

Análisis dimensional de variables antropométricas y bioquímicas para diagnosticar el síndrome metabólico

Jesús Velásquez^{1,5}, Héctor Herrera^{2,5}, Lorena Encalada³, Sara Wong^{4,5}, Erika Severeyn^{2,5}

¹ Departamento de Termodinámica y Transferencia de Calor, Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas-Baruta, Caracas, Venezuela, 89000.

² Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos, Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas-Baruta, Caracas, Venezuela, 89000.

³ Facultad de Ciencias Médicas, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador, 010201.

⁴ Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador, 010201.

⁵ Grupo de Bioingeniería y Biofísica Aplicada, Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas-Baruta, Caracas, Venezuela, 89000.

Autores para correspondencia: {jmvelasquezf, haherrera, severeynrika, swong}@usb.ve, lorena.encalada@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 17 de mayo 2017 - Fecha de aceptación: 12 de julio 2017

ABSTRACT

Metabolic syndrome (MS) is a lifestyle-related condition, and it is linked to the development of diabetes and cardiovascular disease. There are numerous diagnostic criteria of MS; the most used is the diagnostic criterion according to NCEP-ATPIII. Although studies using body mass index and abdominal circumference have been performed to establish a cutoff point for the diagnosis of MS, there is no general index that establishes a cut-off point for this pathology diagnosis. The objective of this study is to propose a dimensionless index that can discriminate subjects with MS using biochemical variables (HDL, triglycerides) and anthropometric variables (weight, height, waist circumference). Three dimensionless indexes were designed and evaluated from the data obtained from the integration of three databases (n=829 subjects). By means of a simple correspondence analysis of the variables and a dimensional analysis based on the π Vaschy-Buckingham theorem, three dimensionless indexes were constructed: π_1 , π_2 and π_3 . Performance was assessed using Receiver Operating Characteristic (ROC) curves. The index π_1 , constructed with the variables: Abdominal circumference, triglycerides, weight and height; was the one that obtained a better performance as classifier of MS, presenting an area under the ROC curve of 0.86, a sensitivity and specificity greater than 0.7 and an optimum detection point for the diagnosis of MS of $\pi_1 < 104.87$. The π_1 dimensionless index designed in this study is a simple method, which requires fewer variables than the NCEP-ATPIII criterion, to diagnose MS.

Keywords: Dimensional analysis, simple correspondence analysis, theorem π of Vaschy-Buckingham, metabolic syndrome, medical database, ROC curves.

RESUMEN

El síndrome metabólico (SM) es una condición relacionada con el estilo de vida, y está vinculado al desarrollo de la diabetes y de enfermedades cardiovasculares. Existen numerosos criterios de diagnósticos del SM, el más usado es el criterio de diagnóstico según el NCEP-ATPIII. Aunque se han realizado estudios que usan el índice de masa corporal y la circunferencia abdominal para establecer un punto de corte para el diagnóstico del SM, no existe un índice general que establezca un punto de corte para esta patología. El objetivo de este estudio es proponer un índice adimensional que pueda discriminar sujetos con SM utilizando variables bioquímicas (HDL, triglicéridos) y antropométricas (peso, altura, circunferencia abdominal). Se diseñaron y evaluaron tres índices adimensionales a partir de los datos

obtenidos de la integración de tres bases de datos (n=829 sujetos). Mediante un análisis de correspondencia simple de las variables y un análisis dimensional basado en el teorema π de Vaschy-Buckingham se construyeron tres índices adimensionales: π_1 , π_2 y π_3 . El desempeño fue evaluado usando curvas Receiver Operating Characteristic (ROC). El índice π_1 construido con las variables: circunferencia abdominal, triglicéridos, peso y altura; fue el que obtuvo un mejor desempeño como clasificador del SM, presentando un área bajo la curva ROC de 0.86, una sensibilidad y especificidad mayor de 0.7 y un punto de detección óptimo para el diagnóstico de SM de $\pi_1 < 104.87$. El índice adimensional π_1 diseñado en este estudio es un método simple, que requiere de menos variables que el criterio de la NCEP-ATPIII, para diagnosticar el SM.

Palabras clave: Análisis dimensional, análisis de correspondencias simples, teorema π de Vaschy-Buckingham, síndrome metabólico, bases de datos médicas, curvas ROC.

1. INTRODUCCIÓN

El síndrome metabólico (SM) es una condición relacionada con el estilo de vida, y se ha convertido en un problema social y de salud pública (Zimmet & Alberti, 2005), que afecta a más del 20% de la población adulta de los Estados Unidos (Beltrán, Harhay, Harhay & McElligott, 2013), China (Xi, He, Hu & Zhou, 2013), Europa (Vishram, Borglykke, Andreasen, Jeppesen, Ibsen *et al.*, 2014) y los países en desarrollo (Prasad, Kabir, Dash & Das, 2012). El SM es una condición caracterizada por, dislipidemia, obesidad abdominal, altos niveles de glucosa en sangre e hipertensión arterial (Zimmet & Alberti, 2005). El SM está relacionado con el desarrollo de diabetes y enfermedades cardiovasculares.

Existen numerosos criterios de diagnósticos del SM. El que más se usa es el criterio de diagnóstico del según el National Cholesterol Education Program-Adult Treatment Panel III (NCEP-ATPIII, 2002). Por otro lado, se ha empleado el HOMA-IR (índice utilizado para el diagnóstico de la resistencia a la insulina) para establecer el diagnóstico del SM (Motamed, Miresmail, Rabiee, Keyvani, Farahani *et al.*, 2016), igualmente otros trabajos han determinado puntos de corte de la circunferencia abdominal y del índice de masa corporal (IMC) para el diagnóstico del SM (Gozashti, Najmeasadat, Mohadeseh & Najafipour, 2014; Worachartcheewan, Dansethakul, Nantasenammat, Pidetcha & Prachayasittikul, 2012). Sin embargo, no existe, un índice general que establezca un punto de corte para el diagnóstico del SM.

Los métodos que se han usado para el diseño de estos índices son muy variados. Entre estos se encuentra el análisis factorial, en donde a partir de datos experimentales se pueden establecer relaciones entre variables categóricas y numéricas, y a partir de esa información se diseña la forma del índice y las variables que lo conformarán (Velásquez, Wong, Encalada, Herrera & Severeyn, 2015). Por otro lado, también se usa el análisis de la regresión, para observar la naturaleza de las relaciones entre variables (Velásquez *et al.*, 2015). El análisis dimensional (AD) es otro método que se ha usado para establecer relaciones entre variables, este método consiste en construir parámetros adimensionales a partir de magnitudes físicas establecidas (Sonin, 2004). Las aplicaciones del AD en ciencia e ingeniería son muchas, incluyendo la astrofísica, teoría electromagnética, transferencia de masa, mecánica de fluidos, economía e incluso en las ciencias sociales (Sonin, 2004); sin embargo, su uso en fisiología es limitado (Stahl, 1961; Günther & León, 1966).

El objetivo del estudio es encontrar un índice adimensional que pueda discriminar sujetos con SM utilizando variables bioquímicas y antropométricas. Para esto, se integró una base de datos compuesta por tres bases de datos, una base de datos recolectada en la Universidad de Cuenca en Ecuador (Parra, Andrade, Cruz, Solano-Quinde, Palacio-Baus *et al.*, 2015) y dos bases de datos recolectadas en la Universidad Simón Bolívar en Venezuela (Severeyn, Wong, Herrera & Altuve, 2005; Herrera, Rebato, Arechabaleta, Lagrange, Salces *et al.*, 2003). A partir de esta base de datos, se realizó un análisis de correspondencias simples para elegir las variables más relacionadas con el SM; luego se efectuó un análisis dimensional utilizando el teorema π de Vaschy-Buckingham para diseñar los índices adimensionales y finalmente para evaluar el desempeño de los índices adimensionales se construyeron las curvas ROC.

En la siguiente sección se explicará el procedimiento metodológico. En la sección tres, se presentarán los resultados y la discusión. Y finalmente, en la sección cuatro, se mostrarán las conclusiones y propuestas de trabajos futuros.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección presentamos la base de datos (sección 2.1) y la metodología en tres etapas: Análisis de correspondencia simple (sección 2.2), análisis dimensional (sección 2.3) y medidas de desempeño (sección 2.4).

2.1. Base de datos

La base de datos utilizada es una compilación de tres bases de datos:

- i) Base de datos 1 (n=120, masculino=42): En 2015, los adultos mayores de más de 65 años sin diabetes fueron reclutados en el proyecto DIUC-PROMETEO denominado: Variabilidad de la frecuencia cardíaca y la sensibilidad a la insulina en la población de edad avanzada de Cuenca, Ecuador (Parra *et al.*, 2015). A cada sujeto se realizó una hematología, un perfil lipídico, medidas antropométricas (altura, peso, IMC, circunferencia abdominal), cuestionario internacional de actividad física 2 (IPAQ) (Craig, Marshall, Sjöstrom, Bauman & Booth, 2003) y una prueba oral de tolerancia a la glucosa (POTG).
- ii) Base de datos 2 (n=25, masculino=25): En 2009 se reclutaron adultos varones de entre 18 y 45 años sin diabetes en el proyecto DID-USB denominado: Estudio electrocardiográfico de la neuropatía cardíaca en el síndrome metabólico (Severeyn *et al.*, 2015). A cada sujeto se realizó una hematología, un perfil lipídico, medidas antropométricas (altura, peso, circunferencia abdominal, IMC) y la POTG.
- iii) Base de datos 3 (n=684, masculino=260): Entre 2004 y 2012 (Herrera *et al.*, 2003), hombres y mujeres adultos de la capital del distrito capital de Venezuela fueron reclutados en el laboratorio de Evaluación Nutricional de la Universidad Simón Bolívar. A cada sujeto se realizó una hematología, un perfil lipídico, medidas antropométricas (altura, peso, circunferencia abdominal, IMC), y mediciones de glucosa e insulina en ayunas.

El protocolo clínico de cada base de datos se adhirió a los principios de la Declaración de Helsinki y fueron aprobados por el Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca en Ecuador (Base de datos 1); Universidad Simón Bolívar (Bases de datos 2 y 3). Todos los sujetos dieron un consentimiento informado por escrito.

Tabla 1. Características de la base de datos según los sujetos Control y sujetos con SM.

Variables antropométricas	Control (n=665)		SM (n=164)	
	(n=398 femenino)		(n=104 femenino)	
	Edad=59.94±20.16 años		Edad=62.46±17.95 años	
	Media	STD	Media	STD
Peso (Kg)	64.94	15.07	77.31	19.39
Altura (cm)	159.18	10.23	157.65	12.16
Circunferencia abdominal (cm)	86.53	12.21	99.34	13.02
IMC=peso/altura ² (Kg/m ²)	25.53	4.99	30.87	5.92
Variables bioquímicas	Media	STD	Media	STD
Triglicéridos (mg/dL)	115.11	67.42	193.64	83.20
HDL (mg/dL)	50.02	13.56	38.87	8.99

En total la base de datos consta de 829 sujetos, los cuales fueron clasificados en dos grupos control y con síndrome metabólico según el criterio de la NCEP-ATPIII. De esta forma se construyó el vector

de diagnóstico de SM (VSM). La Tabla 1 muestra las características de la base de datos total utilizada, se presenta como promedio y desviación estándar de cada característica.

2.2. Análisis de correspondencia simple

Se realizó un análisis de correspondencia simple (ACS) para determinar las variables utilizadas en el análisis de dimensiones. ACS es una técnica descriptiva que permite una representación simultánea de variables e individuos en un mismo espacio; construye un mapa y caracteriza las principales variables resultantes de diferentes perfiles. La representación gráfica permite la percepción y la interpretación de los datos en un espacio bidimensional, donde los ejes representan el porcentaje de las variables (Lebert & Piron, 2000).

En el ACS realizado para este estudio, las variables numéricas fueron definidas por mediciones bioquímicas y antropométricas tomadas de cada individuo. Por otra parte, las variables categóricas representan la cantidad de individuos pertenecientes a cada categoría. Finalmente, los individuos son los sujetos pertenecientes a cada grupo (Velásquez *et al.*, 2015).

2.3. Análisis dimensional

El AD es una herramienta que permite simplificar el estudio de los fenómenos en los que las magnitudes físicas están involucradas en forma de variables independientes. El resultado del análisis dimensional es la sustitución de un conjunto original de variables de entrada que tienen dimensiones físicas por un número menor de variables de entrada adimensionales. El AD es posible gracias al teorema π de Vaschy-Buckingham.

El teorema π de Vaschy-Buckingham establece que si tenemos una función que refleja la relación existente entre n variables con magnitudes físicas básicas, es posible expresar esas variables en términos de k magnitudes dimensionalmente independientes. Por lo tanto, la función original puede expresarse, de manera equivalente, como una función de $n-k$ números adimensionales construidos a partir de las variables originales, que serán a su vez, variables de la nueva función. El teorema π de Vaschy-Buckingham proporciona un método para construir parámetros adimensionales, incluso cuando la función original es desconocida (Bertrand, 1878; Rayleigh, 1915).

En otras palabras, si tenemos una función que refleja la relación entre variables que llamaremos V_i donde $i = 1:n$; Entonces debe haber una función f tal que:

$$f(V_1, V_2, V_3, \dots, V_n) = 0 \quad (1)$$

Si las variables V_i se expresan en términos de k unidades físicas independientes (masa, longitud y tiempo), entonces la ecuación 1 puede expresarse como:

$$f'(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_j) = 0; \quad j = 1:n - k \quad (2)$$

$$\pi_j = V_1^{C_1} \cdot V_2^{C_2} \dots \cdot V_n^{C_n} \quad (3)$$

donde: C_1, C_2, \dots, C_n , son exponentes con la condición de que cada número π_j cumple el criterio de adimensionalidad.

2.4. Medidas de desempeño

Para hallar la capacidad de detección del índice se hallaron las curvas ROC (Reitsma, Glas, Rutjes, Scholten, Bossuyt *et al.*, 2005). Para esto se halló el índice para cada uno de los sujetos construyéndose así el vector resultado del índice (VR). Con el VR se halló el mínimo y el máximo de dicho vector y se construyó un vector diagnóstico (VD) con números equitativamente espaciados entre el valor mínimo y el máximo del VR.

Cada valor del VD se tomó como punto de corte, y se evaluó comparando con el VSM. Para la evaluación de cada punto de corte del vector VD se obtuvo los verdaderos positivos (VP), falsos positivos (FP), verdaderos negativos (VN) y los falsos negativos (FN). Luego se hallaron la sensibilidad (SEN) y especificidad (ESP) para cada valor del vector VD (Reitsma *et al.*, 2005).

Con la sensibilidad y la especificidad de cada punto de VD, se construyó las curvas ROC para cada número adimensional. Así como también el área bajo la curva (ABC), considerándose un valor predictivo aceptable aquel índice con un área bajo la curva mayor a 0.75.

Se halló el punto de corte óptimo aquel que presentaba la menor distancia entre la curva ROC y el punto de detección óptima.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se explicarán y discutirán los resultados obtenidos en el ACS (sección 3.1). Así como también el método para hallar los números adimensionales (sección 3.2) y finalmente la evaluación del desempeño de los mismos (sección 3.3).

3.1. Análisis de correspondencia simple

En las Tablas 2, 3 y 4, y en la Figura 1, se puede observar el ACS realizado a la base de datos. La nomenclatura utilizada en la Figura 1 se muestra en la Tabla 2. La Tabla 3 presenta las contribuciones de las variables en el ACS. La Tabla 4 muestra el porcentaje de la varianza total en los ejes.

En la Figura 1, se puede observar que los ejes 1 y 2 pueden discriminar entre los sujetos control (nube morada) y los sujetos con SM (nube rosada). Por lo tanto, el peso, la altura, los triglicéridos y el HDL, que son las variables con mayor contribución en los ejes 1 y 2, son las que más contribuyen a esa distribución.

La edad, el IMC, la circunferencia abdominal, HDL y triglicéridos fueron tomados en cuenta en el ACS como variables categóricas. Se pudo observar que aquellas variables que representan los valores alterados de HDL, circunferencia abdominal, e IMC, están más relacionadas con el grupo con SM que aquellas que representan valores normales de las mismas. Igualmente se puede observar que las variables que representan las edades entre 18 y 75 años están más relacionadas con el grupo con SM, que las variables que representan edades mayores de 75 años y menores de 18 años.

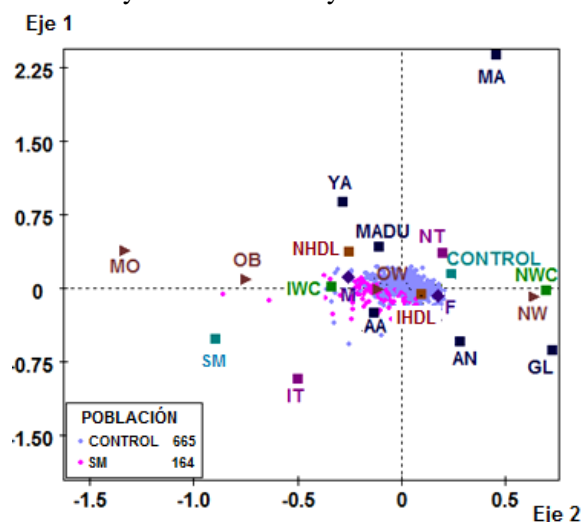


Figura 1. Análisis de correspondencias simples de las variables bioquímicas y antropométricas.

Por otro lado, los ejes 1, 2, 3, 4 y 5 representan el 86,15% de la varianza total de los datos, por tanto, la presión arterial sistólica, presión arterial diastólica y la circunferencia abdominal, también deben tomarse en cuenta como variables importantes en la caracterización del SM.

Tabla 2. Nomenclatura de las variables categóricas y numéricas utilizadas en el ACS.

VARIABLES CATEGÓRICAS	NOMENCLATURA	VALORES DE CORTE
Triglicéridos (TG)	NT= Normal IT= Alterado	NT; TG <150mg/dL IT; TG >150mg/dL
HDL	NHDL=Normal HDL IHDL= Alterado HDL	60≥ HDL ≥40mg/dL HDL<40mg/dL
IMC	NW= Peso normal OW=Sobrepeso OB=Obesidad MO=Obesidad mórbida	IMC =18-25Kg/m ² IMC =25-29Kg/m ² IMC =30-39Kg/m ² IMC ≥40Kg/m ²
Circunferencia Abdominal (WC) (NCEP-ATPIII, 2002)	NWC=Normal IWC= Alterado	Hombres por encima de 90 cm Mujeres por encima de 80 cm
Edad	MA=Adolescencia media YA=Adulto joven MADU=Adulto maduro AA=Edad avanzada AN=Anciano GL= Grandes longevos	18≥ Edad >15 años 35≥ Edad >18 años 60≥ Edad >35 años 75≥ Edad >60 años 90≥ Edad >75 años Edad >90 años
Población	SM=Sujetos con SM Control=Sujetos sin SM	SM diagnosticado según NCEP-ATPIII (NCEP-ATPIII, 2002 & Grundy <i>et al.</i> , 2005)
VARIABLES NUMÉRICAS*	NOMENCLATURA	
Altura	H	
Peso	W	
Presión arterial sistólica	PAS	
Presión arterial diastólica	PAD	

*Las variables numéricas de cada individuo se estandarizan antes de ser representados en el análisis de correspondencias simples.

Tabla 3. Contribuciones de las variables en el ACS.

Variable *	Eje 1 [%]	Eje 2 [%]	Eje 3 [%]	Eje 4 [%]	Eje 5 [%]
Peso	9.07	8.39	5.79	2.05	5.08
Altura	0.84	7.63	0.41	1.57	4.75
Circunferencia Abdominal	4.15	2.28	0.10	0.84	69.58
Triglicéridos	7.80	56.94	5.81	17.65	0.00
HDL	12.07	1.28	2.07	0.71	0.26
Presión arterial sistólica	1.96	0.38	6.29	2.12	0.86
Presión arterial diastólica	1.11	0.04	6.18	2.81	0.00

*Las variables que no presentaron contribuciones mayores a 2% en alguno de los ejes no fueron incluidas en la tabla.

Tabla 4. Porcentaje de la varianza en los ejes.

Ejes	Porcentaje de la varianza [%]	Porcentaje de la varianza acumulada [%]
1	27.38	27.38
2	19.77	47.15
3	17.31	64.46
4	12.63	77.09
5	9.06	86.15

3.2. Análisis dimensional

La circunferencia abdominal, altura, peso, presión arterial sistólica, presión arterial diastólica, HDL y triglicéridos fueron las variables seleccionadas para la construcción de los monomios adimensionales debido a que podían discriminar entre grupos en el ACS. El peso y la altura se multiplicaron y se tomaron como una única variable ($V_1=H.W$), con el fin de simplificar la cantidad de números adimensionales, por tanto, la cantidad de variables a tomar en cuenta es $n=6$.

Para formar los números adimensionales (π_j), las variables ($n = 6$) se expresan en sus unidades físicas correspondientes: Masa, Longitud y Tiempo ($k = 3$) como se muestra en la Tabla 5 (Günther & León, 1966). La cantidad de posibles monomios, de acuerdo con el Teorema π de Vaschy-Buckingham, se define como $n-k$; que en este caso es 3. Los exponentes de las variables se hallan siguiendo el procedimiento explicado en (Günther & León, 1966).

Tabla 5. Exponentes de las variables para cada variable.

Exponentes	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
Variabes de cada exponente	$V_1=H.W$	$V_2=WC$	$V_3=PAS$	$V_4=TG$	$V_5=HDL$	$V_6=PAD$
Unidades Físicas	Kg.m	m	Kg/m.s ²	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m.s ²
Masa (Kg)	1	0	1	1	1	1
Longitud (m)	1	1	-1	-3	-3	-1
Tiempo (s)	0	0	-2	0	0	-2

Debido a que la suma de exponentes de cada unidad física debe ser cero, las ecuaciones 4, 5 y 6 se plantean. Estas ecuaciones corresponden a $\Sigma Masa=0$; $\Sigma Longitud=0$ y $\Sigma Tiempo=0$ respectivamente.

$$\sum Masa = C_1 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 = 0 \tag{4}$$

$$\sum Longitud = C_1 + C_2 - C_3 - 3C_4 - 3C_5 - C_6 = 0 \tag{5}$$

$$\sum Tiempo = -2C_3 - 2C_6 = 0 \tag{6}$$

Se procede a despejar C₁, C₂ y C₃ de las ecuaciones (4), (5) y (6) lo cual da como resultado las ecuaciones (7), (8) y (9):

$$C_1 = -C_4 - C_5 \tag{7}$$

$$C_2 = 4C_4 + 4C_5 \tag{8}$$

$$C_3 = -C_6 \tag{9}$$

Con las ecuaciones 7, 8 y 9, se resuelve el sistema de ecuaciones tomando en cuenta tres casos, donde se definen como valores unitarios los exponentes de triglicéridos (V4), HDL (V5) y presión arterial diastólica (V6) (Günther & León, 1966):

- Caso 1; que correspondería a π_1 , donde $C_4=1$, $C_5=0$ y $C_6=0$. Por tanto, $C_1=1$, $C_2=4$ y $C_3=0$
- Caso 2; que correspondería a π_2 , donde $C_4=0$, $C_5=1$ y $C_6=0$. Por tanto, $C_1=-1$, $C_2=4$ y $C_3=0$
- Caso 3; que correspondería a π_3 , donde $C_4=0$, $C_5=0$ y $C_6=1$. Por tanto, $C_1=0$, $C_2=0$ y $C_3=-1$

La Tabla 6 muestra los exponentes de los índices adimensionales hallados para cada caso.

Tabla 6. Exponentes de las variables de los monomios adimensionales.

Exponentes	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
π_1	-1	4	0	1	0	0
π_2	-1	4	0	0	1	0
π_3	0	0	-1	0	0	1

En la Tabla 7 se presentan los números adimensionales finales, donde el peso se debe introducir en Kg, la altura en metros, circunferencia abdominal en metros, los triglicéridos y el HDL en mg/dL, y la presión arterial sistólica y diastólica en mmHg.

Tabla 7. Números adimensionales.

Índice	Número adimensional
π_1^*	$\frac{100.H.W}{WC^4.TG}$
π_2^*	$\frac{100.H.W}{WC^4.HDL}$
π_3	$\frac{PAS}{PAD}$

*Los números adimensionales π_1 y π_2 se les agregó una constante que permitiera hacer la conversión de las unidades del HDL de mg/dL a Kg/m³. Se usaron los inversos de los números π_1 y π_2 para mantener los valores de los mismos mayores que cero.

3.3. Medidas de desempeño

En la Figura 2 se presentan las curvas ROC de cada número adimensional hallado en la sección anterior, así como también el área bajo la curva de cada uno de los números adimensionales. La Tabla 8, muestra la sensibilidad y especificidad para el punto de corte de detección óptima, los cuales se hallaron para medir el desempeño de los números adimensionales como clasificadores de sujetos con SM.

Se ha empleado el HOMA-IR, circunferencia abdominal e IMC para el diagnóstico del SM (Motamed *et al.*, 2016; Gozashti *et al.*, 2014; Worachartcheewan *et al.* 2012), en dichos estudios se utilizó como metodología las curvas ROC, estableciéndose áreas bajo la curva entre 0.68 y 0.72. En este estudio, se puede observar que el número π_1 , que es el que mejor desempeño tiene como clasificador del SM (ABC=0.86), tiene un área bajo la curva significativamente mayor al área bajo la curva de los estudios anteriormente mencionados; lo cual, lo convierte en un índice aceptable para la clasificación del síndrome metabólico con una sensibilidad y especificidad mayor de 0.7 en el punto de corte óptimo que indica diagnóstico de SM con un π_1 menor que 104.87.

El número π_1 tiene como variables: El peso, la altura, la circunferencia abdominal y los triglicéridos. Tanto la circunferencia abdominal como los triglicéridos están contemplados dentro del criterio de diagnóstico según la NCEP-ATPIII; sin embargo, ni el peso o la altura son contemplados en el mismo.

Tabla 8. Sensibilidad y especificidad del mejor punto de corte para el diagnóstico del SM.

SM	SEN	ESP	Punto de corte
π_1	0.76	0.78	104.87
π_2	0.64	0.56	367.55
π_3	0.63	0.45	1.51

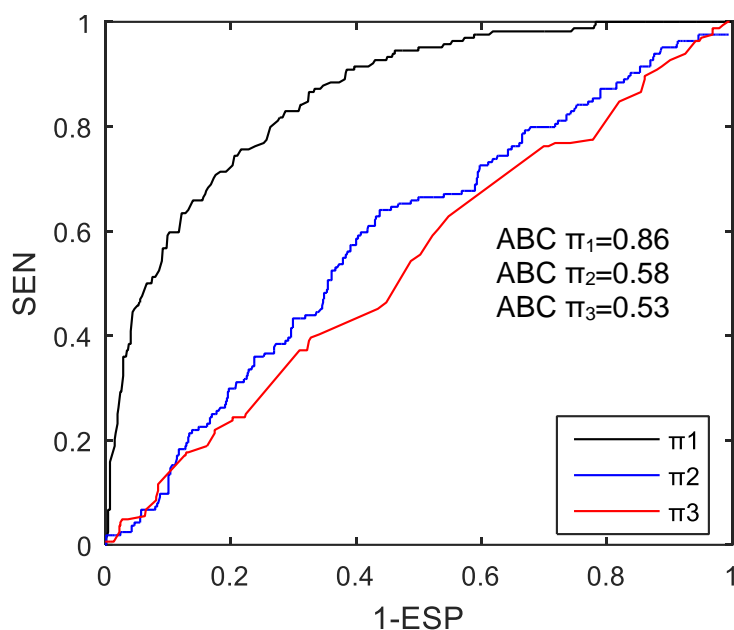


Figura 2. Curvas ROC para el diagnóstico del SM de cada número adimensional. ABC indica el área bajo la curva de cada una de las curvas ROC para cada número adimensional.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS A FUTURO

El SM se está convirtiendo en uno de los principales problemas de salud pública del siglo XXI. Con una prevalencia mundial por encima del 20%. En este trabajo se diseñó un número adimensional capaz de diagnosticar sujetos con SM utilizando variables bioquímicas y antropométricas. Para esto, se efectuó la integración de tres bases de datos, una recolectada en la Universidad de Cuenca en Ecuador y dos recolectadas en la Universidad Simón Bolívar en Venezuela. Posteriormente, se realizó un análisis de correspondencia simple y un análisis dimensional para el diseño del número adimensional y se aplicaron curvas ROC para su evaluación. El número adimensional (π_1) que obtuvo el mejor desempeño en la detección de sujetos con SM, tiene como variables la circunferencia abdominal, triglicéridos, peso y altura, estas variables se pueden registrar de forma rutinaria durante un examen clínico; lo cual lo convierte en un método simple que necesita menos variables que el criterio del NCEP-ATPIII, para diagnosticar el SM.

Los criterios de diagnóstico del SM no están claros hoy en día, por lo tanto el diseño de índices con puntos de corte que faciliten la discriminación de sujetos con esta patología es muy importante. En este estudio se usó una base de datos proveniente de dos países; para que el punto de corte pueda ser usado en cualquier tipo de población, es necesario que su diseño esté basado en una base de datos más extensa. Por otro lado, siendo el SM una condición relacionada con la resistencia a la insulina, es posible que el índice diseñado en este estudio pueda discriminar también entre sujetos con resistencia a la insulina, sería interesante explorar su capacidad de detección en esta patología.

Además, el teorema π de Vaschy-Buckingham, ofrece una interesante perspectiva en la cual las variables adimensionales manejadas tienen una funcionalidad matemática, por lo tanto es posible relacionarlas. En el área de fluidos, transferencia de calor y termodinámica, se han logrado grandes avances encontrando de manera experimental, relaciones empíricas entre variables adimensionales. Se propone a futuro relacionar variables fisiológicas adimensionalizadas con la intención de encontrar la funcionalidad empírica adecuada usando resultados experimentales y metodologías matemáticas de ajuste de funciones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Decanato de Investigación y Desarrollo de la Universidad (DID) Simón Bolívar en Venezuela y por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) en Ecuador.

REFERENCIAS

- Beltrán-Sánchez, H., Harhay, M. O., Harhay, M. M., & McElligott, S. (2013). Prevalence and trends of metabolic syndrome in the adult U.S. population, 1999-2010. *Journal of the American College of Cardiology*, (62), 697-703.
- Bertrand, J. (1878). Sur l'homogénéité dans les formules de physique. *Comptes Rendus*, (15), 916-920.
- Craig, C., Marshall, A., Sjöström, M., Bauman, A., Booth, M., Ainsworth, B., Pratt, M., Ekelund, U., Yngve, A., Sallis, J., & Oja, P. (2003). International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(8), 1381-95.
- Gozashti, M., Najmeasadat, F., Mohadeseh, S., & Najafipour, H. (2014). Determination of most suitable cut off point of waist circumference for diagnosis of metabolic syndrome in Kerman. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, (8), 8-12.
- Grundy, S. M., Cleeman, J. I., Daniels, S. R., Donato, K. A., Eckel, R. H., Franklin, B. A., Gordon, D. J., Krauss, R. M., Savage, P. J., Smith, S. C., Spertus, J. A., & Costa, F. (2005). Diagnosis and management of the metabolic syndrome: an American Heart Association/National Heart, Lung, and Blood Institute scientific statement. *Circulation*, 112(17), 2735-2752.
- Günther, B., & León, B. (1966). An invariant and dimensionless number, which characterizes respiratory, haematic, circulatory and metabolic functions in mammals. *Archives Biologica Medicina Experimental*, (3), 1-6.
- Herrera, H., Rebato, E., Arechabaleta, G., Lagrange, H., Salces, I., & Susanne, C. (2003). Body Mass Index and Energy Intake in Venezuelan University Students. *Nutrition Research*, 23(3), 389-390.
- Lebert, A., & Piron, M. (2000). *Statistique exploratoire multidimensionnelle* (3rd ed.), pp. 344-346, Paris, France : Dunod Editions.
- Motamed, N., Miresmail, S. J. H., Rabiee, B., Keyvani, H., Farahani, B., Maadi, M., & Zamani, F. (2016). Optimal cutoff points for HOMA-IR and QUICKI in the diagnosis of metabolic syndrome and non-alcoholic fatty liver disease: A population based study. *Journal of Diabetes and its Complications*, 30(2), 269-274.
- National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III). (2002). Third Report of the National Cholesterol Education Program Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults final report. *Circulation*, 106(25), 3143-421.
- Parra, F., Andrade, D., Cruz, J., Solano-Quinde, L., Palacio-Baus, K., Encalada, L., & Wong, S. (2015). Plataforma basada en ecgML para el estudio de las complicaciones cardiovasculares en el adulto mayor con síndrome metabólico. *Maskana*, 6(Supl.), 157-164.
- Prasad, D. S., Kabir, Z., Dash, A. K., & Das, B. C. (2012). Prevalence and risk factors for metabolic syndrome in Asian Indians: A community study from urban Eastern India. *Journal Cardiovascular Disease Research*, (3), 204-211.
- Rayleigh, L. (1915). The principles of similitude. *Nature*, (95), 66-68.
- Reitsma, J., Glasa, A., Rutjesa, A., Scholten, R., Bossuyta, P., & Zwindermana, A. (2005). Bivariate analysis of sensitivity and specificity produces informative summary measures in diagnostic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, (58), 982-990.
- Severein, E., Wong, S., Herrera, H., & Altuve, M. (2015) *Anthropometric measurements for assessing insulin sensitivity on patients with metabolic syndrome, sedentaries and marathoners*.

- Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015 37th Annual International Conference of the IEEE. 4423-4426.
- Sonin, A. A. (2004). *A generalization of the π theorem and dimensional analysis*. Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America, 101(23), 8525–8526.
- Stahl, W. 1961. Dimensional Analysis in Mathematical Biology. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, (23), 355-376.
- Velásquez, J., Wong, S., Encalada, L., Herrera, H., & Severeyn, E. (2015). *Lipid-anthropometric index optimization for insulin sensitivity estimation*. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 96810R1-96810R10.
- Vishram, J. K., Borglykke, A., Andreasen A.H., Jeppesen J., Ibsen H., Jørgensen T., Palmieri, L., Giampaoli, S., Donfrancesco, C., Kee, F., Mancia, G., Cesana, G., Kuulasmaa, K., Salomaa, V., Sans, S., Ferrieres, J., Dallongeville, J., Söderberg, S., Arveiler, D., Wagner, A., Tunstall-Pedoe, H., Drygas, W., & Olsen, M. H. (2014). MORGAM Project. Impact of age and gender on the prevalence and prognostic importance of the metabolic syndrome and its components in Europeans. The MORGAM Prospective Cohort Project. *PLOS One*, (9), e107294.
- Worachartcheewan, A., Dansethakul, P., Nantasenamat, C., Pidetcha, P., & Prachayasittikul, V. (2012). Determining the optimal cutoff points for waist circumference and body mass index for identification of metabolic abnormalities and metabolic syndrome in urban Thai population. *Diabetes Research and Clinical Practice*, (98), e16–e21.
- Xi, B., He, D., Hu, Y., & Zhou, D. (2013). Prevalence of metabolic syndrome and its influencing factors among the Chinese adults: The China Health and Nutrition Survey in 2009. *Preventive Medicine*, (57), 867-871.
- Zimmet, P., & Alberti, G. (2005). Una nueva definición mundial del síndrome metabólico por la federación internacional de diabetes: fundamento y resultados. *Revista Española de Cardiología*, 58(12), 1371-1376.