

Morfogeometría: presencia de sólidos de Arquímedes en la arquitectura de muestras coriónicas observadas con el microscopio electrónico de barrido (MEB)

Ernesto Valiente Madriz^{1,2}, Daniel A. Morales³, James O'Callaghan¹,
Eddy Albornoz de Contreras⁵, Ezequiel Zamora^{1,2,4} y Aída Malpica⁶

¹Grupo de Fisiología Animal. ²Laboratorio de Análisis Químico (Laquen).

³Departamento de Química. ⁴Laboratorio de Entomología "Herman Lent".
Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes.

⁵Facultad de Arquitectura. Universidad de Los Andes, La Hechicera. Mérida, Venezuela.

⁶Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. México, DF.

Recibido: 29-01-01 Aceptado: 28-09-01

Resumen

Las imágenes de MEB del corion de huevos de invertebrados: *Lutzomya sp*, *Periplaneta americana*, *Rhodnius prolixus* y la capa arveolar terciaria del corion de quistes descapsulados de *Artemia franciscana* revelaron que sus arquitecturas estaban constituidas por la yuxtaposición de polígonos. Esta condición permite construir un modelo estructural que involucra formas poliédricas regulares, cuestión instaurada por Kepler desde 1619. Las imágenes obtenidas nos llevan a establecer datos estimados de las construcciones poliédricas, que con la recurrencia de polígonos de cinco y de seis lados se enmarcan en uno de los trece sólidos de Arquímedes de acuerdo a la nomenclatura de Kepler: el icosaedro truncado. Además, las distintas imágenes al MEB, permitieron hacer estimados, aplicando el Teorema de Euler del número de vértices, N_0 , aristas, N_1 y caras, N_2 .

Palabras clave: Corion; microscopio electrónico de barrido; morfogeometría; sólidos de Arquímedes.

Morphogeometry: the presence of Archimedes solids in the architecture of chorion as revealed by scanning electron microscopy (SEM)

Abstract

The SEM images of invertebrate chorion eggs: *Lutzomya sp*, *Periplaneta americana*, *Rhodnius prolixus* and the chorion alveolar tertiary layer of decapsulated cysts of *Artemia franciscana* revealed that their architecture is constituted by a juxtaposition of polygons. This condition permits to establish a structural model that involves regular polyhedral forms, matter already found by Kepler since 1619. The obtained images carry us to establish the estimated data of the polyhedral structures where it is seen the recurrency of polygons of five and six faces. This is within the framework of Archimedes' **thirteen** solids which in turn is in agreement with the Kepler nomenclature: the truncated icosahedron. In addition, the different images of the MEB, allowed us, applying the

*Autor para la correspondencia.

Euler Theorem, to know the number of vertices, N_0 , edges, N_1 and faces N_2 of the polyhedral structures.

Key words: Arquimedes solids; Corion; morphogeometry; scanning electron microscopy.

Introducción

El presente trabajo está enfocado al estudio morfogeométrico utilizando micrografías al Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) obtenidas de la envoltura extraembrionaria coriónica de huevos de invertebrados: *Lutzomyia sp*, *Periplaneta americana*, *Rhodnius prolixus*, y, de la capa arveolar considerada como la envoltura terciaria del corion en los quistes de *Artemia franciscana*.

De manera referencial, una de las envolturas extraembrionarias que recubre al huevo, es el corion (1). Algunos autores limitan la presencia de esta cubierta protectora sólo a los huevos de origen amniótico (2-4). Storer *et al.* (1986) la extienden como la cáscara flexible que rodea cada óvulo encerrado dentro de la membrana vitelina (5). Sin embargo, otros autores han ampliado su límite biológico hasta los huevos de invertebrados (5-9).

El estudio relacionado con modelos estructurales que involucran a poliedros regulares, iniciado desde 1619 por Kepler (10) lo encontramos reflejados en la geometría presente en moléculas conocidas como fullerenos, (11), cuyo arquetipo, el C_{60} , es la molécula más redonda que puede existir (12). En el campo de la biología fue investigada la tridimensionalidad de las vesículas cubiertas formadas en el fibroblasto. Kanaseki y Kadota (13) (1969) predijeron que dichas cubiertas estaban diseñadas con hexágonos y pentágonos. Heuser (1980) estableció que esas cubiertas de las vesículas producidas a partir de la membrana plasmática por mecanismos de endocitosis mediada por receptores, tenían forma de icosaedros truncados (14). Kirchhausen *et al* (1981) confirmaron que tales cubiertas construyen los polígonos con una proteína conocida como *clatrina* (15, 16).

Materiales y Métodos

El material biológico se obtuvo de diversas procedencias. Los huevos de *Lutzomyia sp* proceden de la colonia de flebotómicos del Laboratorio de Investigaciones Parasitológicas "José F. Torrealba", Universidad de Los Andes. Los huevos de *Rhodnius prolixus* de la colonia del Laboratorio "Herman Lent", Universidad de Los Andes. Los quistes capsulados de *Artemia franciscana* del Laboratorio de "Artemia" de la Universidad Autónoma Metropolitana (México). En el caso de *Artemia*, se procedió a descapsular los quistes hasta llegar a la capa arveolar utilizando la técnica de hidratación - descapsulación de Lara y Castro (17). Se utilizó la alternativa distinta al clásico procedimiento para la preparación de muestras para el MEB. Las muestras, se recubrieron con Ag en un cubridor iónico SPI, exposición 90 segundos, a 18 amperios de corriente y a una presión de 3×10^{-4} mbars. Las observaciones se realizaron en el MEB (Hitachi - 2500).

Luego, con las imágenes obtenidas, se procedió a establecer la relación entre el número de vértices, N_0 , el número de aristas, N_1 , y el número de caras, N_2 , aplicando el teorema de Euler (Anexo 1) para establecer la construcción poliédrica de las muestras observadas y, finalmente, los datos estimados se reunieron en la Tabla 1.

Observaciones

Las micrografías de las muestras al MEB revelan que las superficies de las envolturas, en todos los casos observados, están cubiertas de una malla formada por la yuxtaposición de polígonos y, donde es fácil distinguir: caras, aristas y vértices poligonales.

Tabla 1

Relación estimada del número de vértices N_0 , el número de aristas N_1 , y el número de caras N_2 , en la morfogeometría de la arquitectura coriónica de los huevos observadas al MEB aplicando el Teorema de Euler

Corion	Vértices N°	Aristas N ₁	H	P*	Caras N ₂
<i>Lutzomyia sp</i>	372	558	176	12	188
<i>Periplaneta americana</i>	364	546	172	12	184
<i>Rhodnius prolixus</i>	2580	3870	1280	12	1292
Envoltura terciaria de <i>Artemia franciscana</i>	380	570	180	12	192

Lectura: H: hexágonos

P: pentágonos

*El número de poliedros de 5 lados se mantiene constante en la construcción poliédrica de hexágonos y pentágonos.

Es recurrente encontrar en las imágenes, polígonos de cinco lados: pentágonos. Así como también, polígonos de seis lados: hexágonos (Figuras 1A al 1D).

Es interesante observar que la malla poligonal de las microimágenes de barrido se encuentran en una relación poliédrica 1:5. Es decir, un pentágono, comparte aristas por la yuxtaposición con una arista de los cinco hexágonos que lo rodean. En la Figura 2 y en la Tabla 2 se encuentra el esquema de un sólido geométrico formado de polígonos donde se respeta la relación 1:5.

La relación poliédrica 1:5 se constata en todas las imágenes de nuestro trabajo, sin embargo, en cuanto a la yuxtaposición de las aristas, encontramos que en el caso de *Lutzomyia sp* (18, 19)(Figura 1A) la malla poliédrica se construye por el entrecruzamiento de filamentos y forman hexágonos y pentágonos. En las micrografías del corion del huevo de *Periplaneta americana*, se establece un discreto socavamiento que deja un ligero hundimiento entre las aristas compartidas (Figura 1B). En el corion del huevo de *Rhodnius prolixus*, encontramos un suave solapamiento de una arista con la que se yuxtapone, además se observa la existencia de perforaciones circulares en los vértices

poliédricos (Figura 1C). Las imágenes del Microscopio Electrónico de Barrido, en el caso de la envoltura terciaria del corion de *Artemia franciscana*, las aristas yuxtapuestas logran un discreto destacamiento superficial (Figura 1D).

En las Figura 3 (A hasta D), se sugiere un simplificado esquema, de la relación poliédrica 1:5 de los coriones estudiados.

Discusión

Las observaciones de los polígonos de las cubiertas al MEB conducen a sugerir la existencia de una disposición poliédrica con polígonos de caras regulares aunque no todas son iguales entre sí, producto de la tensión que se ejerce en la construcción del corion.

La constancia de esta organización poliédrica en la relación 1:5 mencionada con anterioridad nos remite a un número finito de polígonos que entran en la categoría de lo sugerido por Kepler, en su determinación de los 13 sólidos de Arquímedes (10) en 1619. Para los casos que consideramos en las observaciones al MEB y queriendo ubicarlo en los poliedros *arquimedianos* se acercan bastante al esqueleto en versión de un icosaedro truncado.

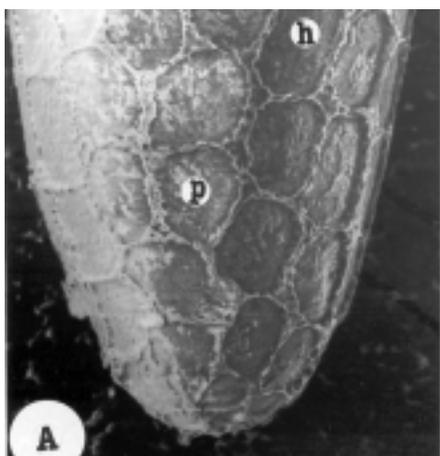


Figura 1. Micrografías al Microscopio Electrónico de Barrido de superficies coriónicas. En detalle se observan polígonos de 5 caras (p) y de seis caras (h). **A**-*Lutzomyia* sp, una malla cerrada se dispone en toda la superficie del huevo, filamentos se entrecruzan para formar los polígonos.

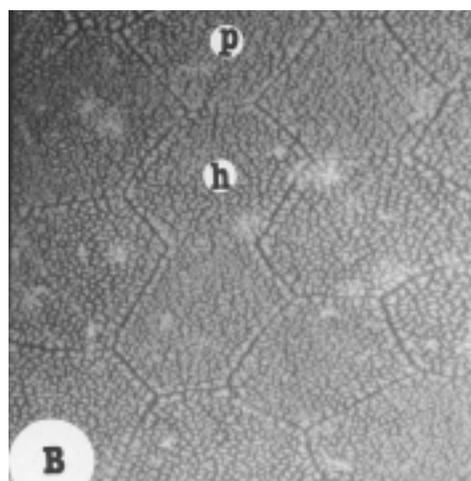


Figura 1. Micrografías al Microscopio Electrónico de Barrido de superficies coriónicas. En detalle se observan polígonos de 5 caras (p) y de seis caras (h). **B**-*Periplaneta americana*, en la yuxtaposición entre las aristas de los polígonos existe un discreto socavamiento que deja un ligero hundimiento entre aristas compartidas.

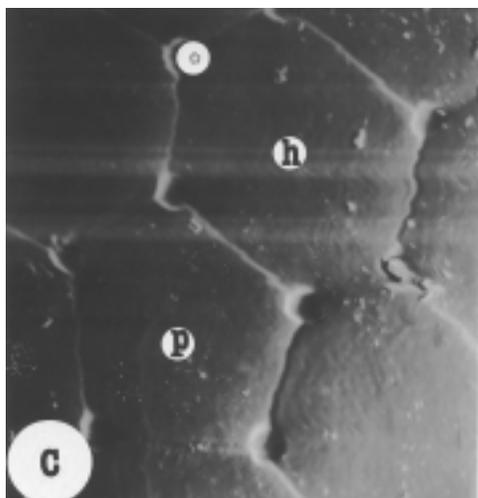


Figura 1. Micrografías al Microscopio Electrónico de Barrido de superficies coriónicas. En detalle se observan polígonos de 5 caras (p) y de seis caras (h). **C**-*Rhodnius prolixus*, las aristas de los polígonos se solapan ligeramente en la yuxtaposición; y en los vértices de los polígonos se observan perforaciones circulares (asterisco hueco).

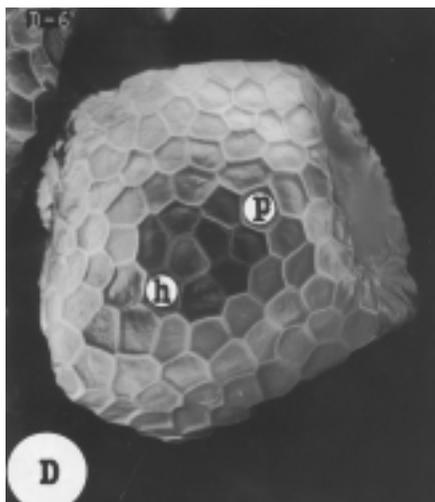


Figura 1. Micrografías al Microscopio Electrónico de Barrido de superficies coriónicas. En detalle se observan polígonos de 5 caras (p) y de seis caras (h). **D**-*Artemia franciscana*, las aristas yuxtapuestas logran destacarse superficialmente de manera discreta.

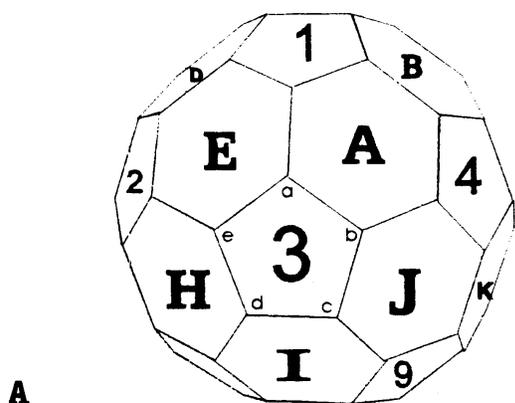


Figura 2. Esquema de un sólido geométrico construido con polígonos A - Reconstrucción en tres dimensiones de un sólido geométrico. En el polígono 3 se encuentran marcados con letras minúsculas sus vértices, en el sentido del movimiento de las agujas del reloj.

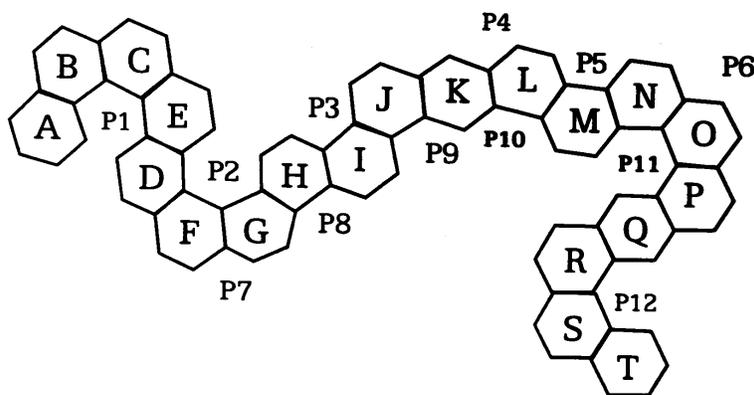


Figura 2. Esquema de un sólido geométrico construido con polígonos B - Separación en los polígonos que lo constituyen (las letras mayúsculas representan hexágonos y los números los pentágonos).

En estudios realizados sobre especies químicas que ostentan una configuración molecular en versión sólido de Arquímedes (icosaedro truncado) se encontró que independientemente del número de hexágonos presentes en la geometría molecular existía un número constante de pentágonos igual a 12 (20) (Figura 4A).

Tal constancia la evidenciaron Crowther et al. (1976) en redes poliédricas construidas de 12 pentágonos y un número variable de hexágonos en vesículas cubiertas purificadas de cerebro de cerdos (15, 21) (Figura 4B).

Para Fan Chung et al. (1993), la presencia del número constante de 12 pentágonos en la conformación de estructuras poliédricas, no es un accidente, ni un acto coincidental, sino es consecuencia de la aplicación del Teorema de (11), Anexo 1.

Se ha llegado a calcular la relación hexágono-pentágono donde podemos encontrar desde 260 hexágonos y 12 pentágonos (12), o un número pequeño de 8 hexágonos y 12 pentágonos (15). En los resultados de nuestras observaciones (Tabla 1), a partir de microimágenes de panorámicas de las organizaciones poliédricas (Figuras. 1A, 1B, 1C, 1D) fue posible, aplicando el Teorema de Euler, obte-

ner una apreciación de la relación hexágono-pentágonos para las muestras y determinar además de las caras, los vértices y las aristas.

Las envolturas que observamos al MEB morfogeométricamente se encuentran formadas por la organización de poliedros de

Tabla 2

Distribución de las caras de los hexágonos que se yuxtaponen con los lados de los pentágonos en la construcción de la superficie tridimensional del poliedro *arquimediano* icosaedro truncado, según la nomenclatura Kepler

Pentágono	Lados del pentágono (aristas) se representan con letras minúsculas de la a hasta la e se señalizan en la figura del pentágono en el sentido de las agujas del reloj (Figura 2A)				
	a-b	b-c	c-d	d-e	e-a
P1	A	E	D	C	B
P2	F	D	E	H	G
P3	I	H	R	A	J
P4	A	B	L	K	J
P5	L	B	C	N	M
P6	C	D	F	O	N
P7	O	F	G	T	Q
P8	G	H	I	S	T
P9	R	S	I	J	K
P10	R	K	L	M	P
P11	N	O	Q	P	M
P12	S	R	P	Q	T

Las caras de los hexágonos se representan con letras mayúsculas de la A hasta la T, señalizados en los hexágonos (Figura 2B).

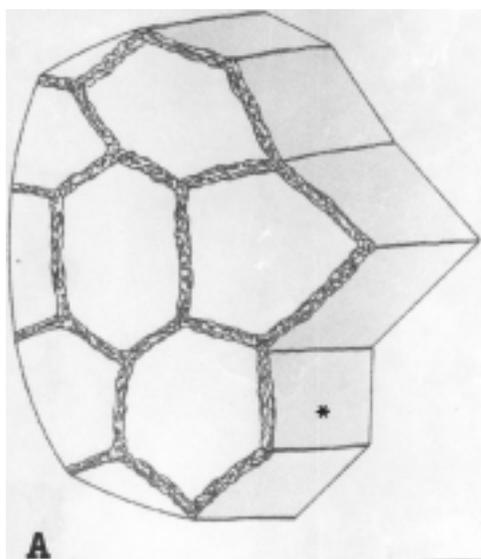


Figura 3. Esquema que sugiere la relación poliédrica 1:5 en superficie coriónicas, donde se delinean la yuxtaposición de aristas del pentágono con las aristas de los hexágonos que lo rodean. Zona sombreada corresponde al resto de las cubiertas protectoras subcoriónicas (*). **A** - *Lutzomyia sp.*

cinco lados y de seis lados, por lo tanto, sugiere una estructura poliédrica, cuyo interior es vacío, donde se hallan además, las otras cubiertas protectoras inherentes a la protección del huevo, y conservación del material vital (22). En la edificación poliédrica de nuestras observaciones subyace la estrategia del pentágono ubicado en una lámina hexagonal independiente del tamaño que ostente. Una de estas habilidades es la propensión al cerrado del esquema hexagonal regular, tal como lo predice Euler. Cuestión ésta, advertida por Thompson (1917) (16) a propósito del estudio del esqueleto de silicio de la radiolaria que Haeckel denominó *Aulania hexagona* Hkl (23), donde estableció que ningún sistema de hexágonos podría cerrarse (24), debido a un problema topológico (25). La geometría del cerrado se forma en el proceso de conversión de algunos hexágo-

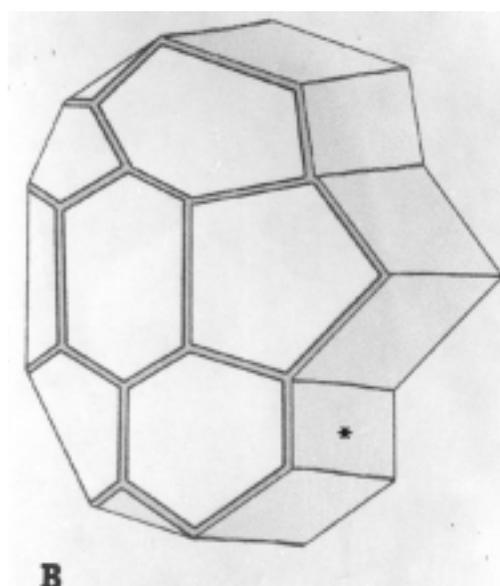


Figura 3. Esquema que sugiere la relación poliédrica 1:5 en superficie coriónicas, donde se delinean la yuxtaposición de aristas del pentágono con las aristas de los hexágonos que lo rodean. Zona sombreada corresponde al resto de las cubiertas protectoras subcoriónicas (*). **B** - *Periplaneta americana*.

nos en pentágono (6). La superficie del poliedro en el espacio tridimensional se obtiene por la distribución estratégica de los 12 pentágonos dentro de la variación del número de hexágonos con la que comparte la yuxtaposición de las aristas. La literatura especializada recoge un número que puede oscilar entre 8 a más de 260 hexágonos en láminas que pueden cerrarse. Otra posible habilidad del pentágono, es contribuir a la curvatura en la periferia de la lámina hexagonal, como consecuencia del cerrado en los extremos (7).

Es indudable que la presencia de una membrana extraembrionaria que cubre los huevos estudiados debe estar asociada a su protección, sin embargo, podemos preguntarnos por qué estas estructuras adoptan estas formas y no otras. La respuesta más ingenua que podemos dar es que ello está re-

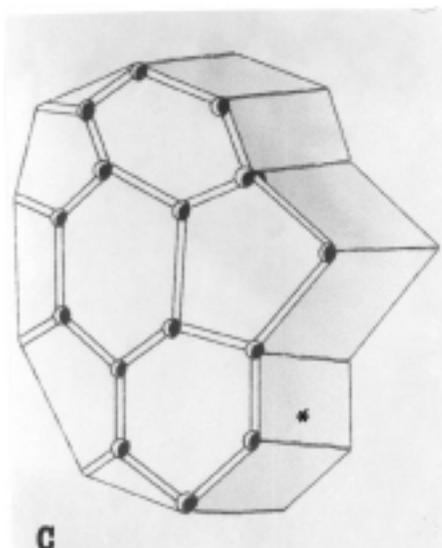


Figura 3. Esquema que sugiere la relación poliédrica 1:5 en superficie corionicas, donde se delinean la yuxtaposición de aristas del pentágono con las aristas de los hexágonos que lo rodean. Zona sombreada corresponde al resto de las cubiertas protectoras subcoriónicas (*). **C** - *Rhodnius prolixus*.

lacionado con la mayor estabilidad de estas estructuras que cualquier otra formada por otra combinación diferente de caras. Como un argumento a favor de ello, podemos referirnos a las estructuras químicas conocidas como fullerenos. Estas estructuras poliédricas formadas por pentágonos y hexágonos son muy estables, siendo las únicas observadas experimentalmente (14). Los estudios teóricos basados en los métodos de la química cuántica explican este hecho debido a la mayor estabilidad energética de estas estructuras frente a cualquier otra.

Podemos sugerir, que la presencia de estructuras arquimedianas en los coriones observados es atribuible a la mayor resistencia que estas estructuras pueden aportar a la protección de los huevos. Aunque todavía en una fase preliminar, pensamos que la justificación a esta suposición podría ser dada si consideramos a las estructuras co-

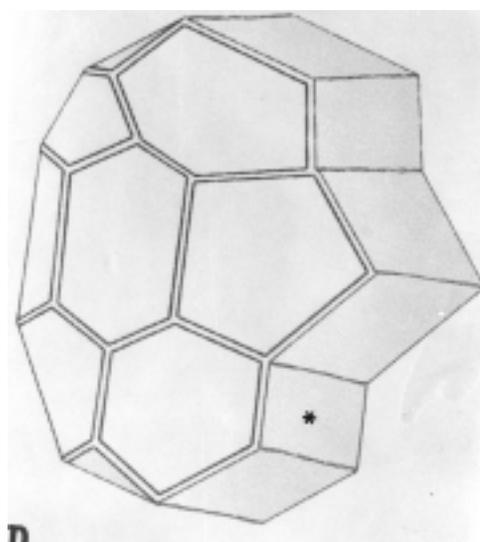


Figura 3. Esquema que sugiere la relación poliédrica 1:5 en superficie corionicas, donde se delinean la yuxtaposición de aristas del pentágono con las aristas de los hexágonos que lo rodean. Zona sombreada corresponde al resto de las cubiertas protectoras subcoriónicas (*). **D** - *Artemia franciscana*.

riónicas como una tensegridad (26). Este es un concepto inventado por el arquitecto Kenneth Snelson y que describe a aquellas estructuras que mantienen su integridad bajo deformación o tensión. Los métodos matemáticos involucrados en este concepto han sido usados recientemente para explicar la estabilidad de estructuras tales como las telas de araña. La idea es definir una cierta función de potencial en términos de las elongaciones de los hilos de la red y demostrar que la configuración particular de la tela de araña minimiza esta función, es decir, que entre todas las posibles configuraciones que una tela pueda adoptar aquella que en realidad adopta es la que posee la mínima energía potencial.

Podemos considerar a la envoltura coriónica como una tensegridad y atribuir la presencia de las estructuras poliédricas observadas de pentágonos y hexágonos a que

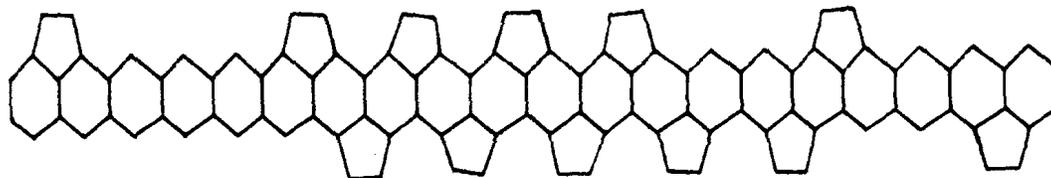
**A**

Figura 4. Proyecciones en un plano de sólidos construidos con hexágonos y pentágonos donde se observa la distribución de los poliedros. A – Modelo físico: icosaedro truncado de 20 hexágonos y 12 pentágonos (60 vértices, 90 aristas).

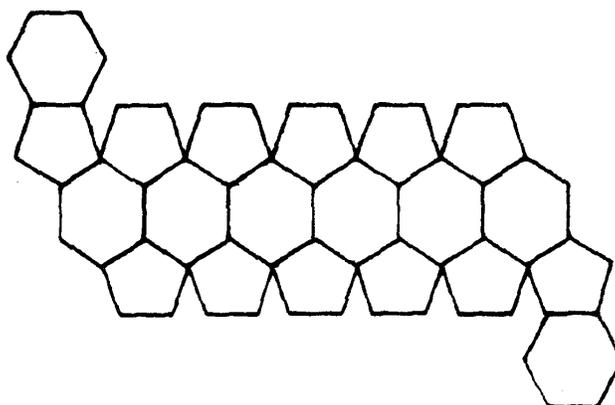
**B**

Figura 4. Proyecciones en un plano de sólidos construidos con hexágonos y pentágonos donde se observa la distribución de los poliedro. B – Modelo biológico: cubierta mediada por receptor se encuentra en vesículas inducidas por endocitosis en células, formadas de 8 hexágonos y 12 pentágonos (36 vértices, 54 aristas).

estas estructuras son las más estables bajo tensión que cualquier otra posible formada por otros tipos de polígonos. La protección al huevo que una estructura con estas características le puede aportar, justifica en alto grado la presencia natural de estas estructuras extraembrionarias con una estructura morfogeométrica como la que registramos.

Anexo 1. Estructuras poliédricas y el Teorema de Euler

Desde la antigua matemática griega es conocido que mientras en dos dimensiones el número de polígonos regulares en infinito, en tres dimensiones sólo pueden existir

cinco sólidos regulares convexos. Si se permite poliedros con más de una cara, entonces se obtienen los trece sólidos semirregulares de Arquímedes (igualmente inscritos en una esfera (10).

Existe una fórmula simple y elegante encontrada por el matemático suizo Leonard Euler y que establece una relación entre el número de vértices N_0 , el número de aristas N_1 , y el número de caras N_2 , de un poliedro (27):

$$N_0 - N_1 + N_2 = 2 \quad [1]$$

Para las estructuras formadas por un tipo de cara, tenemos los cinco sólidos platón-

nicos: el tetraedro, el cubo, el octaedro, el icosaedro y el dodecaedro.

Concentremos ahora nuestra atención a la clase de poliedros convexos trivalentes (i.e. poliedros convexos en los cuales cada vértice es incidente sobre dos caras). De la ecuación [1] podemos derivar la siguiente fórmula:

$$\sum_k (6-k)f_k = 12, \quad [2]$$

donde f_k es el número de caras k-gonales. Como se observa, la ecuación [2] no impone restricción sobre el número de caras hexagonales. Por otra parte, ya que en esos sólidos arquimedianos trivalentes cada sólido tiene un vértice de valencia tres y cada enlace une dos vértices, se sigue que,

$$N_1 = \frac{3}{2} N_0. \quad [3]$$

Sustituyendo la ecuación [3] en la ecuación [1] obtenemos que:

$$N_2 = \frac{N_0}{2} + 2. \quad [4]$$

Ahora, consideremos poliedros formados sólo por dos tipos de caras: pentágonos y hexágonos. De la ecuación [2] se obtiene inmediatamente que $f_5 = 12$, es decir, en un poliedro formado sólo de pentágonos y hexágonos el número de pentágonos siempre es doce,

$$N_2 = 12 + f_6. \quad [5]$$

Por otra parte, combinando las ecuaciones [5] y [4] encontramos que el número de hexágonos está dado por:

$$f_6 = \frac{N_0}{2} + 2 - 12 = \frac{N_0}{2} - 10, \quad [6]$$

lo cual indica que en estas estructuras el número de hexágonos es siempre un número par. Por ejemplo, para el icosaedro trun-

cado tenemos $N_0 = 60$ y de la ecuación [6] obtenemos $f_6 = (60/2) - 10 = 20$. En el caso de estructuras coriónicas compuestas de doce pentágonos y ocho hexágonos encontramos de las ecuaciones [4] ó [6] y [3] que el número de vértices es 36 y el número de aristas es 54 (Figura 4B).

Agradecimientos

A J. Mauro Briceño, Rosario Ávila, a Jorge Fernández, Yovani Nava, pertenecientes al LAQUEN. A Néstor Añez y a Elsa Nieves, pertenecientes al Laboratorio de Investigaciones "José F. Torrealba". A Elis Aldana Carrasco y a Eliézer Lizano Araque del Laboratorio de Entomología "Herman Lent". A Sócrates Pérez y a Ramón Díaz.

Referencias Bibliográficas

1. BERSTEIN R., BERSTEIN S. **Desarrollo en Biología**, 10ª Edición, McGraw-Hill, Cap. 29, pp. 374, 1998.
2. AUDESIRK T., AUDESIRK G. **Biología 3. Evolución y Ecología**, 4ª Edición. Prentice Hall. G5, 1996.
3. HICKMAM C., ROBERTS L. LARSON A. **Principles of Development in Integrated Principles of Zoology**, 10a edición. McGraw-Hill, Cap. 7 años, 1998.
4. STORER. **Zoología General**, Omega, Cap. 25:597, 1986.
5. PETERSON J.L., LINLEY J.R. **Journal of Medical Entomology** 32 (6):887, 1995.
6. ADRIS R.G., YOUNG O.G., PERKING P.V. **J Med Ent** 24:412-415, 1987.
7. BEAMENT J.W. **Hem Bull Ent Res** 39:467-488, 1949.
8. MAZUR. **The Molecular Biology of Development** (Eds. Watson J., Hopkins N., Steitz J., Weiner A.), The Benjamin Cuning Publishing Company, Inc, 777-778, 1987.
9. TURNER F.R., MAHOWALD A.P. Scanning electron microscopy of drosophila embryogenesis. The structure of the egg en velop-

- ment and formation of the cellular blas-
derm. **Development Biology** 50:95-108,
1976.
10. GHYKA M.C. **Estética de las proporcio-
nes en la naturaleza y el arte**, Editorial
Poseidón SRL, 1953.
 11. KROTO H.W., HEATH J.R., O'BRIEN S.C.,
CURL R.E., SMALLEY R.E. **Nature**
318:162, 1985.
 12. CURL R.F., SMALLEY R.F. **Investigación y
Ciencia** 13, 1991.
 13. KANASIKI T., KADATA K. **J Cell Biol**
42:202-220, 1969.
 14. HENSER J. **J Cell Biology** 84:560-583,
1980.
 15. KIRCHHANSEN T., HARRISON S.C. **Cell**
Vol 23:755-761, 1981.
 16. THOMPSON D. **On growth and form**,
Cambridge at the University Press, pp.
157-158, 1966.
 17. LARA ANDRADE R. **Manual y Técnicas
para el Manejo de Quistes de Artemia
sp.**, Publicaciones CBS-Universidad
Autónoma Metropolitana Xochimilco, pp.
19-21, 1991.
 18. FELIANGELI M., CASTEJON O., LIMONGI
J. **J Med Ent** 30(10):651-656, 1993
 19. SIERRA D., VELEZ I.D., URIBE S.I. **San
Amb** 35(1):327-336, 1995.
 20. CHUNG F., STERNBERG SH. **American
Scientific** 81:59, 1993.
 21. CROWTHER R.A., FINCH J.F., PEARSE
M.P. **J Mol Biol** 103:785, 1976.
 22. WEISZ. **La Ciencia de la Zoología**,
Omega, S.A., Cap. 11, pp. 332, 1971.
 23. WEYL H. **Simetría**, McGraw-Hill, pp. 67-
75, 1991.
 24. PANIAGUA R., NISTAL, M., SESMA P., ÁL-
VAREZ M., FRAILE B., ARADÓN R., SÁEZ
F., PAZ, M. **Biología celular** McGraw-Hill
International, pp. 50-51, 1999.
 25. ROSS PH.E. **Buckytubes Scintific Ameri-
can**, 6, 1991.
 26. CONNELLY R., BACK A. **Am Sci** 86:142,
1998.
 27. COXETER H.S.M. **Regular polytopes**, Do-
ver, New York (USA), 1973.