



Fractal penis and golden penis. The hidden dimensions of penile tissue

Pene fractal y pene áureo. Las dimensiones ocultas del tejido peneano

 Juan Fernando Uribe Arcila.¹

Abstract

The penis is an organ with a unique and complex structure. It is formed by a fractal architecture, meaning its design is based on highly complex repetitive patterns. In addition, its dimensions follow what are known as “golden proportions”, also known as “the divine proportion”. These proportions are a mathematical relationship that is found in many natural structures and, in the case of the penis, provide stability and improve its performance. This design is not the result of chance, but rather the result of an underlying mathematical message. Fractal geometry, based on complex numbers, is a key tool in understanding the internal structure of the penis, which cannot be described using traditional Euclidean geometry. In addition to fractal geometry, the presence of golden proportions in the penis suggests that its design is influenced by mathematics. To fully understand this relationship, additional studies are required and the creation of innovative mathematical models that include tools such as artificial intelligence. In conclusion, the penis is an example of how mathematics and nature are closely related and how mathematical complexity can improve the functioning of natural structures.

Keywords:

Penis, fractal penis, golden penis, divine proportion, penile anatomy

Autor de correspondencia:

*Juan Fernando Uribe Arcila. Dirección: Hospital Pablo Tobón Uribe, Calle 78 b No 69-240. Medellín, Colombia. 050026. Correo electrónico: medicinasexual@une.net.co; urologiahptu@gmail.com

Citación: Uribe Arcila J. *Pene fractal y pene áureo. Las dimensiones ocultas del tejido peneano. Revista Mexicana de Urología. 2023;83(6): pp. 1-16*

¹ Hospital Pablo Tobón Uribe, Medellín, Colombia.

Recepción: 5 de febrero de 2023.
Aceptación: 1 de diciembre de 2023.



Resumen

El pene es un órgano con una estructura única y compleja. Está formado por una arquitectura fractal, lo que significa que su diseño se basa en patrones repetitivos de gran complejidad. Además, sus dimensiones siguen las llamadas “*proporciones áureas*”, también conocidas como “*la divina proporción*”. Estas proporciones son una relación matemática que se encuentra en muchas estructuras naturales y que, en el caso del pene, aportan estabilidad y mejoran su funcionamiento. Este diseño no es producto del azar, sino que es resultado de un mensaje matemático subyacente. La geometría fractal, basada en números complejos, es una herramienta clave para comprender la estructura interna del pene, la cual no se puede describir mediante la geometría euclidiana tradicional. Además de la geometría fractal, la presencia de proporciones áureas en el pene sugiere que su diseño está influenciado por la matemática. Para comprender plenamente esta relación, se requieren estudios adicionales y la creación de modelos matemáticos innovadores que incluyan herramientas como la inteligencia artificial. En resumen, el pene es un ejemplo de cómo la matemática y la naturaleza están estrechamente relacionadas y cómo la complejidad matemática puede mejorar el funcionamiento de las estructuras naturales.

Palabras clave:

Pene, pene fractal, pene áureo, divina proporción, anatomía del pene

Introducción

El presente texto es una hipótesis biológica que utiliza la matemática para demostrar dos conceptos complementarios: en primer lugar, que el pene tiene una estructura con una arquitectura fractal, y, en segundo lugar, que las proporciones de sus componentes son áureas. Estos conceptos sugieren que en la construcción del pene hay un mensaje matemático potente que influye en su rendimiento y ayuda a garantizar la estabilidad de sus estructuras y mejorar su función. Este diseño es fruto de fórmulas matemáticas como la secuencia de Fibonacci, que no solo es un fenómeno matemático aislado, sino una razón

universal de estabilidad que se aplica tanto al pene como a muchas otras obras maestras de la naturaleza.

Numero áureo

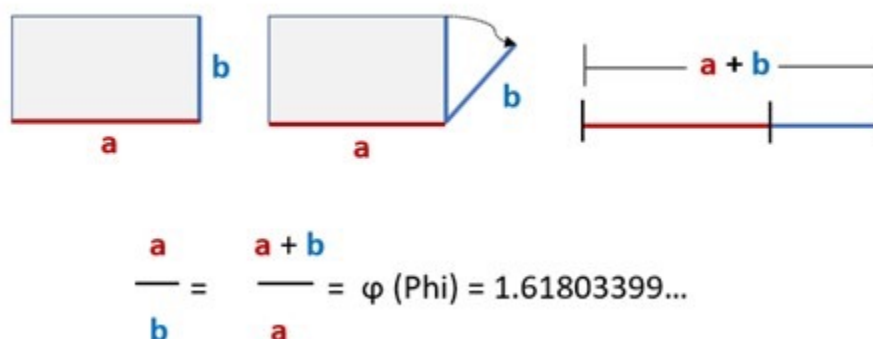
El número de oro o secuencia de Fibonacci es un concepto matemático que ganó popularidad después de la publicación del libro *El Código da Vinci* de Dan Brown. Leonardo Fibonacci, un comerciante y matemático italiano del siglo XII, propuso una sucesión numérica (1, 1, 2, 3, 5, 8,

13, 21, 34, 55, 89, etc.), donde cada número es la suma de los dos anteriores. Al dividir dos números consecutivos de la secuencia, se obtiene una razón que se acerca al número de oro o proporción áurea, representado por la letra griega Φ (Phi) y que es igual a un número infinito que comienza con la constante 1,61803398874989... La naturaleza ha asignado un gran poder de creación y estabilidad a este número.⁽¹⁾

Rectángulos y espiral aurea

Para comprender mejor la arquitectura del pene, debemos conocer los conceptos básicos detrás de las proporciones áureas. Según Euclides, la sección áurea es una división armónica de dos segmentos donde el segmento menor está en relación con el segmento mayor en la misma proporción que este con la suma total. Este tipo de relación lineal se conoce como proporción áurea. Al calcular esta proporción, siempre obtenemos el número de oro, que es una constante que forma parte de las figuras geométricas naturales y muchas creadas por el hombre, incluso en objetos cotidianos como tarjetas de crédito o identificaciones (Figura 1).⁽²⁻⁵⁾

Figura 1. Rectángulo áureo



En un rectángulo áureo la relación entre los lados (a/b), equivale a la relación del todo $(a+b)/a$ que es el lado mayor, obteniendo siempre el número Phi o áureo. En un segmento áureo el segmento mayor "a" y el segmento menor "b" son al todo "a+b" en la misma proporción.

El **rectángulo áureo** es un rectángulo cuyos lados están en proporción a la razón áurea (Φ). Al restar un cuadrado con el mismo tamaño que el lado más pequeño del rectángulo, el rectángulo resultante también es áureo. Esta proporción de cuadrados y rectángulos puede repetirse infinitamente, generando la espiral aurea, una relación logarítmica entre los cuadrados que siempre se ajusta a la razón áurea. Esta proporción se utiliza a menudo en la naturaleza y es replicada por el ser humano en sus construcciones (Figuras 2 y 3).

Figura 2. Rectángulos áureos con la “espiral aurea” logarítmica

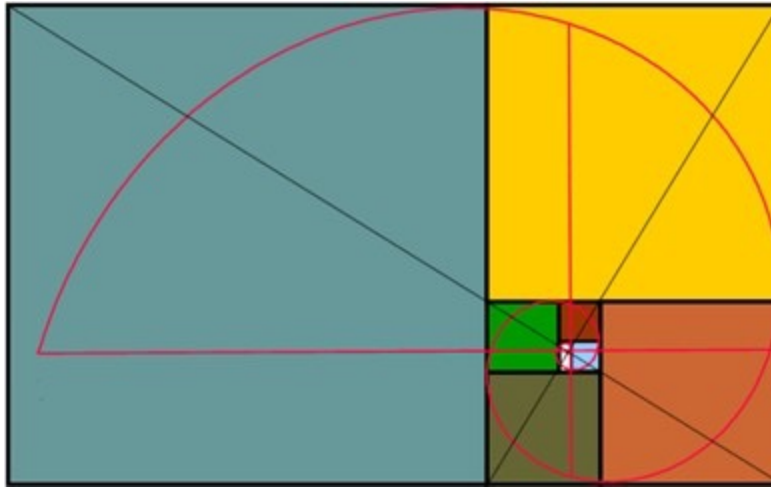


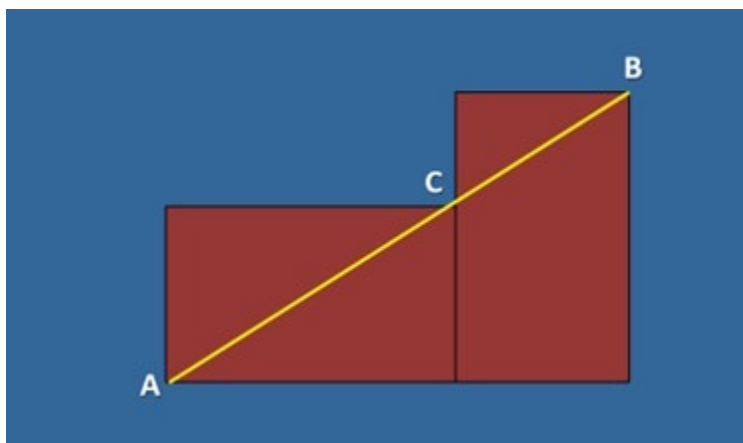
Figura 3. Un girasol y la capilla de Acción de Gracias en Dallas



Ambos representan la espiral de Fibonacci. Tomado de: <https://matesmates.wordpress.com/2010/11/16/fibonacci-en-el-lago-baikal/>

Los rectángulos áureos son reconocidos por su característica de tener la diagonal **AB** que pasa por el vértice de **C** cuando se colocan dos rectángulos iguales, tal como se muestra en la figura 4. Este aspecto es relevante para identificar múltiples rectángulos en la naturaleza y en tejidos específicos, como en el pene (Figura 4).

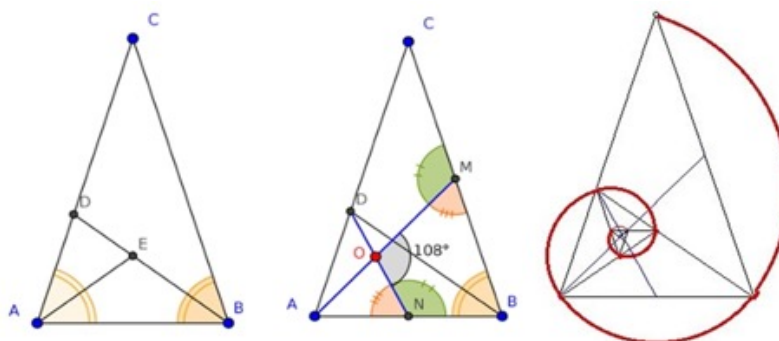
Figura 4. Triángulos áureos en dos rectángulos con proporciones áureas



Cumpliendo la propiedad que AB pasa exactamente por C.

El **triángulo áureo** es un triángulo isósceles con un ángulo de 36° y dos de 72° . La relación entre un cateto (AC o BC) y la hipotenusa (AB) es igual a la razón áurea (Φ). Al trazar la bisectriz desde un lado (D) hasta un vértice (B), se generan más triángulos áureos con ángulos 36° , 72° y 72° . Al trazar más bisectrices, aparecen más triángulos áureos y se puede formar una espiral logarítmica o de Fibonacci similar a la espiral aurea (Figura 5).

Figura 5. Triángulos áureos



En la figura de la izquierda, dos triángulos isósceles áureos, en la siguiente múltiples triángulos áureos, la última con la espiral logarítmica, áurea.

La presencia de la proporción áurea en la naturaleza y en la construcción humana es importante. Se puede encontrar en objetos cotidianos como tarjetas y cajetillas de cigarrillos, así como en esculturas y edificios. Pero es especialmente común en la naturaleza, desde la disposición de los pétalos de una flor hasta la estructura de los agujeros negros. Incluso se puede encontrar en la distribución de espirales en una piña, en la reproducción de conejos, en la disposición de hojas en un tallo, en las alas de insectos, en los círculos de aves de presa en vuelo, en las conchas de caracoles, en los corales y en la estructura anatómica del pene.⁽⁶⁾

Fractales y geometría fractal

El término ‘fractal’ fue acuñado por el matemático Benoit Mandelbrot, y se refiere a la forma en que las discontinuidades en las funciones matemáticas se reflejan en objetos tridimensionales irregulares y no euclidianos, como los espacios celulares o anatómicos, incluyendo el pene y sus estructuras de soporte como trabéculas, pilares o tabiques.

Los fractales son estructuras geométricas que se repiten una y otra vez, incluso hasta el infinito, gracias a su auto semejanza estadística que se puede determinar mediante algoritmos matemáticos. Son útiles para describir sistemas naturales, caóticos y dinámicos, por lo que también se les conoce como geometría de la naturaleza. Son muy útiles para el estudio de estructuras como vasos sanguíneos, redes de neuronas, huesos, trabéculas y pilares en el pene, para mencionar algunas estructuras.⁽⁷⁾

La geometría lineal tradicional descrita por Euclides en el siglo III a.C. se enfoca en el estudio de figuras en el espacio. Sin embargo, en muchos casos, la naturaleza presenta formas y espacios complejos que escapan a esta descripción. Para entender estos objetos intrincados, la geometría fractal es la herramienta adecuada. Esta ciencia permite analizar espacios y figuras irregulares y complejas, como los árboles, costas, nubes o montañas, que no pueden ser explicados con la geometría lineal de Euclides, basada en rectas, puntos, planos y esferas.^(2,4,5,8-13)

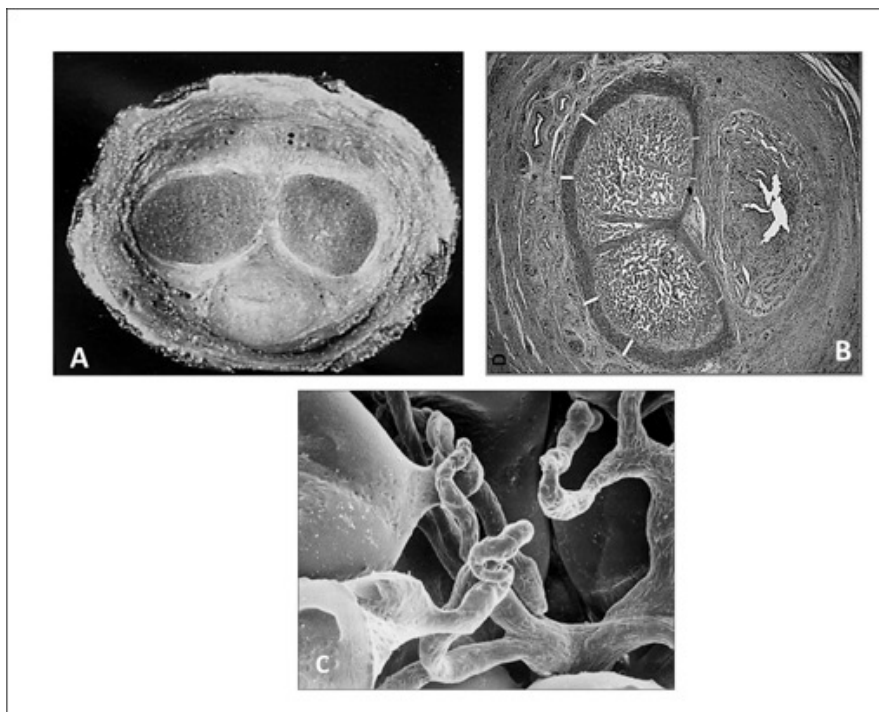
Los fractales se definen matemáticamente como objetos cuyas dimensiones son el resultado de una fórmula que usa números complejos, es decir, que tienen una parte real (cualquier número entre 0 y ∞ , incluyendo números ra-

cionales e irracionales) y una parte imaginaria (números con raíces cuadradas negativas). Estos números complejos pueden ser difíciles de entender para una mente acostumbrada a la geometría euclidiana.

Los objetos fractales tienen dos características esenciales: autosimilitud y dimensión fractal. La autosimilitud implica que las formas están compuestas por una cantidad infinita de subunidades y subsubunidades que recuerdan la estructura del objeto completo y mantienen la relación de las partes con el todo. La dimensión fractal significa que, en lugar de usar formas euclidianas simples, estas estructuras complejas utilizan algoritmos matemáticos basados en números complejos (C) que son sometidos a procesos matemáticos repetidos hasta obtener resultados más complejos. La complejidad intrínseca de un fractal depende del número de iteraciones de la fórmula o ecuación que lo genera. Debido a la autosimilitud, el concepto de longitud no tiene sentido en los fractales, y el concepto de dimensión es fundamental. Por lo tanto, no se mide la longitud de un fractal, sino su dimensión.

Los fractales tienen una característica sorprendente: su área es finita, pero su longitud es infinita. Eso se puede ver bien en estructuras naturales, donde aplicar diferentes escalas da resultados distintos. Por ejemplo, en la Figura 6 que muestra los cuerpos cavernosos del pene, se pueden medir curvas simples a gran escala (Figura 6A), pero una longitud diferente se obtiene al ver los detalles más pequeños con un microscopio de luz (Figura 6B) y aún una medida distinta con un microscopio electrónico (Figura 6C). Con cada escala más pequeña, la longitud aumenta debido a la infinitud de detalles.^(2,6,9,14)

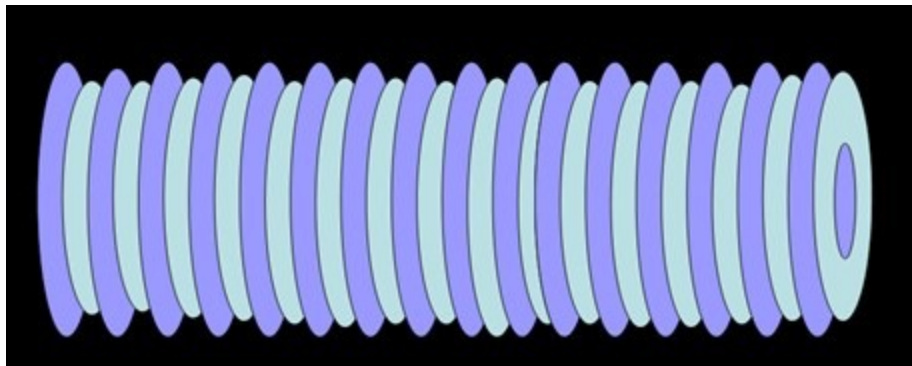
Figura 6. Cuerpos cavernosos del pene



(A) Corte macroscópico del pene. (B). Un corte microscópico del pene. (C) Una visión de un pene en el microscopio electrónico.

Los fractales se pueden clasificar en dos tipos: lineales y no lineales. Los fractales lineales, como los que se encuentran en los segmentos del pene, se originan a partir de una forma simple y se generan mediante números naturales y algoritmos matemáticos. Estas estructuras se repiten exactamente a diferentes escalas, creando patrones idénticos que se extienden hasta el infinito. Los fractales lineales son más comunes en los modelos naturales, como los vasos sanguíneos y los nervios, y son una forma efectiva de crear redes de tejidos (Figura 7).

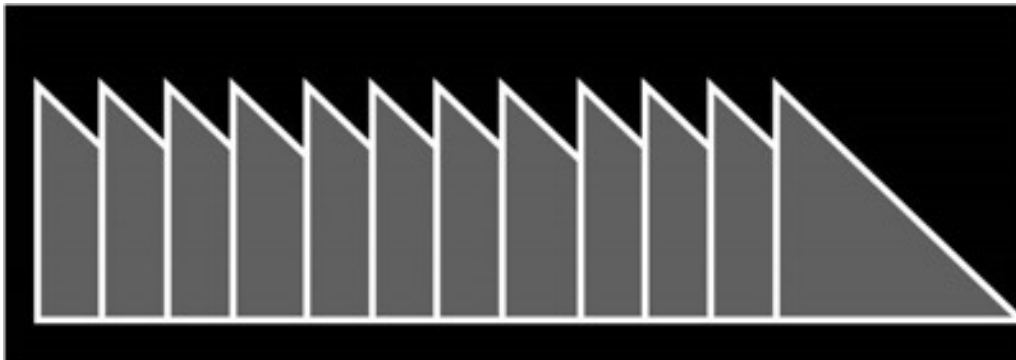
Figura 7. Fractal lineal



Un fractal simple por iteración de una figura plana euclidiana (círculo) que puede aplicarse a venas, arterias o nervios.

La estructura tubular del cuerpo cavernoso del pene es un ejemplo de fractal continuo no complejo. Esto se aplica no solo a las trabéculas o pilares cavernosos, sino también a nervios, arterias y venas en la estructura tubular de los organismos vivos. En el pene humano, la secuencia de pilares intracavernosos forman una estructura fractal simple que es ideal para soportar la presión axial durante la erección y mantener la rigidez adecuada. Una representación gráfica de esta secuencia de pilares en el pene se puede ver en la Figura 8.⁽¹⁵⁾

Figura 8. Representación gráfica de esta secuencia de pilares en el pene



El triángulo formado entre los pilares y el septo intracavernosos iterados formando un tipo de fractal simple.

Los fractales no lineales se generan a partir de números complejos iterados y representan formas irregulares complejas como el sistema de trabéculas del pene, la red vascular o la red neural. No conocemos la ecuación o el número de iteraciones utilizados por la naturaleza para crear estos modelos fractales en tejidos humanos. La geometría fractal ofrece un enfoque que busca regularidad en las relaciones entre un objeto simple y sus partes a diferentes escalas, a través de relaciones intrínsecas entre sus elementos constitutivos, manteniendo tanto la perspectiva del objeto en su totalidad como en cada escala de observación (Figura 9).

Figura 9. Patrón fractal no lineal



Patrón fractal, no lineal, que semeja patrones naturales de las redes neurales con una fórmula matemática ignota.

La geometría fractal es ideal para crear estructuras naturales tanto a nivel macro (tejidos, órganos y sistemas) como micro (genes, organelos y células), ya que permite la creación en serie de estructuras tisulares que funcionen adecuadamente. La estructura en ramificaciones similares a las de un árbol de sistemas como el sistema sanguíneo de los animales, los plexos nerviosos, el árbol bronquial y el sistema de conducción del corazón, no es casual, sino que es una característica común de las estructuras fractales encontradas en los tejidos vivos. Estas estructuras autosimilares buscan cumplir funciones fisiológicas básicas como un transporte rápido y eficiente de sustancias, y una distribución espacial adecuada de sus redes. La dimensión fractal está directamente relacionada con las necesidades de transporte, por lo que cuanto más compleja sea la función, más intrincada será la red (Figuras 10 y 11).⁽¹⁶⁻²⁷⁾

Figura 10. Distribución fractal



La distribución fractal es algo común en la naturaleza. Tomado de: <https://serunserdeluz.wordpress.com/2014/04/>

Figura 11. Geometría fractal del árbol bronquial en mamíferos



Caracterización de la geometría fractal del árbol bronquial en mamíferos. Tomado de: http://www.nacion.com/ancora/2009/enero/25/_Img/2300131_0.jpg

El pene fractal

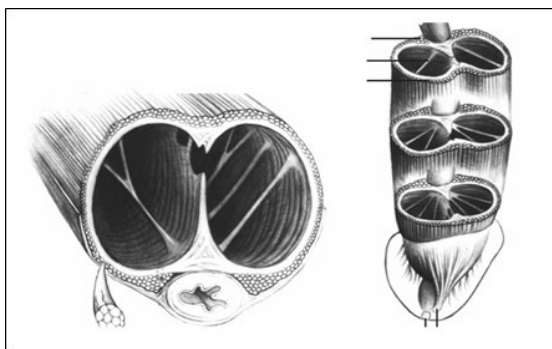
Un inventario somero de las estructuras que componen el pene humano muestra una combinación de fractales simples y fractales complejos (Tabla 1).

Tabla 1. Estructuras fractales peneanas

Estructuras fractales peneanas	
Arterias de pene	Fractal simple
Venas peneanas	Fractal simple
Nervios peneanos	Fractal simple
Pilares peneanos	Fractal simple
Red vascular	Fractal complejo
Red neural	Fractal complejo
Sistema trabecular	Fractal complejo

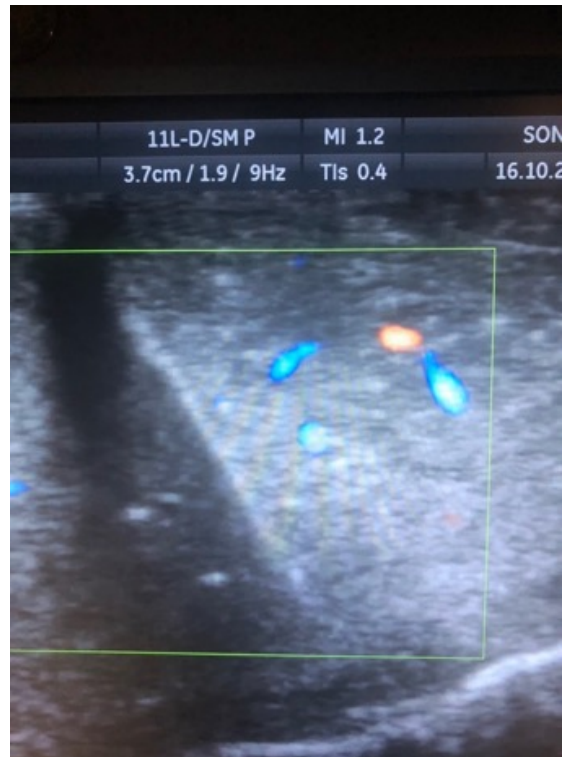
El objetivo clave del diseño fractal es la estabilidad. La túnica albugínea y las vainas peneanas que la fortalecen rodean los cuerpos cavernosos, formando una estructura flexible, rígida y resistente a la fuerza axial. La túnica albugínea, con su estructura fibrosa y perpendicular, permite un grado de distensión, pero al alcanzar su límite de expansión, genera rigidez en el pene, comprimiendo las venas emisarias. Este fenómeno, llamado venoclusión, es una forma eficiente de ahorrar energía, ya que requiere muy poco flujo sanguíneo con cada latido del corazón. Los pilares intracavernosos, anclados desde la capa interna, refuerzan el septo intercavernoso y brindan un soporte crucial al tejido eréctil. El pene actúa como un hidroesqueleto con una pared flexible que alcanza rigidez y tiene un flujo constante de líquido presurizado. El esqueleto cavernoso incluye la túnica albugínea, el septo, los pilares, la red fibrosa intracavernosa y las vainas fibrosas periarteriales y perineurales (Figuras 12 y 13).⁽²⁸⁻³³⁾

Figura 12. Pilares intracavernosos en el citoesqueleto del pene



Pilares intracavernosos en el citoesqueleto del pene que facilitan la erección soportada exclusivamente por sangre en los humanos. Se observa la distribución de los pilares formando triángulos posiblemente áureos. Según esquema tomado de: Geng-Long Hsu, *Asian J Androl* 2006; 8 (2): 225-234.⁽³¹⁾

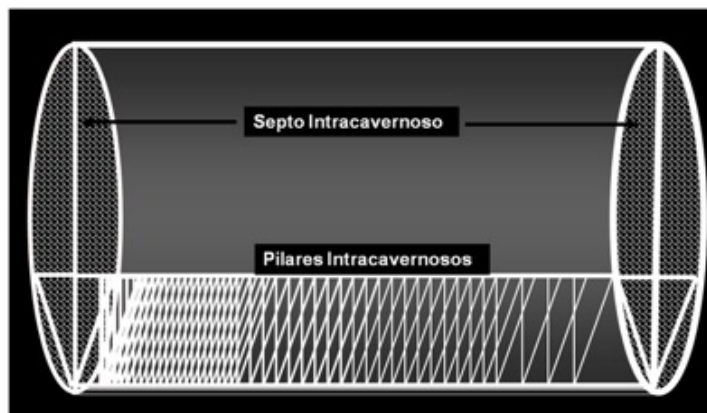
Figura 13. Ecografía de pene en corte transversal



Ecografía de pene en corte transversal que detalla el tabique y los pilares intracavernosos derechos.

Se puede suponer que la estructura fractal y las proporciones áureas en el pene son una evolución de las estructuras de soporte, que han cambiado desde una forma anterior en los mamíferos y ciertos primates, con penes cartilagosos, baculares, óseos o ligamentarios, a la forma humana que logra una erección rígida basada exclusivamente en el llenamiento de sangre. Este diseño es efectivo para lograr y mantener la suficiente fuerza axial necesaria para vencer la resistencia de la penetración. La figura 14 muestra un diseño triangular teórico entre la línea del septo intercavernoso y los pilares intracavernosos, que además cumplen con las proporciones áureas (Figura 14).⁽³⁴⁾

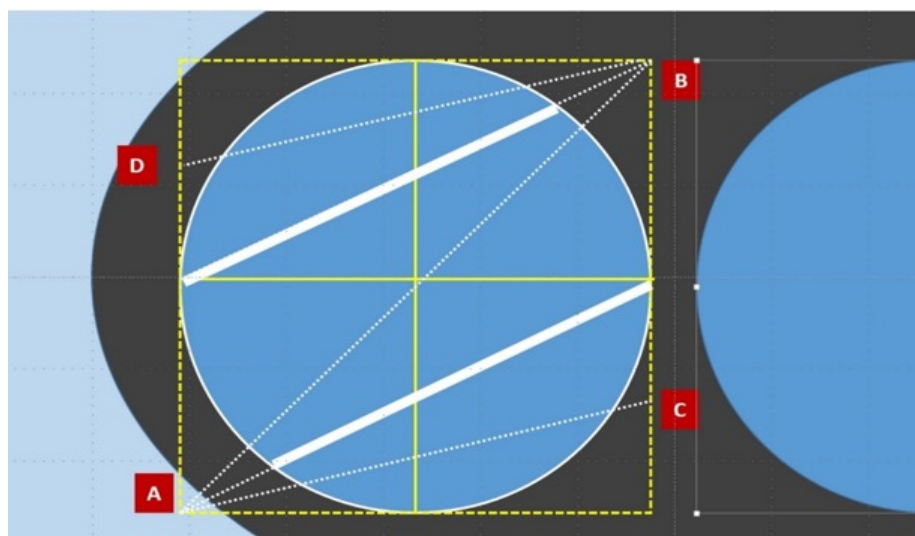
Figura 14. Esquema del triángulo que se forma entre los pilares intracavernosos y el tabique intercavernoso del pene



Esquema del triángulo (iterado unas decenas de veces) que se forma entre los pilares intracavernosos y el tabique intercavernoso del pene que da lugar a una figura fractal simple. Una de las muchas estructuras fractales y con potencial áureo que se forman en el pene.

Para alcanzar una fuerza axial adecuada con rigidez y resistir deformaciones peligrosas que podrían fracturar el pene, no solo es necesario garantizar un buen transporte de sustancias. También es fundamental tener un tejido con una arquitectura sólida. La naturaleza logra esto al usar la secuencia de Fibonacci y la razón áurea en su diseño fractal. Para entender cómo se logró esta efectiva estructura de soporte peneana, se puede hacer una esquematización del modelo siguiendo la dirección habitual de los pilares en el cuerpo cavernoso derecho. De esta manera se puede apreciar cómo la naturaleza combinó los postulados áureos con un esqueleto de sostén efectivo a nivel macroscópico (Figura 15).⁽³⁵⁻⁴¹⁾

Figura 15. Triángulos áureos perfectos en el esquema de un cuerpo cavernoso derecho



Esquema que demuestra cómo se conforman triángulos áureos perfectos ABC y BDA en el esquema de un cuerpo cavernoso derecho, siguiendo la dirección de los pilares cavernosos.

La hipótesis de la presencia de dimensiones áureas en la estructura peneana se fortalece con las fotos histológicas del Dr. Geng Long Hsu del Hospital Metodista de Taiwán, un experto mundial en estructura peneana. Las imágenes permiten esquematizar la presencia de figuras geométricas áureas en el diseño del pene. La Figura 16 muestra un corte transversal real del pene y los rectángulos áureos formados entre los pilares intracavernosos, visibles como estructuras de soporte. Estas líneas superpuestas a la estructura anatómica forman un cuadrado que coincide con la circunferencia del cuerpo cavernoso, revelando el modelo matemático subyacente en el diseño de las estructuras peneanas.⁽³³⁾

Figura 16. Corte transversal de un pene humano

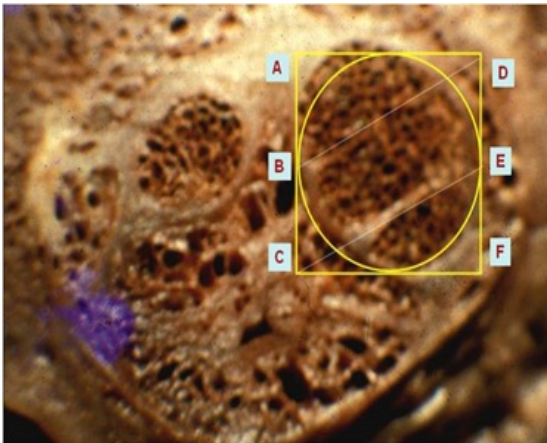


Foto de un corte transversal de un pene humano que muestra los pilares intracavernosos que lo sostienen en el cuerpo cavernoso izquierdo. Nótese la formación de los triángulos áureos ABD y CEF. Foto cortesía del Dr. Geng-Long Hsu, Microsurgical Potency Reconstruction and Research Center, Taiwan Adventist Hospital (Reproducción autorizada por el autor).

La Figura 17, proporcionada por el Dr. Hsu, muestra una vista microscópica de dos pilares del pene con dos líneas superpuestas que

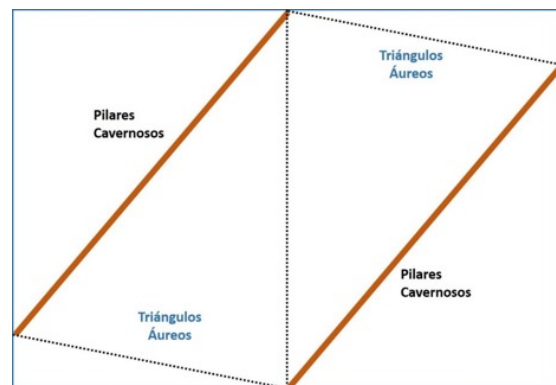
siguen la misma dirección para una mejor comprensión. La Figura 18 muestra el desarrollo de los triángulos correspondientes basados en esas líneas y se esquematiza sin tejido. Todos los triángulos cumplen con las proporciones áureas descritas en el artículo.^(33,36,41,42)

Figura 17. Foto macroscópica de los pilares intracavernosos del pene



Foto macroscópica de los pilares intracavernosos del pene que son estructuras de sostén. Foto cortesía del Dr. Geng-Long Hsu, M.D., Microsurgical Potency Reconstruction and Research Center, Taiwan Adventist Hospital. (Reproducción autorizada por el autor).

Figura 18. Esquema derivado de las líneas obtenidas de la foto de la Figura 17



Esquema derivado de las líneas obtenidas de la foto de la figura No 17 mostrando los triángulos isósceles áureos que forman los pilares del pene.

La geometría fractal en el pene no solo brinda estabilidad, sino que también permite la adecuada distribución de sustancias críticas como sangre, hormonas y neurotransmisores. Sin embargo, aún no se cuenta con pruebas matemáticas específicas que lo demuestren, a diferencia de la demostración del diseño estructural. Con el envejecimiento y la enfermedad, la complejidad estructural fractal puede verse afectada, como en la pérdida de ramificaciones dendríticas con la edad en el cerebro o la fibrosis de las trabéculas cavernosas. Este fenómeno está relacionado con la teoría del caos, ya que los sistemas biológicos son caóticos y poseen estabilidad y mecanismos para enfrentar enfermedades y envejecimiento 5r.^(29,43-48)

Conclusión

La existencia de proporciones áureas en el pene sugiere que su diseño no es al azar, sino que tiene un mensaje matemático subyacente. La estructura interna del pene es compleja y no se puede describir ni medir de forma total o parcial mediante la geometría euclidiana tradicional. Además, la geometría fractal, basada en números complejos, se encuentra presente en la formación de estructuras peneanas y en muchas otras estructuras naturales. Para aplicar estas observaciones matemáticas, se requieren estudios adicionales y la creación de modelos matemáticos innovadores que incluyan herramientas como la inteligencia artificial.

Agradecimientos

Especiales agradecimientos al Dr. Geng Long Hsu, inspirador de este trabajo.

Declaración de no conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Fuente de financiamiento

Los autores informan que el trabajo no tiene fuente de financiamiento.

Referencias

1. **Brown D.** *El código Da Vinci*. Barcelona: Umbriel; 2003.
2. **Boyer CB, Merzbach UC.** *A History of Mathematics*. John Wiley & Sons; 2011.
3. **Finch SR.** *Mathematical Constants*. Cambridge University Press; 2003.
4. **Dixon RA.** *Mathographics*. England: Dover Publications; 1991.
5. **Uribe Arcila JF.** El pene áureo. La razón áurea y su relación con la anatomía interna del pene. *Revista Urología Colombiana*. 2008;17(1): 91-99.
6. **Kurakin A.** The self-organizing fractal theory as a universal discovery method: the phenomenon of life. *Theoretical Biology and Medical Modelling*. 2011;8(1): 4. <https://doi.org/10.1186/1742-4682-8-4>.
7. **Losa GA.** The fractal geometry of life. *Rivista Di Biologia*. 2009;102(1): 29-59.
8. **Mandelbrot B.** *The Fractal Geometry of Nature*. New York: WH Freeman; 1982.

9. **Goldberger AL, Amaral LAN, Hausdorff JM, Ivanov PC, Peng CK, Stanley HE.** Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 2002;99 Suppl 1(Suppl 1): 2466–2472. <https://doi.org/10.1073/pnas.012579499>
10. **Barnsley MF.** *Fractals everywhere.* Academic press; 2014.
11. **Falconer K.** *Fractal geometry: mathematical foundations and applications.* John Wiley & Sons; 2004.
12. **Peitgen HO, Saupe D.** *The science of fractal images.* Springer-Verlag; 1988.
13. **Falconer KJ, Falconer KJ.** *Techniques in fractal geometry.* Wiley Chichester; 1997.
14. **Gallo CBM, Costa WS, Furriel A, Bastos AL, Sampaio FJB.** Development of the Penis during the Human Fetal Period (13 to 36 Weeks after Conception). *Journal of Urology.* 2013;190(5): 1876–1883. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2013.05.050>.
15. **Bitsch M, Kromann-Andersen B, Schou J, Sjøntoft E.** The Elasticity and the Tensile Strength of Tunica Albuginea of the Corpora Cavernosa. *Journal of Urology.* 1990;143(3): 642–645. [https://doi.org/10.1016/s0022-5347\(17\)40047-4](https://doi.org/10.1016/s0022-5347(17)40047-4).
16. **Peitgen HO, Jürgens H, Saupe D.** Length, Area and Dimension: Measuring Complexity and Scaling Properties. In: Peitgen HO, Jürgens H, Saupe D (eds.) *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science.* New York, NY: Springer; 1992. p. 183–228. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4740-9_5.
17. **Peitgen HO, Richter PH.** *The Beauty of Fractals.* Berlin, Heidelberg: Springer; 1986. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61717-1>
18. **West BJ.** *Fractal Physiology and Chaos in Medicine.* WORLD SCIENTIFIC; 1990. <https://doi.org/10.1142/1025>.
19. **Goldberger AL, West BJ.** Fractals in physiology and medicine. *The Yale Journal of Biology and Medicine.* 1987;60(5): 421–435.
20. **Glenny RW, Robertson HT, Yamashiro S, Bassingthwaite JB.** Applications of fractal analysis to physiology. *Journal of Applied Physiology.* 1991;70(6): 2351–2367. <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.70.6.2351>.
21. **Mandelbrot BB.** *Los objetos fractales: forma, azar y dimensión..* 7a. ed. Barcelona: Tusquets; 2009.
22. **Bossard JA, Lin L, Werner DH.** Evolving random fractal Cantor superlattices for the infrared using a genetic algorithm. *Journal of The Royal Society Interface.* 2016;13(114): 20150975. <https://doi.org/10.1098/rsif.2015.0975>.
23. **Grebogi C, Ott E, Yorke JA.** Chaos, Strange Attractors, and Fractal Basin Boundaries in Nonlinear Dynamics. *Science.* 1987;238(4827): 632–638. <https://doi.org/10.1126/science.238.4827.632>.
24. **Garfinkel A, Spano ML, Ditto WL, Weiss JN.** Controlling Cardiac Chaos. *Science.* 1992;257(5074): 1230–1235. <https://doi.org/10.1126/science.1519060>.
25. **Goldberger AL.** Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. *The Lancet.* 1996 May;347(9011):1312–4. doi: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(96\)90948-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(96)90948-4)
26. **Rodríguez J, Prieto S, Ortiz L, Correa C, Álvarez T L, Bernal P, et al.** Variabilidad de la dimensión fractal de la ramificación coronaria izquierda en ausencia y presencia de enfermedad arterial oclusiva moderada y severa. *Revista Colombiana de Cardiología.* 2007 Jul;14(3):173–80.

27. **Canals M, Olivares R, Labra F, Caputo L, Rivera A, Novoa FF.** Caracterización de la geometría fractal del árbol bronquial en mamíferos. *Revista chilena de anatomía.* 1998;16(2):237–44. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-98681998000200011>
28. **Kelly DA.** The functional morphology of penile erection: tissue designs for increasing and maintaining stiffness. *Integrative and Comparative Biology.* 2002;42(2): 216–221. <https://doi.org/10.1093/icb/42.2.216>.
29. **Hsu GL, Brock G, Martínez-Piñeiro L, Von Heyden B, Lue TF, Tanagho EA.** Anatomy and Strength of the Tunica Albuginea: Its Relevance to Penile Prosthesis Extrusion. *Journal of Urology.* 1994;151(5): 1205–1208. [https://doi.org/10.1016/s0022-5347\(17\)35214-x](https://doi.org/10.1016/s0022-5347(17)35214-x).
30. **Goldstein AMB, Padma-Nathan H.** The Microarchitecture of the Intracavernosal Smooth Muscle and the Cavernosal Fibrous Skeleton. *Journal of Urology.* 1990;144(5): 1144–1146. [https://doi.org/10.1016/s0022-5347\(17\)39677-5](https://doi.org/10.1016/s0022-5347(17)39677-5).
31. **Hsu GL.** Hypothesis of human penile anatomy, erection hemodynamics and their clinical applications. *Asian Journal of Andrology.* 2006;8(2): 225–234. <https://doi.org/10.1111/j.1745-7262.2006.00108.x>.
32. **Lue T F.** Physiology of penile erection and pathophysiology. In: *Campbell's Urology.* 8th ed. Panamericana; p. 718–749.
33. **Varela FG, Maturana HR, Uribe R.** Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and a model. *Currents in Modern Biology.* 1974;5(4): 187–196. [https://doi.org/10.1016/0303-2647\(74\)90031-8](https://doi.org/10.1016/0303-2647(74)90031-8).
34. **Dorr L, Brody M.** Hemodynamic mechanisms of erection in the canine penis. *American Journal of Physiology-Legacy Content.* 1967;213(6): 1526–1531. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1967.213.6.1526>.
35. **Hoznek A, Rahmouni A, Abbou C, Delmas V, Colombel M.** The suspensory ligament of the penis: an anatomic and radiologic description. *Surgical and Radiologic Anatomy.* 1998;20(6): 413–417. <https://doi.org/10.1007/bf01653133>.
36. **Shen ZJ, Jin XD, Chen ZD, Shi YH.** Effect of aging on penile ultrastructure. *Asian Journal of Andrology.* 2001;3(4): 281–284.
37. **Hsu GL, Wen HS, Hsieh CH, Liu LJ, Chen YC.** Traumatic glans deformity: reconstruction of distal ligamentous structure. *The Journal of Urology.* 2001;166(4): 1390. [https://doi.org/10.1016/s0022-5347\(05\)65781-3](https://doi.org/10.1016/s0022-5347(05)65781-3).
38. **Christensen GC.** Angioarchitecture of the canine penis and the process of erection. *American Journal of Anatomy.* 1954;95(2): 227–261. <https://doi.org/10.1002/aja.1000950204>.
39. **Iacono F (A), Barra S (A), De Rosa G (B), Boscaino A (B), Lotti T (A).** Microstructural Disorders of Tunica albuginea in Patients Affected by Impotence. *European Urology.* 1994;26(3): 233–239. <https://doi.org/10.1159/000475386>.
40. **Conti G.** L'érection du pénis humain et ses bases morphologico-vasculaires. *Acta Anatomica.* 1952;14(3): 217–262. <https://doi.org/10.1159/000140711>.
41. **Hsu G, Hsieh C, Wen H, Hsu W, Wu C, Fong T, et al.** Anatomy of the Human Penis: The Relationship of the Architecture Between Skeletal and Smooth Muscles. *Journal of Andrology.* 2004;25(3): 426–431. <https://doi.org/10.1002/j.1939-4640.2004.tb02810.x>.
42. **Hsu G, Lin C, Hsieh C, Hsieh J, Chen S, Kuo T, et al.** Distal Ligament in Human Glans: A Comparative Study of Penile Architecture. *Journal of Andrology.* 2005;26(5): 624–628. <https://doi.org/10.2164/jandrol.04145>.

43. **Bassingthwaighte JB, Liebovitch LS, West BJ.** *Fractal Physiology*. Springer; 2013.
44. **Glass L, Mackey MC.** *From Clocks to Chaos: The Rhythms of Life*. Princeton University Press; 1988.
45. **Peng CK, Hausdorff JM, Goldberger AL.** *Nonlinear Dynamics, Self-Organization, and Biomedicine, edited by J. Walleczek*. Cambridge University Press, Cambridge; 1999.
46. **Erdoğan T, Savaş M, Yılmaz N, Baykara M.** Are normal hemodynamic responses invariably associated with normal penile rigidity and potency? *International Journal of Impotence Research*. 2001;13(1): 10–13. <https://doi.org/10.1038/sj.ijir.3900634>.
47. **Goldbeter A.** *Biochemical Oscillations and Cellular Rhythms: The Molecular Bases of Periodic and Chaotic Behaviour*. Cambridge: Cambridge University Press; 1996. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511608193>. [Accessed 6th January 2024].
48. **Abel D.** The Capabilities of Chaos and Complexity. *International Journal of Molecular Sciences*. 2009;10(1): 247–291. <https://doi.org/10.3390/ijms10010247>.