

EL INDICE DE MASA CORPORAL Y LOS RAZONAMIENTOS DE UN ASTRÓNOMO

RODOLFO C. PUCHE

Laboratorio de Biología Osea, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Rosario

Resumen Este artículo traza la historia del Índice de Masa Corporal, también conocido como Índice de Quetelet o relación del peso (en kilogramos) dividido por el cuadrado de la estatura (en metros). El índice es utilizado ampliamente para caracterizar el grado de sobrepeso. En función de información publicada se intenta dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Qué objetivos tenía Quetelet al asociar peso con estatura?, ¿Qué razonamientos lo indujeron a elegir la relación $\text{Peso}/(\text{Estatura})^2$?, ¿Cuándo se comenzó a aplicar el índice en la medicina moderna?, ¿Qué trabajos experimentales asociaron la relación $\text{Peso}/(\text{Estatura})^2$ con la masa grasa? y ¿Cuan general es la aplicación del índice?

Palabras clave: índice de Quetelet, índice de masa corporal, obesidad, peso, estatura

Abstract *Body Mass Index and the reasoning of an astronomer.* This article traces the story of the Body Mass Index, also called Quetelet's Index or the ratio between weight (in kilograms) divided by height (in meters) squared. The Index is used extensively in clinical practice to characterize overweight. Based on literature reports, probable answers are furnished for the following questions: Which were Quetelet's objectives at associating weight with height? Why did he choose to select $\text{Weight}/(\text{Height})^2$? When did the index begin to be applied in modern clinical medicine? Which were the experimental studies which associated the ratio $\text{Weight}/(\text{Height})^2$ with the body fat content? Which are the limitations of the ratio?

Key words: Quetelet's index, body mass index, obesity

El grado de obesidad suele definirse clínicamente con el Índice de Masa Corporal (BMI) también llamado Índice de Quetelet. Se calcula con la siguiente operación:

$$\text{BMI} = \text{peso en kilogramos} / (\text{estatura en metros})^2 \text{ o} \\ \text{BMI} = P/E^2$$

El índice aparece por primera vez en la obra de Alphonse Quetelet *Sur l'homme et le développement de ses facultés. Essai d'une physique sociale* (1835), que resume sus investigaciones en estadística aplicada a variables antropométricas y del comportamiento social.

Este artículo contiene respuestas (probablemente correctas) a una serie de preguntas suscitadas por la ecuación anterior.

¿Qué objetivos tenía Quetelet al asociar peso con estatura?

El peso o la estatura son pobres descriptores de una persona. La combinación de peso y estatura parece una

descripción mejorada aunque el crecimiento (en el sentido del aumento del número de células) es mejor descripto por el peso que por la estatura.

Es probable que como antropometra, Quetelet se sintiera atraído por la relación entre peso y estatura (un interés que comenzara en su período juvenil de pintor) que suponía debía ser constante para los sujetos de contextura normal. Expresa que "si el hombre creciera igualmente en las tres dimensiones, el peso debería ser función cúbica de la estatura. Durante el primer año de vida el aumento del peso es mucho mayor que el de la estatura. Después del primer año de vida y hasta el fin del desarrollo, el peso aumenta como el cuadrado de la estatura"¹.

¿Cuál fue su razonamiento para elegir dividir el peso por el cuadrado de la estatura?

Como se describe más abajo, Quetelet era profesor de matemáticas y fue enviado a París a aprender las técnicas necesarias para el funcionamiento de un observatorio astronómico. En París tomó contacto con Laplace, Fourier y Poisson y aprendió la importancia de la teoría de la probabilidad en astronomía¹. En su obra elabora el concepto de *l'homme moyen*, ser humano promedio, vir-

Recibido: 5-IV-2005

Aceptado: 11-V-2005

Dirección postal: Dr. Rodolfo C. Puche, Facultad de Ciencias Médicas de Rosario, Santa Fe 3100, 2000 Rosario, Argentina.
FAX: (54-0341) 4400337 e-mail: rpuche@arnet.com.ar

tual, sin deseos ni peculiaridades, representativo de su sociedad.

Sus tablas de datos¹ contienen las medias y los valores mínimos y máximos de cada variable. Los pesos y estaturas de los niños se obtuvieron midiendo todos los alumnos de las escuelas de Bruselas, los residentes del hogar de huérfanos, los adultos jóvenes de los colegios y de la escuela de medicina y a los ancianos *nel vasto e magnifico ospizio* de la ciudad. Agrupados por edades pero sin indicación del número de sujetos en cada grupo.

Reflexionando sobre sus tablas de promedios de peso y estatura (análisis calificado de "astuto" por Garrow y Webster)², observó que para cada sexo, la relación entre las estaturas y pesos mínimos (e, p) y máximos (E,P) era aproximadamente 5/6 (1)

$$e/E = p/P = 5/6$$

y observó la misma proporción entre peso y estatura para los valores extremos de la distribución:

$$p/e = 5/6 \quad \text{y} \quad P/E = 5/6.$$

Como las dos ecuaciones tienen el mismo resultado, derivó: $e/E = p/e$, de donde concluyó que

$e^2/E = p$, (E es la asíntota de la estatura (una constante)).

¿Definió Quetelet la relación P/E² como índice de obesidad?

Probablemente por no tener trato con pacientes, no apreció la necesidad (ni los beneficios) de calificar el sobrepeso, aunque vio claramente el impacto de las modificaciones de la masa grasa sobre el peso corporal y su índice. *Ci guida a concludere che, supponendo el peso specifico costante, l' aumento trasversale dell' uomo e inferiore all' aumento in altezza*¹. Suponendo el peso específico constante, implica la constancia de la grasa corporal como fracción del peso. Los lectores de Medicina saben que las investigaciones sobre las implicancias del contenido de grasa corporal y su determinación experimental, son muy posteriores a la época de Quetelet.

¿Cuándo comenzó a aplicarse el índice en la medicina moderna?

El análisis más antiguo conocido por el autor de estas líneas sobre el índice y la calificación de sobrepeso es el de Bøe, Hommerfelt y Wedervang³. Por su pertinencia con el tema de esta nota, creo que valen algunos comentarios sobre este estudio. Los autores citados analizaron información obtenida en la ciudad de Bergen (Noruega): peso y estatura de ciudadanos de ambos sexos y amplio rango de edades y su relación con la presión

sanguínea. La muestra es muy importante y fue analizada con métodos estadísticos modernos, que se desarrollaron décadas después de Quetelet.

Para ejemplificar sus observaciones respecto de las relaciones entre peso y estatura analizaron la información obtenida de sujetos entre 25 y 29 años de edad. La información obtenida los convenció que en dicho lapso se completaba el desarrollo. Analizando el comportamiento de las relaciones P/E, P/E² y P/E³ para estaturas entre 162.5 cm y 186.5 cm (tabla 42, p 153)³ observaron que mientras que P/E disminuye y P/E³ aumenta con la estatura, P/E² es aproximadamente constante (más en hombres que en mujeres). La independencia de P/E² con la estatura califica al índice como muy conveniente para efectuar comparaciones. Además, es semejante en ambos sexos, para sujetos de la misma estatura.

El índice P/E² es, esencialmente, una medida del peso corregida por la estatura. La necesidad de esta corrección deriva de la asociación positiva entre peso y estatura. Para Bøe y colaboradores³, los criterios excluyentes para elegirlo fueron: a) el índice debe estar significativamente correlacionado con el peso y b) ser independiente de la estatura. Otros dos índices examinados (P/E y P/E³), también satisfacen dichos criterios. La correlación con el peso⁴ es de pendiente positiva para P/E y negativa para P/E³.

Billewicz, Kemaley y Thompson (1962)⁵ y Khosla y Lowe (1967)⁶ confirmaron las conclusiones de Bøe y col.

¿Qué trabajos experimentales asociaron la relación P/E² con la masa grasa?

El nombre "Body Mass Index" fue asignado por Keys y col. en 1972⁷.

Los resultados de Watson y col.⁴ transcritos en la Tabla 1 indican que no habría mayores ventajas en el empleo de cualquiera de los tres índices (P/E, P/E² y P/E³), ya que las correlaciones entre ellos vs. el contenido de grasa corporal, producen coeficientes de correlación del mismo significado. Es probable que los antecedentes históricos del índice P/E², hayan decidido su elección.

En 1985, Garrow y Webster² midieron el contenido de grasa corporal en 104 mujeres y 24 hombres, de 14 a 60 años de edad, aplicando tres métodos: densidad corporal, contenido corporal de agua y contenido corporal de potasio. El promedio de estas tres determinaciones para cada paciente fue llamado "valor verdadero" del contenido corporal de grasa. Observaron que la regresión entre G/E² vs P/E² fue de 0.955 para las mujeres y 0.943 para los hombres. Sintiéndose autorizados por el alto grado de asociación entre G/E² y P/E², multiplicaron ambos lados de la ecuación de regresión por E² para obtener ecuaciones, para cada sexo y aplicable sólo a la muestra de personas estudiadas, que les permitieran estimar la

Tabla 1. – Coeficientes de regresión entre tres índices de masa corporal vs. peso, estatura y grasa corporal en 477 hombres y 301 mujeres (Watson y col.⁴).

| Índice | Hombres | | | Mujeres | | |
|------------------|---------|-------|--------|---------|-------|--------|
| | E | P | G | E | F | G |
| P/E | 0.131 | 0.953 | 0.543* | 0.012 | 0.984 | 0.711* |
| P/E ² | -0.201 | 0.796 | 0.551* | -0.173 | 0.931 | 0.701* |
| P/E ³ | -0.472 | 0.586 | 0.503* | -0.351 | 0.842 | 0.662* |

* $p < 0.0001$.

P: Peso. E: Estatura. G: Grasa corporal

masa grasa en función de la estatura. Esta estimación de los kilogramos de grasa, exhibe una distancia del “valor verdadero” (medida en desvíos estándar) no significativamente superior a la distancia del valor de masa grasa obtenido con cada uno de los tres métodos empleados. Y destacan que el error del “valor verdadero” contiene las contribuciones de las técnicas empleadas, mientras que el cálculo en base a la estatura es independiente de los métodos analíticos mencionados.

El trabajo de Garrow y Webster² es citado frecuentemente en la literatura como la comprobación definitiva del índice P/E² como indicador de sobrepeso. Los autores concluyen ... *Quetelet's index has been underrated as a measure of obesity in adults. It is very easy to apply to subjects with any degree of obesity, and (in our experience) provides a measure of fatness not much less accurate than specialised laboratory methods.*

¿Cuán general es la aplicación del índice P/E²?

El cociente P/E², al que se suele aludir como “peso corregido por altura” sugiere que existe una relación lineal entre ambas variables. Y ese no es el caso: P es una función exponencial de E². La observación de la relación lineal entre el logaritmo del peso con la estatura fue observada por Bøe y col.² y utilizada para la definición de valores “normales” del peso.

Tanto P como E² son variables que crecen con el correr del tiempo. El índice P/E² exhibe una curva bifásica en función de la edad (Figura 1), con un mínimo hacia los 5-8 años, tendiendo a una asíntota en la madurez. Para obviar la utilización de una función matemática compleja y facilitar la interpretación del valor del índice en jóvenes de 2 a 20 años, clínicos y nutricionistas usan, para cada sexo, los gráficos que muestran las curvas de los percentilos de interés diagnóstico. Los gráficos desarrollados por el *National Center for Health Statistics* en colaboración con el *National Center for Chronic Diseases and Health Prevention* están disponibles en: www.cdc.gov/nccdphp/dnpa/bmi/bmi-for-age.htm. La interpretación del índice

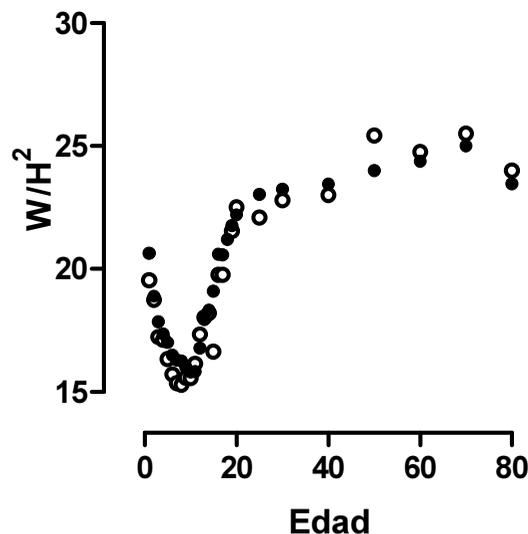


Fig. 1.– P/E² en función de la edad para hombres (círculos sólidos) y mujeres (círculos abiertos) de 1 a 80 años de edad. Datos de Quetelet¹.

entre 2 y 20 años es la siguiente: bajo peso: índices por debajo del quinto percentilo; en riesgo de sobrepeso: entre los percentilos 85 y 95 y sobrepeso, índices por encima del percentilo 95. Los gráficos son el producto de una investigación⁸ validada en una serie adecuada de sujetos de los dos sexos, en los que se midió la masa grasa por medio de la absorciometría de doble haz⁹ (DEXA).

Después de los 20 años de edad, el índice P/E² tampoco es una función lineal de la edad. Supongo que la razón por la que el índice se aplica a los mayores de 20 años sin corrección por edad ni sexo, reside en que la variancia del índice en la población adulta oscurece el carácter curvilíneo de la relación y la diferencia asociada al sexo. No he encontrado ningún estudio publicado, con muestras de tamaño adecuado, en el que se investigara si entre adultos, hay o no diferencias significativas del índice, asociadas con el sexo. Gurr Ricci y col.¹⁰ han publicado un gráfico del % de grasa corporal corregido por edad vs. edad (15 a 40 años). Los valores definen rectas, con muy poca variancia de los datos y sustancialmente diferentes entre hombres y mujeres. Sin embargo, el hecho de que la variable edad figure en ambos ejes, sugiere que dicha asociación es espuria.

Una conveniente cualidad adicional del índice sería que fuera aplicable a diferentes poblaciones y razas. Según Bøe y col.² entre 45 y 70 años de edad, las mujeres de Bergen tenían índices P/E² superiores a las de las mujeres norteamericanas. Entre 20 y 50 años, los varones italianos tenían índices más altos que los noruegos y los norteamericanos. Más recientemente y utilizando técnicas adecuadas para medir la masa grasa corporal, se ha publicado evidencia indicando que algunas poblacio-

nes asiáticas requieren valores propios de referencia^{10,11}, netamente por debajo de los corrientemente recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

¿Quién fue Adolphe Quetelet (1796-1874)?^{12, 13}

Quetelet nació el 22 de febrero de 1796 en Gante (entonces bajo dominio austriaco) de un padre francés y una madre brabantina. Falleció el 17 de febrero de 1874 en Bruselas, Bélgica. Sorteó con fortuna las perturbaciones causadas por la transición del sistema educativo austriaco al francés republicano. Esta experiencia le serviría años más tarde, al permitirle apreciar los usos a los que se pueden aplicar las instituciones educativas.

La muerte del padre en 1803 dejó a la familia en aperturas económicas. Después de dejar el Liceo de la ciudad (1813), Quetelet se empleó como profesor de matemáticas en un colegio municipal. En 1817 se fundó la Universidad de Gante en la que se doctoró dos años más tarde con una disertación sobre las secciones cónicas. Con su nuevo título se mudó a Bruselas como profesor. En 1823 Quetelet tomó contacto con el Ministro de Educación Pública, lo interesó exitosamente en la creación de un Observatorio y fue enviado a París a aprender las técnicas necesarias. De los contactos con Laplace, Fourier y Poisson aprendió la importancia capital de la teoría de la probabilidad en astronomía.

Para ubicar históricamente al lector, recordaré que la "curva normal" fue desarrollada en 1773 por DeMoivre, como aproximación a la distribución binomial. Laplace la usó en 1783 para describir la *distribución de los errores*. En 1809, Gauss la usó para analizar datos astronómicos y a partir de sus publicaciones la curva normal comenzó a llamarse "gaussiana". Fue Karl Pearson, en 1924, quien la incorporó al cuerpo doctrinario de la Estadística.

De regreso en Bruselas, dictó clases en el Museo sobre probabilidad, astronomía y física, visitó centros de investigación y fundó una publicación científica periódica. En 1826 se mostró crecientemente interesado en los aspectos sociales de sus estudios de probabilidad, publicando un trabajo sobre las funciones que regían los nacimientos y muertes en Bruselas, y abogó por la realización de un censo completo, que se realizó en 1828 con apoyo gubernamental. En ese año fue designado director del Observatorio, (aunque faltaban aún 4 años para su terminación).

Esta designación sobrevivió la revolución belga de 1830 y Quetelet siguió siendo una figura de importancia pública y científica durante el siguiente cuarto de siglo. En 1834 fue elegido Secretario Permanente de la Academia de Artes y Ciencias (luego Real Academia Belga y más tarde absorbida por la Universidad de Bruselas), que mantuvo hasta su muerte. Su correspondencia epistolar



Fig. 2.- Imagen de la estampilla belga con la imagen de Quetelet, emitida el 17 diciembre de 1974, al cumplirse el centenario de su muerte.

incluyó personalidades como el presidente James A. Garfield de EE.UU. (quien solicitó evaluación y mejoras en la metodología norteamericana del censo), Carl F. Gauss y hasta Johann W. Goethe quien lo recibiera en su casa durante una visita a Alemania.

Quetelet estudió fenómenos individuales tales como variaciones en dimensiones corporales (un interés que comenzó en su período juvenil de pintor) y fenómenos sociales como la incidencia de crímenes, regularidades de año a año en el número de suicidios, tasas de casamientos para cada sexo y grupo étnico, etc. Es el progenitor distante de la sociología moderna, y al analizar diversas combinaciones de esas variables anticipó el advenimiento futuro de los análisis multivariados.

En 1831 comenzó a publicar una serie de trabajos en estos temas, y enunció sus dos principios centrales para el estudio de la humanidad en general.

1. Las causas son proporcionales a los efectos que producen. Si un hombre puede levantar el doble del peso máximo que levanta otro, tiene dos veces la fuerza del segundo. El estudio de calidades morales de los hombres es posible sólo si este principio puede aplicarse.
2. Las conclusiones exactas son posibles solo con grandes números.

Los estudios de Quetelet están incluidos en su libro (1835): *Sur l'homme et le développement de ses facultés*, con el controvertido subtítulo: *Essai d'une physique sociale*. Según los historiadores, la publicación de esta obra fue seguida por un arduo debate, por lo que "*physique sociale*" puede traducirse como "física o me-

cánica social". El libro elabora el concepto de *l'homme moyen*, un ser humano demográficamente promedio, virtual, sin deseos ni peculiaridades, representativo de su sociedad. Este concepto indujo una fuerte discusión sobre determinismo, que no empañó su prestigio. En 1836 fue contratado como tutor en matemáticas de Alberto de Sajonia-Coburgo, más tarde conocido como el príncipe Alberto, esposo de la reina Victoria. Las visitas de Quetelet al Reino Unido facilitaron su contacto con los científicos británicos y tuvieron impacto en el establecimiento de la *Statistical Society of London* (más tarde la *Royal Statistical Society*).

En 1834 publicó por primera vez que las variaciones de varias características físicas estaban distribuidas simétricamente de tal manera que podrían describirse utilizando la distribución binomial o normal. El empleo de la curva normal en áreas tan diferentes de la astronomía o la geodesia tuvo una poderosa influencia en Francis Galton y puede haber influido en James C. Maxwell en su formulación de la teoría cinética de los gases.

Quetelet organizó la primera conferencia internacional sobre estadística en 1853. Fue un factor clave en la formación de la *Statistical Society* de Londres, los *International Statistics Congresses*, y la *Statistical Section* de la *British Association for the Advancement of Science*. Fue el primer miembro extranjero de la *American Statistical Association*. El historiador de ciencia George Sarton lo ha llamado "el patriarca de la estadística".

Sus observaciones tuvieron impacto filosófico, ya que califica al promedio (el valor más frecuente de cada variable en la población) como el ideal de la variable.

El debate que acompaña la interpretación de las estadísticas sociales es probablemente el mayor legado de Quetelet.

Bibliografía

1. Quetelet A. Fisica Sociale ossia svolgimento delle facultà dell' uomo" Cap. 2: Relazioni tra il peso e la statura. In: "Economía Política", G. Boccardo (ed.), Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1875.
2. Garrow JS, Webster J. Quetelet's index (W/H^2) as a measure of fatness. *Int J Obesity* 1985; 9: 147-53.
3. Bøe J, Homerfelt S, Wedervang F. The blood pressure in a population. Blood pressure readings and height and weight determinations in the adult population of the city of Bergen. *Acta Med Scand*, 1957; (Suppl. 321) Cap IV: 112-65.
4. Watson PE, Watson ID, Batt RD. Obesity indices. *Am J Clin Nutr* 1979; 32: 736-7.
5. Billewicz WZ, Kemsley WFF, Thomson AM. Indices of adiposity. *Brit J Prev Soc Med* 1962; 16: 1 83-8.
6. Khosla T, Lowe CR. Indices of obesity derived from body weight and height. *Brit J Prev Soc Med* 1967; 21: 122-8.
7. Keys A, Fidanza F, Karvonen MJ, Kinura N, Taylor HL. Indices of relative weight and obesity. *J Chron Dis* 1972; 25: 329-43.
8. Hammer LD, Kraemer HC, Wilson DM, Ritter PL, Dornbusch SM. Standardized percentile curves of body-mass index for children and adolescents. *Am J Dis of Child* 1991;145: 259-63.
9. Pietrobelli A, Faith MS, Allison DB, Gallagher D, Chiumello G, Heymsfield, SB. Body mass index as a measure of adiposity among children and adolescents: A validation study. *J Pediatr* 1998; 132: 204-10.
10. Gurruci S, Hartriyanti Y, Hautvast JG, Deurenberg OP. Relationship between body fat and body mass index: differences between Indonesians and Dutch Caucasians. *Eur J Clin Nutr* 1988, 52: 779-83.
11. Deurenberg-Yap M, Chew SK, Deurenberg P. Elevated body fat percentage and cardiovascular risks at low body mass index levels among Singaporean Chinese, Malays and Indians. *Obes Rev* 2002; 3: 209-15.
12. Ronald E. Wyllys. Resources on Adolphe Quetelet: statistician, sociologist, demographer. Available from URL: www.gslis.utexas.edu/~wyllys/QueteletResources; consultado el 28 de abril de 2005.
13. Encyclopædia Britannica Article, Quetelet, A. Available from URL: www.britannica.com/eb/article?eu=63821 consultado el 28 de abril de 2005.

XCV

Coplas mundanas

[. . .]

Sin placer y sin fortuna,
pasó como una quimera
mi juventud, la primera. . .
la sola, no hay más que una:
la de dentro es la de afuera.

[. . .]

Antonio Machado (1875-1936)