Redondo Conny, Ventura-Laveriano Jéssica, Flores-Molina Édgar, Ventura Walter. La importancia de la ecografía a las 11+0 a 13+6 semanas de embarazo: actualización. *An. Fac. med.* [Internet]. 2011 Jul [citado 2021 Agosto 30]; 72(3): 211-215. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832011000300010&lng=es.
- [8] P, Negrón, “REDES NEURONALES SIGMOIDAL CON ALGORITMO LM PARA PRONOSTICO DE TENDENCIA DEL PRECIO DE LAS ACCIONES DEL IPSA”, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2014.
- [9] R. Tibshirani, J. Friedman, T. Hastie, “The elements of Statistical Learning data Mining, Inference and Prediction.” 2nd ed. New York, U.S.2009.
- [10] Salomon, L. J. y collaborators on behalf of the ISUOG Clinical Standards Committee, “Practice guidelines for performance of the routine mid-trimester fetal ultrasound scan”, *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology* vol. 37, n°1, pp. 116-126. Jan. 2011, DOI 10.1002/uog.8831.
- [11] UNICEF, & WHO. (2019). Low birthweight estimates: Levels and trends 2000–2015. UNICEF.