

## Estimación del peso al nacer. Modelo de cilindro ajustado por regresión lineal múltiple

*Estimate of weight at birth. Cylinder model adjusted  
by multiple linear regression*

**Pilar Hernández Svendblad**

Licenciada en Biología por la Universidad de Salamanca, España

Máster en Fitoterapia por la Universidad de Barcelona, España

Máster en Dietética y Seguridad Alimentaria para Colectividades por la Universidad Camilo José Cela, España

Máster en Genética y Genómica Clínica por la Universidad de Granada, España

Máster en Metodología de la Investigación en Ciencias de la Salud por la Universidad de Salamanca, España

[lic.pilarhd@gmail.com](mailto:lic.pilarhd@gmail.com)

Fecha de recepción: 29 de junio de 2021

Fecha de aprobación: 13 de junio de 2022

DOI:

## RESUMEN

El bajo peso al nacer es la causa más importante de la morbi-mortalidad neonatal. Tener una metodología y herramientas simples y accesibles a todo el mundo es importante para la vigilancia fetal. Se realizó un ajuste del modelo de cilindro para la estimación del peso al nacer, con el fin de ser utilizado desde embarazos pre-término a post-término. Se calculó el peso al nacer mediante el modelo de cilindro y posteriormente se ajustó el error relativo por regresión lineal múltiple. Se obtuvo una diferencia sustancial entre el error relativo original y el ajustado, 15.35 % (SD  $\pm$  11.56) vs 6.97 % (SD  $\pm$  6.67) para la cohorte de bajo peso al nacer y 19.69 % (SD  $\pm$  11.32) vs 9.33 % (SD  $\pm$  8.19) para la muestra de peso normal. Así mismo, para la predicción de BPN se obtuvo: Sensibilidad 84 %, Especificidad 97.5 %, VVP 98 %, VPV 81 %, RV+ 33.6 y RV- 0.17.

**Palabras clave:** predicción del bajo peso al nacer, estimación del peso al nacer, CLAP OPS/OMS, bajo peso al nacer El Salvador, Modelo de Cilindro, vigilancia fetal.

## ABSTRACT

*Low birth weight is the most important cause of neonatal morbidity and mortality. Having a methodology and tools that are simple and accessible to everyone is important for fetal surveillance. An adjustment of the cylinder model was carried out for the estimation of birth weight in order to be used from pre-term to post-term pregnancies. Weight at birth was calculated using the cylinder model and the relative error was subsequently adjusted by multiple linear regression. A substantial difference was obtained between the original and adjusted relative error, 15.35 % (SD  $\pm$  11.56) vs. 6.97 % (SD  $\pm$  6.67) for the low birth weight cohort and 19.69 % (SD  $\pm$  11.32) vs. 9.33 % (SD  $\pm$  8.19) for the normal weight sample. Likewise, for the prediction of LBW, the following were obtained: Sensitivity 84 %, Specificity 97.5 %, VVP 98 %, NPV 81 %, RV + 33.6 and RV- 0.17.*

**Keywords:** *low birth weight prediction, birth weight estimation, PAHO / WHO CLAP, low birth weight El Salvador, Cylinder Model, fetal surveillance.*

## Introducción

En 2012, la Resolución 65.6 de la Asamblea Mundial de la Salud emite un plan integral para nutrición materna y niños pequeños, donde se especifican seis objetivos nutricionales para 2025. El tercer objetivo es la reducción del 30 % de casos de bajo peso al nacer (BPN). La Organización Mundial de la Salud (OMS), define el bajo peso al nacer como el peso menor a 2500g (5.5 lb) al nacer independientemente de su edad gestacional. Se estima que más de 20 millones de nacimientos al año en todo el mundo son BPN. A pesar de ser un problema a nivel mundial, existe una marcada diferencia en las prevalencias entre regiones y dentro de los mismos países; afectando principalmente a aquellas regiones de bajo-medio ingreso y especialmente a las poblaciones más vulnerables. Las estimaciones regionales del bajo peso al nacer son del 28 % en el sur de Asia, 13 % en África subsahariana y 9 % en Latinoamérica (OMS, 2014, p.2). En El Salvador, la prevalencia de nacidos vivos con bajo peso al nacer en la red de hospitales públicos es del 10 %, sin contar los casos de muy bajo peso (Ministerio de Salud, 2020). El bajo peso al nacer incluye tanto nacimientos pretérmino, como aquellos que son pequeños para su edad gestacional (SGA), teniendo peor pronóstico los que se encuentran en ambas situaciones.

Dentro de las consecuencias del bajo peso al nacer se incluye la mortalidad fetal y neonatal, desarrollo cognitivo deficiente y el aumento de riesgo de desarrollar enfermedades crónicas (OMS; 2014; Hernández Svendblad, 2020). Esto ha motivado a diversos investigadores a desarrollar modelos de predicción del peso al nacer a partir de formas geométricas (Li *et al.*, 2019, p. 3; Hernández Svendblad, 2020, p.131), posición fetal (García *et al.*, 2007, p. 320), tecnología de imágenes como resonancia magnética (Lo Zito *et al.*, 2013) o ultrasonidos (Kurmanavicius, *et al.*, 2004; Kacem *et al.*, 2013) resultando en diferentes valores predictivos. El Modelo de Cilindro de Hernandez Svendblad (2020), es un método novedoso, fácil de aplicar y sin necesidad de tecnología para la predicción del bajo peso al nacer. A partir de imágenes de fetos preservados en botes de vidrio se pensó que se podría calcular una aproximación del peso fetal utilizando la fórmula para el cálculo del volumen de un cilindro, haciendo la relación de las siguientes variables por analogía:

$Pn = \pi r^2 Au * \partial$ ; dónde:

$Pn$  = peso al nacer (g),  $r$  = radio del perímetro cefálico (cm),  $Au$  = altura uterina (cm),  $\partial$  = densidad fetal = 1.04 g/cm<sup>3</sup> (Kacem *et al.*, 2013, p. 902); tomando la  $Au$  entre la semana 31 y 33 de gestación y el perímetro cefálico de acuerdo al método descrito en dicho artículo (Hernández Svendblad, 2020, p. 133). Sin embargo, este modelo únicamente se pudo aplicar a 19 nacimientos de 37 a 38 semanas de gestación, cuyo perímetro cefálico se encontraba dentro de los percentiles 5 y 95 de la tabla de referencia.

Con base a lo expuesto, el objetivo de este estudio es mejorar la predictibilidad del Modelo de Cilindro para la estimación del peso a nacer con el fin de que sea aplicable a nacimientos pre término, término y post término, independientemente del percentil de sus medidas.

## Métodos

Pacientes. Se incluyeron expedientes de madres entre 18 y 35 años de edad; parto uníparo por cesárea o vaginal; con resultado vivo o muerto; nacidos entre junio 2016 y junio 2018; con al menos un control prenatal entre la semana 31 y 33. Debido a que no todos los expedientes contaban con la información completa sobre los antecedentes de las madres no se discriminó entre fumadoras, diabéticas, hipertensas, antecedentes familiares o personales. Se excluyeron aquellos expedientes de madres de neonatos con enfermedad congénita, madres con expediente perdido, archivado o deteriorado. A pesar que los casos de peso normal superan por mucho a los de BPN, únicamente se tomó una muestra al azar de los primeros, lo suficiente para igualar en número los casos BPN.

Métodos. Este estudio observacional de cohortes retrospectivo de madres con resultado de nacimientos con BPN y peso normal fue llevado a cabo en el Hospital Nacional General de Neumología y Medicina Familiar “Dr. José Antonio Saldaña”. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética Local, así como por la Unidad Jurídica de conformidad a la Ley de Acceso a la Información Pública.

Las herramientas utilizadas para el desarrollo fueron: CLAP OPS/OMS HISTORIA CLÍNICA PERINATAL (Fescina *et al.*, 2011); tablas de medidas antropométricas fetales y maternas de OPS (Organización Panamericana de la Salud) para la vigilancia del crecimiento fetal: edad gestacional, altura uterina; edad gestacional, perímetro cefálico (Fescina *et al.*, 2011, p. 17,22); Panecal Scientific Calculator versión 6.7.5. Aplicación móvil; formulario de recolección de datos.

Los datos fuente para la elaboración de este proyecto se obtuvieron de la hoja de Historia Clínica Perinatal CLAP. Esta hoja se encuentra anexada dentro de los expedientes de las madres con las características del parto seleccionadas. La hoja de recolección de datos se diseñó para tomar los valores de las siguientes variables: talla materna (m), peso materno (kg) de las semanas 20-24 de gestación, altura uterina (cm) entre las semanas 31-33 de gestación, edad gestacional (EG) al nacer (semanas), peso al nacer (g) y género del recién nacido (M/H). Con estas variables se calculó el índice de masa corporal materno (IMCm) =  $kg/m^2$ , y la densidad fetal por medio de la fórmula de Kacem *et al.* (2013, p. 905), desarrollada a partir de resonancia magnética por imágenes (MRI), densidad fetal ( $\partial'$ ) =  $-0.002 * EG + 1.126$  (g/cm<sup>3</sup>). Se hizo un estudio descriptivo de las variables, utilizando frecuencias para variables cualitativas y medidas de dispersión para variables cuantitativas, utilizando un IC al 95 %.

Para mejorar la predictibilidad del Modelo del Cilindro se consideró realizar dos modificaciones. En el modelo original se tomó como medida de la densidad fetal ( $\partial$ ) el valor medio que encontró Kacem *et al.* (2013) 1.04 g/cm<sup>3</sup>. Sin embargo, en esta ocasión se utilizará la fórmula que proponen estos mismos autores, que se calcula en función de la edad gestacional para tener un peso (pd) más preciso. La segunda modificación consiste en realizar un ajuste del error relativo (ER), del peso obtenido con la modificación anterior (Pd) respecto al peso al nacer (Pn) obtenido de los CLAP a través de

una regresión lineal múltiple con las variables predictivas altura uterina (Au) y radio cuadrado del perímetro cefálico ( $r^2$ ).

$$Pd = \pi r^2 Au * \partial'$$

$$ER (\%) = \frac{[Pn - Pd]}{Pn} * 100$$

Para realizar las regresiones se dividieron los casos entre bajo peso o peso normal. Después, se llevó a cabo la regresión lineal simple por cada variable. Una vez verificada la significación ( $p < 0.05$ ), se realizó una regresión lineal múltiple (RLM) por cada grupo. Se hizo la lectura de los coeficientes de bondad del modelo como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), significación del estadístico F de Snedecor, y la significación de las variables por el estadístico de Wald. Con el resultado se hizo el estudio de confusión, de interacción y de comprobación de los supuestos del modelo: normalidad, linealidad, independencia y homocedasticidad.

Una vez establecidos los modelos de regresión, se llevó a cabo la comprobación de la mejora de predictibilidad del Modelo de Cilindro por ajuste de sus variables de la siguiente manera: 1) Se calculó el error relativo ajustado con el modelo resultante de la RLM para cada grupo (ERa); 2) ERa se dividió por cien y se multiplicó por Pd, el valor resultante se sumó a Pd dando un nuevo peso Pd'. Posteriormente, se calculó el nuevo error relativo (ERa') con este nuevo peso (Pd') con respecto al peso al nacer (Pn) obtenido de nuestros datos fuente.

$$Pd' = (ERa/100) * Pd + Pd$$

$$ERa' = (Pn - Pd'/Pn) * 100$$

Para este fin el cálculo de la muestra se hizo con la siguiente fórmula:

$$n = [2 * s^2 * (Z_\alpha + Z_\beta)^2] / d^2$$

Se utilizó la variabilidad  $S = 2.5$  (Su *et al.*, 2010, p. 287), un error  $\alpha$  del 5% y un error  $\beta$  del 10%. Así mismo, se tomó como clínicamente importante una diferencia de dos unidades de IMCm; dando como resultado un mínimo de 33 casos por cada grupo.

Para realizar el contraste se estudió la normalidad de la distribución de la variable IMCm con la Prueba de Kolmogorov – Smirnov. Posteriormente, se estudió la homocedasticidad de ambos grupos por la prueba de Levene; utilizando la prueba T para la igualdad de medias. Se tomó como significativo si ( $p < 0.05$ ).

Para el tratamiento de los datos se utilizó Excel 2016 y SPSS versión 20.

## Resultados

El estudio descriptivo de las variables analizadas para la cohorte de madres con resultado de BPN vs. peso normal se resume así: talla materna (m) media de  $1.50 \pm 0.05874$  [IC 95 % 1,49 - 1,52] y mediana 1,50 vs.  $1.53 \pm 0,0714$  [IC 95 % 1,35 - 1, 68] mediana de 1,53; edad gestacional EG (semanas) al momento de nacer fue de  $38,05 \pm 1,50$  [IC 95 % 34,4 - 42,0] y mediana de 38 vs.  $39,29$  [IC 95 % 38,864 - 39,707] y mediana de 39; peso al nacer (g) de media fue  $2259,51 \pm 159,787$  [IC 95 % 1700 - 2456] y mediana de 2300 vs.  $3113,1 \pm 317,335$  [IC 95 % 2600 - 3700] y mediana de 3100; la media de altura uterina (cm) en el intervalo de 31 a 33 semanas de gestación fue de  $29,25 \pm 2,451$  [IC 95 % 28,59 - 29,92] y mediana de 29,00 vs  $30,31 \pm 2,101$  [IC 95 % 29,65 - 30,96] y mediana de 30,00. Las proporciones tomadas para la fórmula del modelo de cilindro son en un 64,8 % de los casos pertenecientes al rango de percentil 5 al 95, mientras que el 12,7 % pertenecía a valores por encima del percentil 95. En el caso de madres con recién nacidos de peso normal el porcentaje de casos pertenecientes al intervalo P5 a P95 es del 61.9 %, mientras que los casos que pertenecen al percentil arriba de P95 fue de 38.1 %. El 57,7 % de los nacimientos fueron del género femenino en la cohorte de BPN, mientras que los recién nacidos con peso normal el 45.2 % de los nacimientos fueron mujeres y hubo un 9 % no especificado.

El modelo resultante del error relativo ajustado (ERa) para la cohorte de BPN fue:

$$ERa (\%) = 194.267 - 3.126 (\text{radio } cm^2) - 4.177 (AUcm), (p < 0.05)$$

Con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 84.5 % y un F de Snedecor de 141.826 ( $p < 0.000$ ). El intervalo de confianza para la altura uterina fue de [IC 95 % -6.741, - 1.882], mientras que para la variable del radio al cuadrado fue [IC 95 % -5.519, -7.33].

En cuanto a la cohorte de peso normal, el modelo RLM del error relativo ajustado (ERa) fue:

$$ERa (\%) = 162.363 - 4.777 (AU \text{ cm}), (p < 0.01)$$

Este último modelo tiene un factor de determinación ( $R^2$ ) del 55.8 % y una F de Snedecor de 48.061 con ( $p < 0.000$ ). El intervalo de confianza para la variable AU cm fue de [IC 95 % -6.172 -3.382]

El sub análisis del contraste del IMCm de la cohorte de madres con recién nacidos BPN vs. cohorte de madres con recién nacidos de peso normal arrojó el siguiente resultado: IMCm ( $kg/m^2$ )  $26.77 \pm 4.2388$  de media, [IC 95 % 25,44 - 28,11] y mediana de 26,1 vs.  $28,22 \pm 4,3751$  [IC 95 % 26,720 - 29,726] y mediana de 28,2.

## Discusión

La comparación del error relativo del peso obtenido por el Modelo de Cilindro ajustado con respecto al peso obtenido del CLAP, muestra una evidente mejora en la estimación frente al uso del Modelo de Cilindro no ajustado, Tabla 1.

**Tabla 1**  
*Comparación del peso al nacer de datos fuente, modelo de cilindro no ajustado, por modelo de cilindro ajustado y peso con error relativo ajustado.*

	Pn (g)	Pc (g)	EG (s)	AU (cm)	Radio2 (cm2)	V (cm3)	$\delta$ (g/cm3)	Pd (g)	ER (%)	ERa (%)	Pt (g)	ERa' (%)
1	2394	2011,1	39,0	27	22,8	1933,7	1,048	2026,6	15,35	10,2152	2233,6	6,70
2	2134	1557,2	37,0	24	19,9	1497,3	1,052	1575,2	26,19	31,8116	2076,3	2,70
3	2000	2011,1	38,3	27	22,8	1933,7	1,049	2028,5	-1,43	10,2152	2235,7	-11,79
4	2400	2011,1	40,0	27	22,8	1933,7	1,046	2022,7	15,72	10,2152	2229,3	7,11
5	2300	2011,1	39,0	27	22,8	1933,7	1,048	2026,6	11,89	10,2152	2233,6	2,89
6	2450	2011,1	40,3	27	22,8	1933,7	1,045	2020,8	17,52	10,2152	2227,2	9,09
7	2188	1809,6	39,0	26	21,3	1740,0	1,048	1823,6	16,65	19,0812	2171,6	0,75
8	2200	2011,1	37,0	27	22,8	1933,7	1,052	2034,3	7,53	10,2152	2242,1	-1,91
9	2340	2085,6	37,9	28	22,8	2005,4	1,050	2105,9	10,00	6,0382	2233,1	4,57
10	2200	2011,1	37,0	27	22,8	1933,7	1,052	2034,3	7,53	10,2152	2242,1	-1,91
11	2450	2085,6	38,0	28	22,8	2005,4	1,050	2105,9	14,04	6,0382	2233,1	8,85
12	2400	2288,2	38,9	27	25,9	2200,2	1,048	2305,8	3,92	0,5246	2317,9	3,42
13	2160	2085,6	39,0	28	22,8	2005,4	1,048	2101,6	2,70	6,0382	2228,5	-3,17
14	2208	2160,1	38,0	29	22,8	2077,0	1,050	2181,1	1,22	1,8612	2221,7	-0,62
15	2444	2542,4	38,0	30	25,9	2444,6	1,050	2566,9	-5,03	-12,0064	2258,7	7,58
16	2452	2542,4	41,4	30	25,9	2444,6	1,043	2549,7	-3,98	-12,0064	2243,6	8,50
17	2446	2542,4	38,0	30	25,9	2444,6	1,050	2566,9	-4,94	-12,0064	2258,7	7,66
18	2470	2226,9	39,7	28	24,3	2141,3	1,047	2241,9	9,23	16,8041	2618,6	-6,02
19	2400	2226,9	40,0	28	24,3	2141,3	1,046	2239,8	6,67	16,8041	2616,2	-9,01
20	2006	2226,9	39,0	28	24,3	2141,3	1,048	2244,1	-11,87	16,8041	2621,2	-30,67
21	2016	2542,4	37,1	30	25,9	2444,6	1,052	2571,7	-27,56	-12,0064	2262,9	-12,25
22	2200	2306,5	40,7	29	24,3	2217,7	1,045	2317,5	-5,34	-2,8278	2251,9	-2,36
23	2100	2542,4	42,0	30	25,9	2444,6	1,042	2547,3	-21,30	-12,0064	2241,5	-6,74
24	2200	2226,9	38,0	28	24,3	2141,3	1,050	2244,4	-2,02	16,8041	2621,5	-19,16
25	2400	3157,2	37,0	33	29,3	3035,7	1,052	3193,6	-33,07	-35,1658	2070,5	13,73
26	2350	2793,9	39,4	31	27,6	2686,5	1,047	2812,7	-19,69	-21,4976	2208	6,04
27	2498	3444,2	39,3	36	29,3	3311,7	1,047	3467,3	-38,80	-47,6968	1813,5	27,40

	P <sub>n</sub> (g)	P <sub>e</sub> (g)	EG (s)	AU (cm)	Radio2 (cm2)	V(cm3)	ρ' (g/cm3)	P <sub>l</sub> (g)	ER (%)	ERa (%)	P <sub>l</sub> ' (g)	ERa' (%)
28	2300	2884	39.0	32	27.6	2773.1	1.048	2906.2	-26.36	-25.6746	2160	6.09
29	2200	3252,8	37.0	34	29.3	3127.7	1.052	3290.4	-49.56	-39.3428	1995,9	9,28
30	2160	3157,2	40.6	33	29.3	3035.7	1.045	3172.3	-46.87	-35.1658	2056,7	4,78
31	2100	2884	38.6	32	27.6	2773.1	1.049	2909.0	-38.52	-25.6746	2162,1	-2,96
32	2200	2793,9	37.4	31	27.6	2686.5	1.051	2823.5	-28.34	-21.4976	2216,5	-0,75
33	2400	2793,9	37.0	31	27.6	2686.5	1.052	2826.2	-17.76	-21.4976	2218,4	7,57
34	2198	2884,7	37.9	33	26.8	2773.8	1.050	2917.3	-32.73	-27.3508	2119,4	3,58
35	2400	2796,6	37.0	33	25.9	2689.1	1.052	2828.9	-17.87	-24.5374	2134,8	11,05
36	2350	2884	34.4	32	27.6	2773.1	1.057	2931.2	-24.73	-25.6746	2178,6	7,29
37	2450	1680,6	39.0	25	20.6	1615.9	1.048	1693.5	30.88	25.4464	2124,4	13,29
38	1700	1680,6	38.0	25	20.6	1615.9	1.050	1698.8	.07	25.4464	2131,1	-25,36
39	2400	2457,7	38.0	29	25.9	2363.1	1.050	2481.3	-3.39	-7.8294	2287	4,71
40	2470	2226,9	39.4	28	24.3	2141.3	1.047	2241.9	9.23	16.8041	2617,7	-5,98
41	2476	2226,9	36.0	28	24.3	2141.3	1.054	2256.9	8.85	16.8041	2636,1	-6,47
42	2410	2011,1	38.7	27	22.8	1933.7	1.049	2028.5	15.83	10.2152	2235,7	7,23
43	2400	2226,9	38.3	28	24.3	2141.3	1.049	2246.2	6.41	16.8041	2623,7	-9,32
44	2400	2226,9	37.0	28	24.3	2141.3	1.052	2252.6	6.14	16.8041	2631,1	-9,63
45	2200	2011,1	40.0	27	22.8	1933.7	1.046	2022.7	8.06	10.2152	2229,3	-1,33
46	2440	2226,9	36.7	28	24.3	2141.3	1.053	2254.8	7.59	16.8041	2633,7	-7,94
47	2300	2457,7	36.0	29	25.9	2363.1	1.054	2490.7	-8.29	-7.8294	2295,7	0,19
48	2372	2542,4	36.0	30	25.9	2444.6	1.054	2576.6	-8.63	-12.0064	2267,2	4,42
49	2364	2972,1	37.3	32	28.4	2857.8	1.051	3003.5	-27.05	-20.3604	2393,7	-1,26
50	2300	2542,4	38.1	30	25.9	2444.6	1.049	2564.4	-11.50	-12.0064	2256,5	1,89
51	2400	2709,9	38.0	31	26.8	2605.7	1.050	2740.5	-14.19	-18.9968	2219,9	7,50
52	2456	2542,4	36.0	30	25.9	2444.6	1.054	2576.6	-4.91	-12.0064	2267,2	7,69
53	2354	2709,9	38.0	31	26.8	2605.7	1.050	2740.5	-16.42	-18.9968	2219,9	5,70
54	2300	2709,9	35.7	31	26.8	2605.7	1.055	2749.0	-19.52	-18.9968	2226,8	3,18
55	2100	2709,9	39.0	31	26.8	2605.7	1.048	2730.7	-30.03	-18.9968	2212	-5,33
56	3500	2306,5	40.0	29	24.3	2217.7	1.046	2319.8	33.72	21.4161	2816,6	19,53
57	2800	3348,5	39.0	35	29.3	3219.7	1.048	3374.3	-20.51	-4.832	3211,2	-14,69



	Pn (g)	Pc (g)	EG (s)	AU (cm)	Radio2 (cm2)	V(cm3)	$\bar{v}$ (g/cm3)	Pd (g)	ER (%)	ERa (%)	Pd' (g)	ERa' (%)
58	2800	2711,9	40,0	32	25,9	2607,6	1,046	2727,5	2,59	9,499	2986,6	-6,66
59	2900	2627,2	39,0	31	25,9	2526,1	1,048	2647,4	8,71	14,276	3025,3	-4,32
60	2900	2627,2	39,0	31	25,9	2526,1	1,048	2647,4	8,71	14,276	3025,3	-4,32
61	3000	2386	41,0	30	24,3	2294,2	1,044	2395,2	20,16	19,053	2851,6	4,95
62	3032	3348,5	41,0	35	29,3	3219,7	1,044	3361,4	-10,86	-4,832	3199	-5,50
63	3100	2627,2	40,0	31	25,9	2526,1	1,046	2642,3	14,76	14,276	3019,5	2,60
64	3250	2627,2	39,0	31	25,9	2526,1	1,048	2647,4	18,54	14,276	3025,3	6,90
65	3300	2711,9	39,0	32	25,9	2607,6	1,048	2732,8	17,19	9,499	2992,4	9,32
66	3350	2545,1	38,0	32	24,3	2447,2	1,050	2569,5	23,30	9,499	2813,6	16,01
67	3362	2542,4	38,0	30	25,9	2444,6	1,050	2566,9	23,65	19,053	3056	9,10
68	3424	2465,5	39,0	31	24,3	2370,7	1,048	2484,5	27,44	14,276	2839,2	17,08
69	3700	3252,8	42,0	34	29,3	3127,7	1,042	3259,1	11,92	-0,055	3257,3	11,96
70	3200	2386	40,0	30	24,3	2294,2	1,046	2399,8	25,01	19,053	2857	10,72
71	2500	1809,6	40,8	26	21,3	1740,0	1,044	1816,6	27,34	38,161	2509,8	-0,39
72	2600	2226,9	37,0	28	24,3	2141,3	1,052	2252,6	13,36	28,607	2897	-11,42
73	2760	2226,9	38,0	28	24,3	2141,3	1,050	2244,4	18,68	28,607	2886,5	-4,58
74	2800	2011,1	37,0	27	22,8	1933,7	1,052	2034,3	27,35	33,384	2713,4	3,09
75	3000	2226,9	39,0	28	24,3	2141,3	1,048	2244,1	25,20	28,607	2886,1	3,79
76	2700	2234,5	40,0	30	22,8	2148,6	1,046	2247,4	16,76	19,053	2675,6	0,90
77	2750	2306,5	38,0	29	24,3	2217,7	1,050	2324,6	15,47	23,83	2878,5	-4,67
78	2900	2234,5	39,0	30	22,8	2148,6	1,048	2251,7	22,36	19,053	2680,7	7,56
79	3300	2793,9	40,0	31	27,6	2686,5	1,046	2810,0	14,85	14,276	3211,1	2,69
80	3472	2627,2	40,0	31	25,9	2526,1	1,046	2642,3	23,90	14,276	3019,5	13,03
81	3520	2542,4	40,0	30	25,9	2444,6	1,046	2557,1	27,36	19,053	3044,3	13,51
82	3560	2085,6	42,0	28	22,8	2005,4	1,042	2089,6	41,30	28,607	2687,4	24,51
83	3000	2542,4	38,0	30	25,9	2444,6	1,050	2566,9	14,44	19,053	3056	-1,87
84	2900	2711,9	41,0	32	25,9	2607,6	1,044	2722,3	6,13	9,499	2980,9	-2,79
85	2700	1879,2	38,0	27	21,3	1807,0	1,050	1897,6	29,72	33,384	2531,1	6,26
86	3018	2386	40,0	30	24,3	2294,2	1,046	2399,8	20,48	19,053	2857	5,33
87	3179	2386	39,0	30	24,3	2294,2	1,048	2404,3	24,37	19,053	2862,4	9,96

	Pn (g)	Pc (g)	EG (s)	AU (cm)	Radio2 (cm2)	V (cm3)	$\delta'$ (g/cm3)	Pd (g)	ER (%)	ERa (%)	Pd' (g)	ERa' (%)
88	3200	2542,4	39,0	30	25,9	2444,6	1,048	2562,0	19,94	19,053	3050,1	4,68
89	3440	1293,1	39,0	25	15,8	1243,4	1,048	1303,1	62,12	42,938	1862,6	45,85
90	2600	2542,4	38,0	30	25,9	2444,6	1,050	2566,9	1,27	19,053	3056	-17,54
91	2600	2542,4	38,0	30	25,9	2444,6	1,050	2563,1	1,42	19,053	3051,4	-17,36
92	3142	3061,5	40,0	32	29,3	2943,7	1,046	3079,1	2,00	9,499	3371,6	-7,31
93	3309	2627,2	38,0	31	25,9	2526,1	1,050	2652,4	19,84	14,276	3031,1	8,40
94	3690	3061,5	39,0	32	29,3	2943,7	1,048	3085,0	16,40	9,499	3378	8,45
95	3460	3157,2	39,0	33	29,3	3035,7	1,048	3181,4	8,05	4,722	3331,6	3,71

Nota: **Pn (g)**: peso en gramos obtenido de CLAP; **Pc (g)**: peso en gramos obtenido por la fórmula del modelo de cilindro original; **EG (s)**: edad gestacional en el momento del nacimiento en semanas; **AU (cm)**: altura uterina en centímetros tomada entre la semana 31-33 de gestación; **Radio2 (cm2)**: Radio al cuadrado del perímetro cefálico; **V (cm3)**: volumen en centímetros cúbicos resultado del modelo del cilindro;  $\delta'$  (**g/cm3**): es la densidad dependiente de edad gestacional tomada del estudio de Kacem et al. (2013) para completar el cálculo del peso al nacer con el modelo de cilindro (gramos por centímetro cúbico); **Pd (g)**: peso en gramos resultado de aplicar el modelo de cilindro utilizando  $\delta'$  (**g/cm3**); **ER' (%)**: porcentaje del error relativo del peso con modelo de cilindro y densidad ajustada (Pd) con respecto al peso obtenido del CLAP (Pn); **ERa (%)**: es el error relativo resultante de la aplicación de los modelos de RLM según grupo (Bajo peso al nacer o Peso normal); **Pd' (g)**: es el peso con modelo de cilindro y  $\delta'$  (**g/cm3**) (Pd) recalculado con el error relativo obtenido de la comparación del peso recalculado (Pd') con el peso obtenido de CLAP (Pn).

Fuente: elaboración propia.

Esto nos indica que la idea del feto dentro de la placenta como un cilindro ha sido acertada para el desarrollo de este modelo de estimación. Nos muestra que para intentar resolver algunos problemas muchas veces debemos regresar a lo básico, modelos sencillos de geometría básica. Y posteriormente ajustar mediante una línea de regresión para absorber los diferentes factores que influyen en cada embarazo de manera individual.

En nuestras cohortes de estudio vemos que en el modelo de BPN el error relativo con respecto al peso al nacer del CLAP está influenciado por la altura uterina y el radio del perímetro cefálico de manera independiente, mientras que el error relativo en el modelo de peso normal solo viene influenciado por la altura uterina. Podemos entonces pensar que la vigilancia fetal debe hacerse muy de cerca con respecto a estos dos parámetros. Entendiéndose que una alteración en el desarrollo de la altura uterina y del perímetro cefálico en conjunto nos podrían indicar un probable caso de BPN, y más aún poder clasificarlo entre restricción del crecimiento simétrico y asimétrico. Es ahí cuando esta herramienta nos da pie a indagar más en el embarazo y a integrarse con otras medidas, como el uso del ultrasonido para poder confirmar o descartar el caso.

El presente estudio ha mejorado la predictibilidad y aplicabilidad del Modelo de Cilindro de Hernández Svendblad (2020), Tabla 2. Las cohortes estudiadas incluyen tanto recién nacidos con bajo peso como con peso normal, nacidos pre término como nacidos hasta la semana 42, perímetros cefálicos correspondientes tanto a percentiles menores a P5 como mayores a P95. Con esta metodología, una vez identificado si existe algún problema en el crecimiento fetal que indique una restricción en el desarrollo o, por el contrario, todos los parámetros indican un buen crecimiento fetal aplicamos la estimación para bajo peso o para peso normal. Se debe también tomar en cuenta que en la última etapa del embarazo es cuando el feto aumenta el peso, por lo que la evaluación puede ser retrospectiva, aplicando un modelo u otro según el cumplimiento con las tablas de referencia para su edad gestacional. Sin embargo, en esta última etapa probablemente no pueda reconducirse el crecimiento, pero sí puede ayudar a tomar decisiones obstétricas.

**Tabla 2**

*Medidas de dispersión del error relativo y validez interna del modelo de cilindro y del modelo de cilindro con error ajustado.*

	Bajo peso < 2500 g		Peso normal ≥ 2500 g		Índices de validez interna					
	Media (%)	SD± (%)	Media (%)	SD± (%)	S (%)	E (%)	VVP (%)	VVN (%)	RV+	RV-
Modelo de cilindro	15.35	11.56	19.69	11.32	55	100	100	62	0.46	-----
Modelo de Cilindro con error ajustado	6.97	6.67	9.33	8.19	84	97.5	98	81.2	33.6	0.17

Nota: SD: desviación típica; S: sensibilidad; E: especificidad; VVP: valor predictivo positivo; VVN: valor predictivo negativo; RV+: razón de verosimilitud positiva; RV-: razón de verosimilitud negativa.

Fuente: elaboración propia.

Ajustar el modelo de cilindro propone tres ventajas fundamentales: 1) Provee una herramienta que complete el estudio de crecimiento fetal desde la semana 31-33, con miras a predecir tanto si el feto será de bajo peso, así como el peso al nacer en función de las medidas tomadas en ese momento; 2) Tener tiempo suficiente para reconducir el crecimiento fetal: si logramos predecir un BPN en la semana 31 de gestación podríamos contar con aproximadamente cinco semanas o más, en caso de embarazo a término, para identificar la causa de esta restricción y tratarla; y 3) Este modelo no necesita ninguna tecnología como ultrasonido, resonancia magnética u otros. Por ello, en poblaciones donde los ingresos sean bajos y no cuenten con estos aparatos un buen entrenamiento de la toma de medidas y una tabla poblacional actualizada podría ser de gran ayuda para asistir tanto a la madre como al feto. Su *et al.* (2010), desarrollaron un modelo de estimación del peso al nacer en población asiática con medidas tomadas desde la semana 20-24 de gestación; sin embargo, es necesario el uso de ultrasonidos para tomar la medida de la variable de circunferencia abdominal (medido en un plano perpendicular a la columna fetal donde la vena umbilical ingresa al hígado fetal). Aunque tiene muy buen resultado, su aplicación únicamente fue probada para recién nacidos a término con peso normal.

Entre las grandes limitaciones de este estudio es la ausencia de una prueba temprana que nos permita distinguir entre bajo peso y peso normal. Por otro lado, mencionar que las hojas de Historia Clínica Perinatal CLAP están sujetas a muchos errores, ya que los distintos apartados que se llenan en el formulario son cumplimentados por diferentes centros de atención de salud. También se han encontrado incongruencias con las medidas de altura uterina, peso, edad gestacional, entre otros, por lo que también los resultados del estudio están sujetos a error. La tabla poblacional de referencia utilizada se realizó a partir de poblaciones sudamericanas, habría que hacer el ejercicio con otras disponibles, por ejemplo, INTERGROWTH-21 (Papageorghiou *et al.*, 2014, 2016) o tablas de OMS (Kiserud *et al.*, 2017), así como validar el método en una muestra independiente.

Otra de las limitaciones es que no se ha podido comparar este modelo con otros, debido a que los modelos de estimación del peso al nacer disponibles son aplicables a días u horas antes del nacimiento y con medidas tomadas por ultrasonido o resonancia magnética de imágenes; por ejemplo, la fórmula de Aoki (1990), de Hadlock (1985), de Campbell y Wilkin (1975) y Shepard (1982). Estas fórmulas muestran un porcentaje de error relativo entre 6-15 % (Kurmanavicius *et al.*, 2004) muy similar a nuestro modelo, es decir, se encuentra dentro de los parámetros de error aceptables para ser utilizado.

El sub análisis de los datos obtenidos pone de manifiesto que existe una diferencia de las medias del IMCm en el embarazo medio (20-24 semanas de gestación) entre los dos grupos de estudio. Sin embargo, el intervalo de confianza es amplio por lo que llegan a solaparse los valores, no siendo efectivo para discernir entre las cohortes. Su *et al.* (2010), mostraron que en la población estudiada un IMCm controlado de media 22.9 kg/m<sup>2</sup>, en el embarazo medio, se asocia con recién nacidos con un peso medio de 3200 g al nacer, mientras que Krentz *et al.* (2011), sostienen que el IMCm como predictor de los resultados de los recién nacidos está limitado por la altura de la madre. Ya

que al comparar mujeres de estatura media de 1.50 m con 1.80 m y IMCm similar daban diferentes resultados en recién nacidos. En nuestras cohortes, vemos que las estaturas medias son de 1.50 m y 1.53 m para madres con recién nacidos BPN y recién nacidos con peso normal, respectivamente.

De acuerdo a la publicación de Hughes et al. (2017), la decisión del punto de corte de 2500g fue de manera arbitraria. Durante la década de 1920 se presentaron algunos estudios con los que se pretendía definir el peso a partir del cual la morbilidad y mortalidad de los recién nacidos tenía una prevalencia marcadamente alta. Se presentaron diferentes pesos clave que oscilaban entre los 2275g a los 2750g. En el año 1919 el pediatra finlandés Dr. Arvo Ylppo presentó un punto de corte de 2500g que luego fue adoptado en la quinta reunión anual de la Academia Americana de Pediatría en 1935 (Hughes *et al.*, 2017). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el concepto de bajo peso adopta a los recién nacidos pretérmino y los que son pequeños para su edad gestacional, por lo que habría que revisar si el punto de corte de 2500g merece la pena mantener o se debería modificar de acuerdo a la actualidad.

**Conclusión.** El ajuste del modelo de cilindro para la estimación del peso al nacer ha mostrado una sensibilidad y especificidad comparable a otros modelos de predicción. Se considera que es necesario seguir estudiando las causas del error relativo para hacerlo más preciso, y sobre todo establecer un parámetro para distinguir a una temprana edad gestacional si el feto sufre de restricción del crecimiento sin la utilización de tecnología. Así mismo, para corroborar este ajuste se deben llevar a cabo estudios observacionales prospectivos bien diseñados con muestras más grandes.

## Referencias

- Aoki, M. (1990). Fetal weight calculation; Osaka University method. *Ultrasound in obstetrics and gynaecology*, 2, 95-107.
- Campbell, S. y Wilkin, D. (1975). Ultrasonic measurement of fetal abdomen circumference in the estimation of fetal weight. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 82(9), 689-697.
- Fescina, R. H., De Mucio, B., Martínez, G., Diaz, J., Duran, P., Serruya, S., ... y Rubino, M. (2011). *Sistema informático perinatal historia clínica perinatal y formularios complementarios: instrucciones de llenado y definición de términos*. [Perinatal Information System; Perinatal clinical record and complementary forms: filling instructions and definition of terms]. Montevideo: Centro Latinoamericano de Perinatología, Salud de la Mujer y Reproductiva.
- Fescina, R. H., De Mucio, B., Martínez, G., Aleman, A., Sosa, C., Mainero, L. y Rubino, M. (2011). *Vigilancia del Crecimiento Fetal*. Montevideo: Centro Latinoamericano de Perinatología, Salud de la Mujer y Reproductiva.

- García, C. S., Piña, F. G. y Juárez, G. G. (2007). Utilidad del método de Johnson y Toshach para calcular el peso fetal en embarazos de término en un hospital de segundo nivel. *Ginecología y Obstetricia de México*, 75(6).
- Hadlock, F. P., Harrist, R. B., Sharman, R. S., Deter, R. L. y Park, S. K. (1985). Estimation of fetal weight with the use of head, body, and femur measurements—a prospective study. *American journal of obstetrics and gynecology*, 151(3), 333-337.
- Hernández Svendblad, P. H. (2020). Predicción de BPN a 32 semanas de gestación en Hospital Nacional General. Modelo de Cilindro. *Realidad y Reflexión*, año 20 No. 51, 127-141.
- Hughes, M. M., Black, R. E. y Katz, J. (2017). 2500-g low birth weight cutoff: history and implications for future research and policy. *Maternal and child health journal*, 21(2), 283-289.
- Kacem, Y., Cannie, M. M., Kadji, C., Dobrescu, O., Lo Zito, L., Ziane, S., ... y Staelens, R. (2013). Fetal weight estimation: comparison of two-dimensional US and MR imaging assessments. *Radiology*, 267(3), 902-910.
- Kiserud, T., Piaggio, G., Carroli, G., Widmer, M., Carvalho, J., Neerup Jensen, L., ... y Benachi, A. (2017). The World Health Organization fetal growth charts: a multinational longitudinal study of ultrasound biometric measurements and estimated fetal weight. *PLoS medicine*, 14(1), e1002220.
- Krentz, H., Voigt, M., Guthmann, F., Hesse, V., y Straube, S. (2011). On the variability in preterm birth rate, birth weight, and somatic classification among neonates of mothers with the same body mass index. *Zeitschrift für Geburtshilfe und Neonatologie*, 215(04), 163-166.
- Kurmanavicius, J., Burkhardt, T., Wisser, J. y Huch, R. (2004). Ultrasonographic fetal weight estimation: accuracy of formulas and accuracy of examiners by birth weight from 500 to 5000 g. *Journal of perinatal medicine*, 32(2), 155-161.
- Li, C., Peng, Y., Zhang, B., Ji, W., Li, L., Gong, J., ... y Wang, Y. (2019). Birth weight prediction models for the different gestational age stages in a Chinese population. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.
- Lo Zito, L., Kadji, C., Cannie, M., Kacem, Y., Strizek, B., Mbonyumutwa, M., ... y Jani, J. (2013). Determination of fetal body volume measurement at term with magnetic resonance imaging: effect of various factors. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 26(12), 1254-1258.
- Ministerio de Salud, república de El Salvador. (2020, 08 de junio). *Portal de transparencia*. <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/minsal/documents/estadisticas?page=2>

- Organización Mundial de la Salud. (2014). *Global Nutrition Targets 2025: Low birth weight policy brief* (No. WHO/NMH/NHD/14.5). World Health Organization. [https://www.who.int/nutrition/publications/globaltargets2025\\_policybrief\\_lbwt/en/](https://www.who.int/nutrition/publications/globaltargets2025_policybrief_lbwt/en/)
- Papageorghiou, A. T., Ohuma, E. O., Altman, D. G., Todros, T., Ismail, L. C., Lambert, A., ... y Noble, J. A. (2014). International standards for fetal growth based on serial ultrasound measurements: the Fetal Growth Longitudinal Study of the INTERGROWTH-21st Project. *The Lancet*, 384(9946), 869-879.
- Papageorghiou, A. T., Ohuma, E. O., Gravett, M. G., Hirst, J., Da Silveira, M. F., Lambert, A., ... y Bertino, E. (2016). International standards for symphysis-fundal height based on serial measurements from the Fetal Growth Longitudinal Study of the INTERGROWTH-21st Project: prospective cohort study in eight countries. *bmj*, 355, i5662.
- Shepard, M. J., Richards, V. A., Berkowitz, R. L., Warsof, S. L. y Hobbins, J. C. (1982). An evaluation of two equations for predicting fetal weight by ultrasound. *American journal of obstetrics and gynecology*, 142(1), 47-54.
- Su, C. F., Tsai, H. J., Lin, C. Y., Ying, T. H., Wang, P. H. y Chen, G. D. (2010). Prediction of newborn birth weight based on the estimation at 20–24 weeks of gestation. *Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology*, 49(3), 285-290.