

# El logaritmo de la hipotenusa de Pitágoras como índice de ametropía

Gabriel Merchán Mendoza  
María Susana Merchán Price

---

## Resumen

### Objetivo

Crear un índice representativo de los diversos estados refractivos que facilite el análisis estadístico y el manejo clínico de pacientes con ametropías de acuerdo con su severidad.

### Objetivos específicos

Calcular la hipotenusa refractiva con base en la hipotenusa de Pitágoras. Calcular el índice de ametropía con base en el log de la hipotenusa refractiva.

### Metodología

Los meridianos principales de las ametropías fueron llevados al plano cartesiano para calcular la hipotenusa refractiva y el índice de ametropía (logaritmo de la hipotenusa refractiva). Se estableció la correlación de Pearson entre el índice de ametropía y el mínimo ángulo de resolución.

### Resultados

La correlación de Pearson entre el índice de ametropía y el mínimo ángulo de resolución fue de 0,779, suficientemente amplia para validar el índice de Ametropía propuesto.

### Conclusiones

El índice de ametropía es un método válido para el manejo cuantitativo y análisis estadístico de las ametropías.

## Introducción

En el campo de la salud visual, las investigaciones epidemiológicas pretenden la búsqueda de nuevo conocimiento o nuevos métodos de análisis, con base en estudios realizados sobre poblaciones de individuos. Los resultados de tales estudios deben poder ser analizados con las herramientas estadísticas apropiadas, sobre la base de datos confiables y acordes con su naturaleza.

Las ametropías esféricas se clasifican de manera muy sencilla como bajas, medianas y altas, tanto para miopía como hipermetropía. Las astigmáticas, por el contrario, se clasifican de muchas maneras, entre ellas, la posición de los focos principales respecto de la retina; la posición, vertical u horizontal, del meridiano más afectado; la frecuencia de una determinada orientación del astigmatismo en la población general; la calidad de la superficie corneal y hasta la armonía entre el astigmatismo de un ojo con respecto al otro.

En el ámbito clínico, la determinación de una ametropía y la respectiva agudeza visual, generalmente constituyen suficiente información para establecer un diagnóstico que incluya la gravedad y severidad de un estado refractivo y la conducta a seguir en el manejo de los pacientes.

## Desarrollo teórico

Este trabajo se fundamenta en la proyección de las ametropías sobre el plano Cartesiano (Rene Descartes, 1596 – 1650) (1) y en el teorema de Pitágoras (Pitágoras, 572 AC. – 497 AC.) El plano cartesiano es un sistema que especifica cada punto en el plano por medio de un par de coordenadas perpendiculares a dos ejes, uno horizontal (abscisa) o X y otro vertical (ordenada) o Y.

Sobre este plano, es posible proyectar los meridianos principales de los estados refractivos del ojo con su respectiva orientación: el primario (horizontal o cerca de la horizontal) lo ubicamos sobre la abscisa o eje X y el secundario (vertical o cerca de la vertical), sobre la ordenada o eje Y. Seguidamente, se construye un triángulo rectángulo cuya hipotenusa se calcula de acuerdo con el teorema de Pitágoras.

En el triángulo rectángulo, los lados a y b se denominan catetos (del griego, “perpendiculares”) y c, la hipotenusa (del griego “tensor”). Los catetos son independientes entre sí de manera que la magnitud de uno no afecta la del otro. La hipotenusa, en cambio, no es independiente y su magnitud depende de las de los catetos.

El cálculo de la hipotenusa se deriva de la fórmula de Pitágoras:

$$\text{Hipotenusa}^2 = \text{cateto}1^2 + \text{cateto}2^2$$

Esta característica de la hipotenusa, su dependencia de los catetos, es justamente la razón por la cual puede asimilarse a una hipotenusa de refracción, la cual, depende en la misma forma de los meridianos principales de la refracción ocular.

Dado que el cálculo de la hipotenusa de refracción se logra sumando los dos meridianos principales elevados al cuadrado, lo cual los convierte en positivos, pierde importancia el hecho de que los meridianos principales sean negativos o de que las cifras se obtengan de la corrección oftálmica o de la ametropía propiamente dicha.

También es necesario tener en cuenta que una ametropía hipermetrópica puede tener el mismo índice de ametropía que una miópica dado que ambas tienen el mismo defocus o el mismo círculo de difusión sobre la retina siempre y cuando no haya intervención de la acomodación.

En cuanto al eje se refiere, no parece tener ninguna importancia sobre el índice de ametropía. El eje de un astigmatismo adquiere importancia solamente cuando el objeto de interés está formado

por líneas horizontales, verticales u oblicuas, como sucede con letras o edificaciones. De otra manera, pierde importancia, como es el caso de observaciones de paisajes o de objetos exentos de componentes lineales.

$$\text{Hipotenusa de refracción}^2 = \text{Meridiano Primario}^2 + \text{Meridiano Secundario}^2$$

Ejemplo:

Rx: + 7,00 esf (2,00 cil eje 0°)

Meridiano Primario: + 7,00 Dpts.

Meridiano Secundario: + 5,00 Dpts

$$\text{Hipotenusa de Refracción} = \sqrt{+7,00^2 + 5,00^2} = 8,60$$

## Metodología

La investigación se realizó sobre una población de 3964 pacientes de la consulta de Optiláser durante el año 2014, atendidos por primera vez en dicha institución por Carmen Cecilia Villa, optómetra de la entidad. En esta población se encontraron 2756 pacientes con astigmatismo miópico y 1208 con astigmatismo hipermetrópico. Las variables en este estudio son: meridiano primario (horizontal), cilindro (del astigmatismo), meridiano secundario (vertical) y agudeza visual Snellen a distancia, sin corrección, en notación decimal.

El primer paso fue calcular la hipotenusa de refracción para lo cual los meridianos principales fueron proyectados sobre el plano cartesiano como catetos de un triángulo rectángulo según el teorema de Pitágoras. El logaritmo de la hipotenusa de refracción se tomó como índice de ametropía para representar al estado refractivo, como se verá más adelante. De otra parte, se sustituyó la notación decimal de la Agudeza Visual Snellen por el Mínimo Angulo de Resolución en los subsiguientes análisis estadísticos.

Para el análisis de la población mencionada y por medio de los programas SPSS y EXCEL, se adelantaron las siguientes pruebas estadísticas:

- Estadística descriptiva: media, mediana, varianza, desviación estándar, mínimo, máximo, rango, rango inter-cuartil, asimetría y curtosis.
- Pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov.
- Transformación logarítmica.
- Determinación y eliminación de valores atípicos.
- Relación entre rango inter-cuartil y desviación estándar.
- Correlación de Pearson.
- Histogramas.
- Gráficos Q-Q.
- Regresión lineal.

## Resultados

Desde el punto de vista óptico ocular, la agudeza visual depende de varios factores entre los cuáles sobresale el estado refractivo que puede ser ementrópico o ametrópico. Estos dos términos indican la posición del foco de los rayos de luz provenientes del infinito: sobre la retina, en el primer caso o fuera de ella, en el segundo. En ametropía, el foco alejado de la retina ocasiona círculos de difusión (defocus) con el consiguiente deterioro de la agudeza visual.

En un análisis paramétrico, como el presente, esta correlación debe determinarse bajo dos condiciones: primero, que las variables (índice de ametropía y agudeza visual), tengan distribuciones normales o aproximadamente normales; segundo, que se sustituya la agudeza visual Snellen por el mínimo ángulo de resolución debido a que la fracción Snellen o su notación decimal, no es una expresión matemáticamente real ( ) y en cambio, el mínimo ángulo de resolución sí lo es. La correlación entre ametropía y mínimo ángulo de resolución es ahora positiva.

Satisfechas las condiciones anteriores, la correlación de Pearson (2) es el coeficiente indicado para relacionar variables cuantitativas. Pearson estipula como significativa un coeficiente superior a 0,5 o 0,6.

Es evidente que las distribuciones de las variables en cuestión NO son normales. Los histogramas corroboran lo anterior.

Comparando los estadísticos Kolmogorov – Smirnov 0,154 y 0,334, para las variables “Hipotenusa de Refracción” y “Mínimo Angulo Resolución” respectivamente, con el valor crítico de 0,021 (Tabla de Kolmogorov – Smirnov) y un valor-p < 0,001, indican que debe rechazarse la hipótesis nula según la cual las dos variables tienen distribuciones normales

#### Prueba de Kolmogorov – Smirnov

Los gráficos “Q – Q” (4) que indican la bondad de ajuste entre cada distribución y una distribución teóricamente normal, claramente muestran que las dos distribuciones NO se ajustan a sus respectivas distribuciones teóricamente normales.

En vista de los anteriores resultados, se optó por efectuar una transformación logarítmica de los datos de ambas variables buscando una aproximación a distribuciones normales.

De otra parte, es necesario validar el índice de ametropía correlacionándolo con la agudeza visual expresada en el mínimo ángulo de resolución, debido a

que las ametropías causan emborronamiento (defocus) de las imágenes en la retina con el consiguiente deterioro de la agudeza visual. En estadística paramétrica, la correlación de Pearson es la apropiada pero sólo es posible aplicarla si las distribuciones de las variables implicadas son normales o al menos, aproximadamente normales.

Los resultados obtenidos muestran que las variables “índice de ametropía” y “mínimo Angulo de Resolución, M.A.R.”, no tienen distribuciones normales, como puede verse en los histogramas y gráficos Q-Q. Las tablas de estadísticas descriptivas, lo confirman. Sin embargo, con la “transformación logarítmica” de los datos y la eliminación de los valores extremos, se lograron distribuciones aproximadamente normales, suficientes para la Correlación de Pearson. Estas pueden verse en las tablas descriptivas y en los histogramas y gráficos Q-Q.

## Conclusiones

El índice de ametropía es un método válido para el manejo cuantitativo y análisis estadístico de las ametropías.

La correlación de Pearson ( $r$ ) obtenida de 0,779 es estadísticamente significativa (>0,001) para concluir que el índice de ametropía es un indicador válido.

El  $r^2$  respectivo es 0,60, lo que indica que el 60 % del mínimo ángulo de resolución se relaciona con el índice de ametropía. El 40 % restante obedece a otros factores, tales como la acomodación en los hipermétropes, la edad, el tamaño de la pupila, la presencia de patologías y el estado general de salud. Todos los factores mencionados y especialmente

la agudeza visual en los hipermétropes, afectan el coeficiente de Correlación de Pearson a pesar de lo cual, no fueron excluidos de nuestra población porque se consideró que el índice de ametropía debía incluir a todas las personas tal y como llegaron por primera vez a la consulta de Optiláser.

## Referencias

1. Heinaman ER. Plane trigonometry. New York: McGraw-Hill; 1942.
2. Pagano RR. Estadística para las ciencias del comportamiento. México D.F.: CENGAGE Learning; 2011.
3. Daniel WW. Bioestadística. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 1990.
4. Griffith A. SPSS for Dummies. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2010.