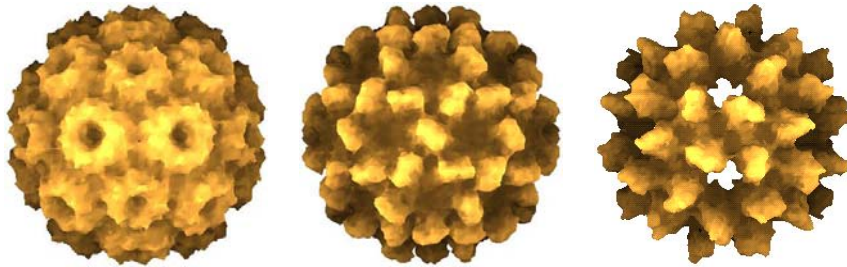


## MODELOS DE CAPSIDAS DE VIRUS ESFÉRICOS CON PAPIROFLEXIA MODULAR

Por Belén Garrido Garrido (belenga@yahoo.com)

Las cubiertas proteicas o cápsidas de los virus esféricos son un ejemplo de una arquitectura molecular perfecta. Impresiona comprobar cómo en un proceso natural de síntesis y ensamblaje espontáneo de proteínas, se forman este tipo de estructuras con tan alto grado de simetría .



*Micrografías electrónicas de algunos virus esféricos*

La papiroflexia modular es un recurso muy apropiado para construir modelos de estas cápsidas. Un módulo asimétrico de papel plegado puede representar adecuadamente a una molécula proteica (estructura asimétrica); y el empalme por encajado de estos módulos para formar estructuras poliédricas estables, asemejan de un modo muy ilustrativo el proceso natural de formación de una cápsida.

La teoría sobre la estructura de la cubierta proteica viral fue iniciada en 1956 por Crick y Watson. Posteriormente, la introducción de las técnicas de microscopía electrónica permitió visualizar la forma de muchas partículas virales. En 1962 Caspar y Klug propusieron las bases teóricas actuales sobre la estructura de los virus inspirándose en las cúpulas y estructuras geodésicas diseñadas por el arquitecto norteamericano Buckminster Fuller.

Hay virus esféricos de tamaño muy pequeño -diámetro cercano a  $180 \cdot 10^{-10}$  m - como el virus de la necrosis del tabaco (STNV, *Satellite Tobacco Necrosis Virus*) cuya cápsida está formada por 60 subunidades proteicas químicamente idénticas. Como desde un punto de vista geométrico un icosaedro puede ser dividido en 60 regiones simétricamente equivalentes, se propuso que la cápsida de estos virus presentaba una simetría icosaédrica perfecta. Las subunidades proteicas son equivalentes al ocupar cada una de estas 60 regiones.

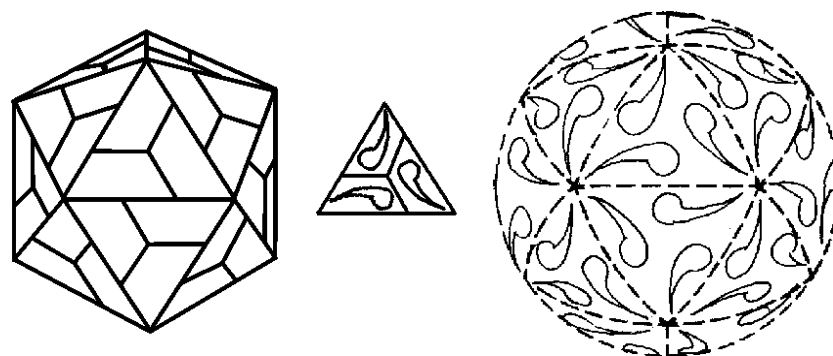
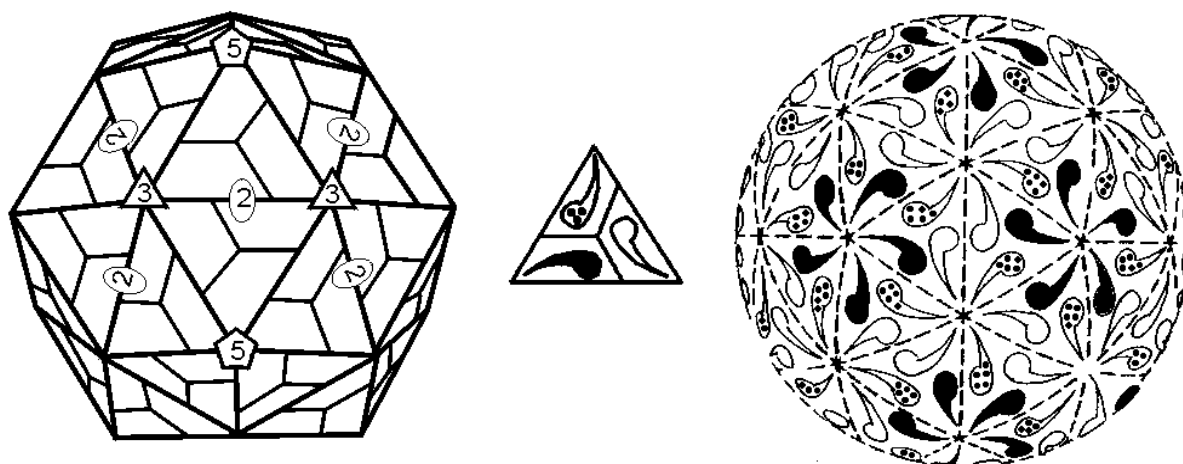


Figura 1: Simetría de la cápsida del virus STNV

Muchos otros virus esféricos de mayor tamaño, como el virus del achaparrado del tomate (TBSV, *Tomato Bushy Stunt Virus*) con un diámetro de  $350 \cdot 10^{-10}$  m, tienen una cápsida formada por 180 subunidades proteicas químicamente idénticas. En este caso no es posible conseguir una simetría icosaédrica pura y estas proteínas, al no poderse colocar de un modo equivalente, lo hacen de un modo *quasi equivalente*. Las 180 subunidades no tienen el mismo entorno estereoquímico y están dispuestas en 60 grupos de tres elementos. Estos tres tipos de subunidades aunque tienen la misma secuencia de aminoácidos varían ligeramente en su conformación.



Existen muchos otros virus esféricos con estructuras más complejas y formadas por más de un tipo de subunidad pero yo me centrado en estos dos que acabo de describir para construir modelos de papiroflexia de sus cápsidas.

Para construir los modelos de estas cápsidas hay que disponer de un modulo de papiroflexia que sea asimétrico (“molécula proteica”) y que se pueda encajar de modo estable y sin pegar para formar estructuras icosaédricas de 60 y 180 módulos que cumplan la simetría de las cápsidas del STNV y del TBSV.

He consultado distintas publicaciones de papiroflexia modular y la mayoría de las estructuras icosaédricas que allí aparecen (principalmente icosaedros estrellados, truncados y estructuras relacionadas), se forman con 30 módulos. Hay algunas con 60 módulos pero estos son simétricos, con lo que no sirven para la construcción de los modelos de las cápsidas.

Yoshihide Momotani, en su libro en japonés “Molecular models with Origami” (ISBN: 4759808663) propone como modelo de virus esférico la construcción de un kusudama tradicional (Decoration ball), una estructura modular no hueca de 30 módulos unidos con hilos. Opino que, aunque este modelo queda muy vistoso y consigue una estructura esférica, los modelos moleculares que yo propongo en este artículo reflejan con bastante más propiedad la estructura de las cápsidas virales esféricas.

Las cápsidas de 60 módulos quedan más vistosas utilizando módulos de tres colores (20-20-20), aunque los colores en este modelo no tengan ningún significado estructural ya que los 60 módulos son geoméricamente equivalentes.

Para construir este modelo resulta interesante insertar los módulos de distinto color de modo que la coloración final quede de una forma coherente. Para esto es útil dibujar previamente el grafo coloreado del poliedro en el que se basa la arquitectura de la cápsida (grafo del icosidodecaedro o triacontaedro rómbico).

Cuando se hacen cápsidas de 180 módulos el uso de los tres colores (60-60-60) se hace necesario para visualizar las tres conformaciones proteicas diferentes y la *quasi equivalencia*.



Cápsida del virus del achaparrado del tomate  
(TBSV, Tomato Bushy Stunt Virus)  
(180 monómeros)



Cápsida del virus de la necrosis del tabaco  
(STNV, Satellite Tobacco Necrosis Virus)  
(60 monómeros)

Algunos sitios de la Web relacionados con la estructura viral:

The Big Picture Book of Viruses:

[http://www.virology.net/Big\\_Virology/BVFamilyIndex.html](http://www.virology.net/Big_Virology/BVFamilyIndex.html)

Virus World (Institute for Molecular Virology):

<http://rhino.bocklabs.wisc.edu/cgi-bin/virusworld/virustable.pl?>

Principles of Virus Architecture:

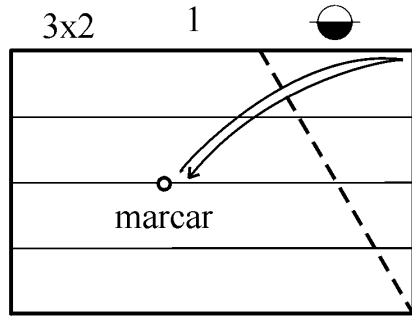
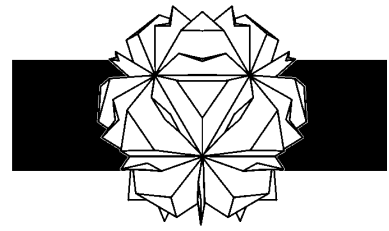
<http://www.uct.ac.za/depts/mmi/stannard/virarch.html>

Virus databases on-line:

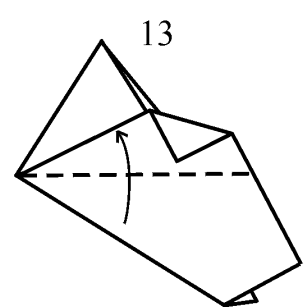
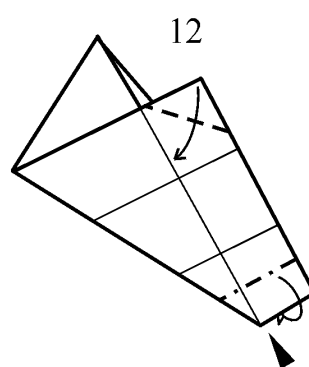
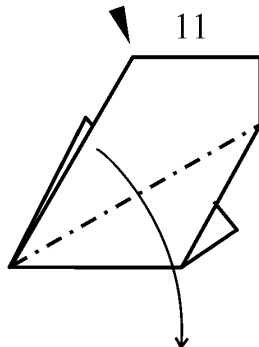
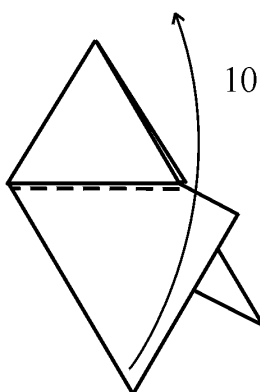
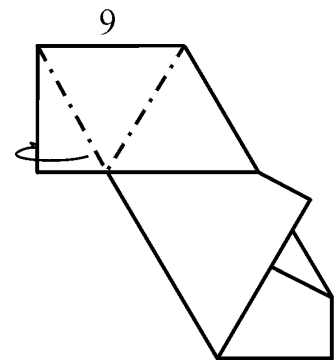
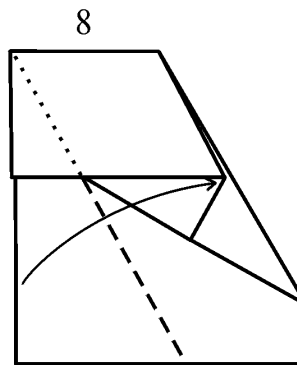
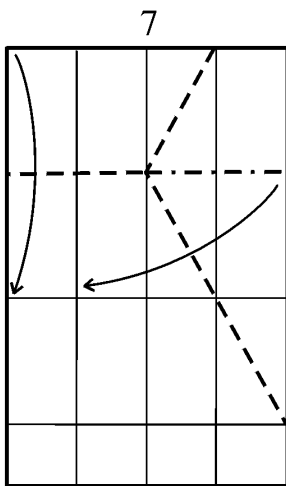
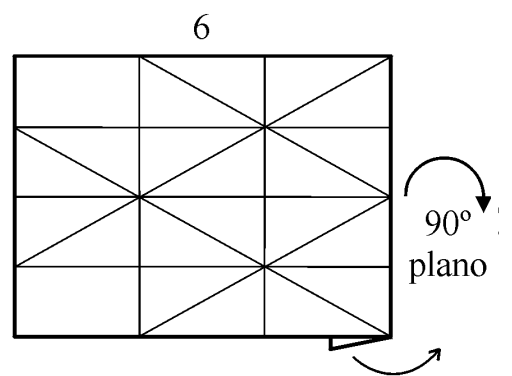
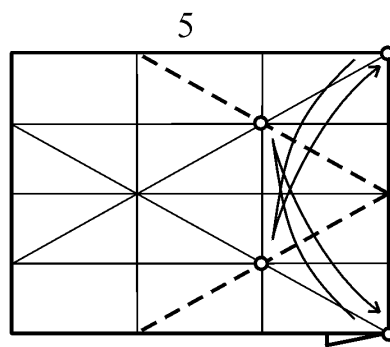
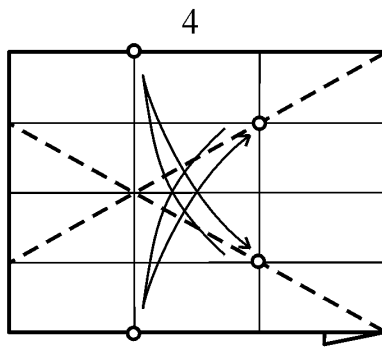
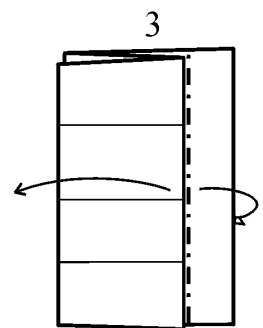
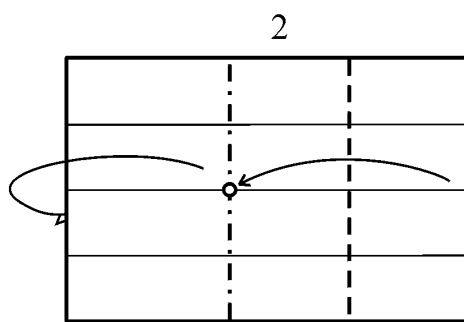
<http://life.anu.edu.au/viruses/welcome.html>

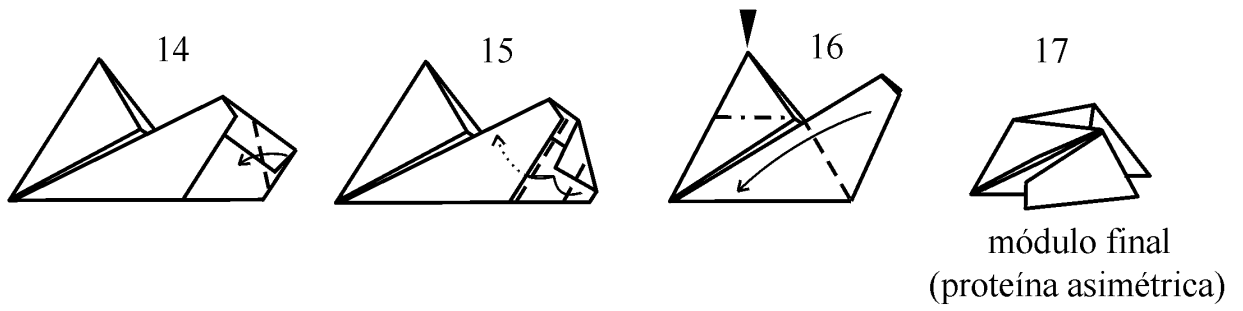
# CAPSIDA DE VIRUS

M<sup>a</sup> Belén Garrido Garrido  
belenga@yahoo.com

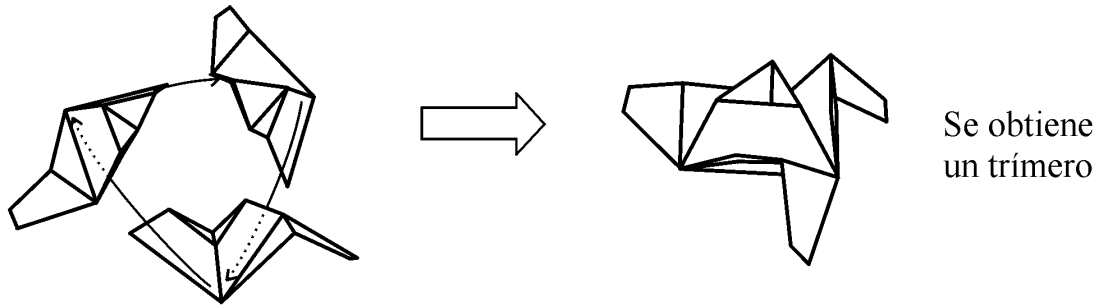


papel fino (gramaje <math>< 80 \text{ g/m}^2</math>)

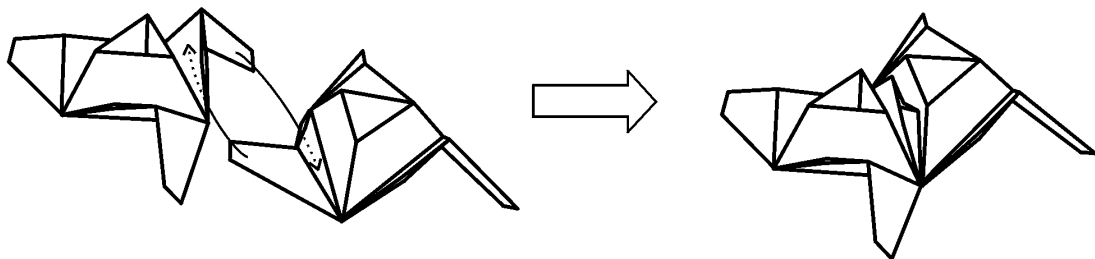




Encajar los módulos tres a tres:



Los trímeros se ensamblan siguiendo el patrón de simetría adecuado (Figuras 1 y 2) para formar las cápsidas de 60 y 180 monómeros.



STNV  
Virus de la necrosis del tabaco  
Satellite Tobacco Necrosis Virus  
(60 monómeros)

