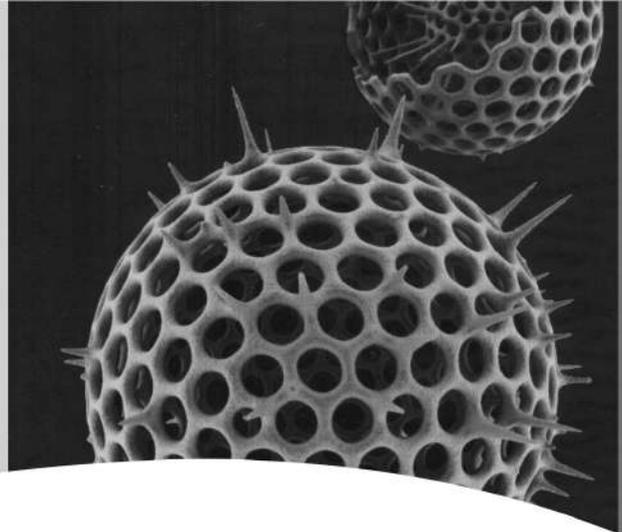


# Geometría de un radiolario

*Hernán Darío Cortés Silva\**



## Geometry of radiolarians

### **Resumen**

---

Las formas de la naturaleza muchas veces son estéticamente bien definidas y el caparazón de los radiolarios es un ejemplo de eso. La geometría del radiolario se analiza en el presente artículo en relación con la disposición que tienen los agujeros que este presenta.

---

**Palabras claves:** *Radiolario, geometría, poliedro, icosaedro, tresbolillo*

### **Abstract**

---

The Nature's forms are often aesthetically well-defined and the shell of radiolarians is an example of that. Radiolarian's geometry is discussed in this article doing emphasis in the distribution of its holes.

---

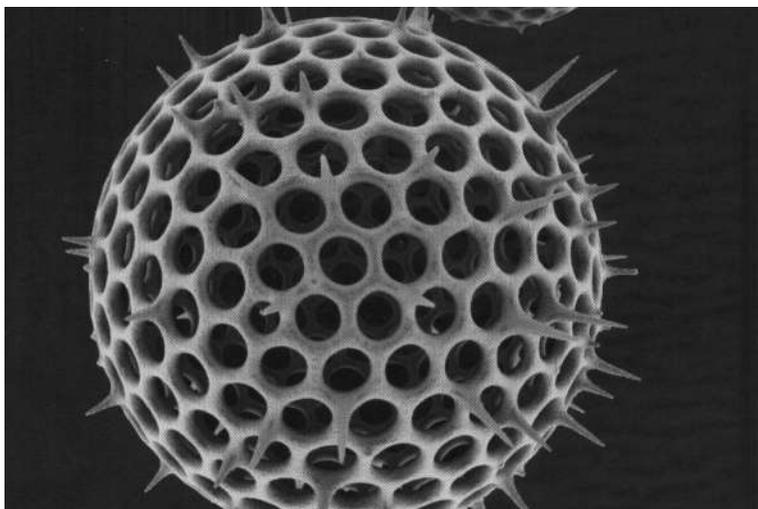
**Key words:** *Radiolarians, geometry, polyhedron, icosahedron, quincunx*

Fecha de recepción: Marzo 30 de 2009

Fecha de aprobación: Mayo 14 de 2009

---

\* Ingeniero Mecánico Universidad Nacional de Colombia, Especialista en Pedagogía Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Profesor Asistente Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central. Correo electrónico: dariocortes61@gmail.com



## **1. Introducción**

En la revista hipOtesis N° 5 se muestra el caparazón de un radiolario cuya belleza impacta inmediatamente y atrapa en su contemplación (Figura 1). Después de esta primera impresión y como resultado de un largo momento de observación, se empieza a percibir que su belleza puede tener un fundamento en la geometría con características de regularidad que tiene la organización de los elementos que la componen. Evoca a otras estructuras naturales igualmente bellas como son los panales de las abejas, los caparazones de los caracoles y las tortugas, o los cuernos de los carneros. De esta contemplación admirativa surge una primera pregunta que se convertirá en la cuestión orientadora del estudio geométrico, objeto de este artículo: ¿la distribución de los agujeros sobre la superficie esférica es regular en toda su extensión?

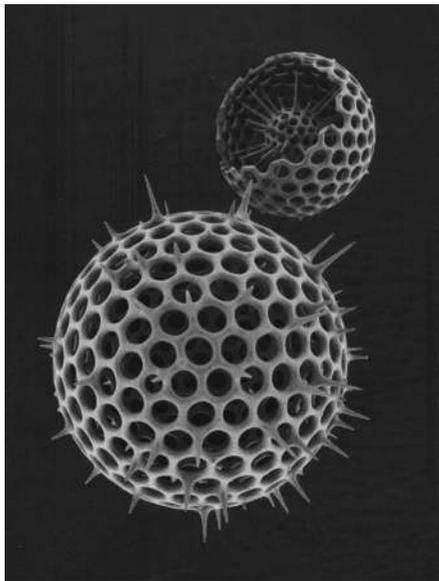


Figura 1. Radiolario esférico

El radiolario es un organismo unicelular descrito de la siguiente manera por la enciclopedia Encarta.

*“Radiolarios, organismos que forman una clase del filo Sarcodinos (Sarcodina), dentro del reino Protistas, que agrupa también a las amebas. Los radiolarios son unicelulares, como las amebas, pero se distinguen de éstas por su exoesqueleto complicado, llamado caparazón, que casi todos ellos secretan. Este caparazón, por lo general esférico y simétrico, llega a tener en ocasiones varios milímetros de grosor. Suele ser de sílice y posee muchas espinas orientadas hacia el exterior. Presenta perforaciones por donde el animal extiende pseudópodos con los que atrapa su alimento.” (Encarta, 2006)*

La descripción anterior complementa en algunos aspectos la imagen del caparazón mostrado y le da sentido al propósito de esa forma, aunque no proporcione una respuesta a la cuestión sobre la regularidad de la misma, por lo cual se intentará resolverla en este artículo.

## 2. El estudio geométrico

La forma especial del caparazón de estos organismos presenta perforaciones distribuidas de una manera regular, aunque no todas sean de forma esférica, como se observan en la figura 2. De esta regularidad también da cuenta un artículo de Hove (1968), publicado por la Universidad del Valle, del cual se muestra la copia de un dibujo en la figura 3.

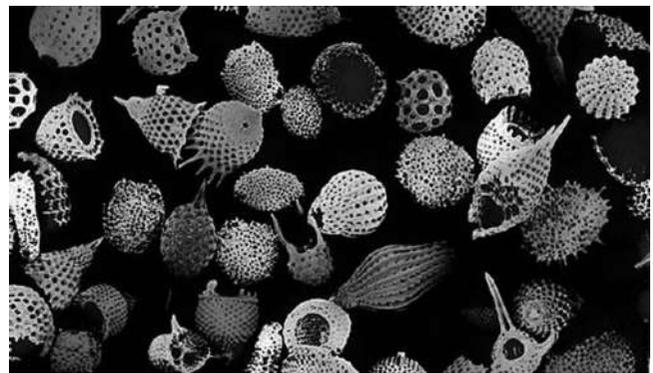


Figura 2. Caparazones de radiolarios Fuente (Enciclopedia Encarta 2006)

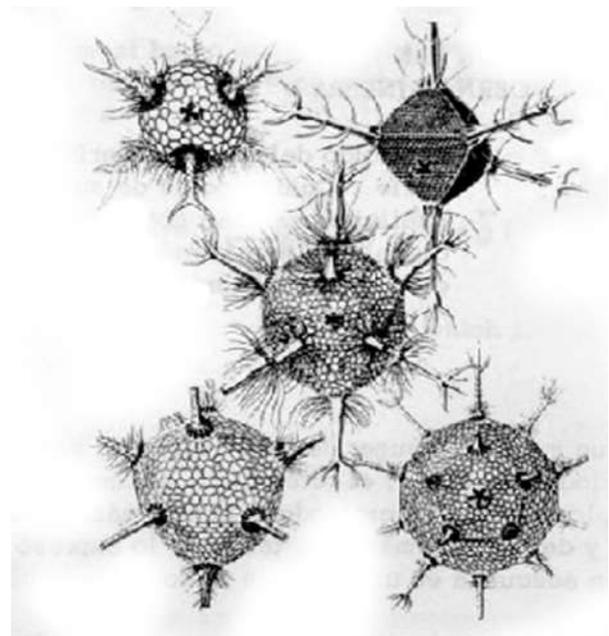


Figura 3. La simetría en los esqueletos de radiolarios Fuente: Hove



De las características estéticas del caparazón, es especialmente atractivo observar cómo las perforaciones del mismo tienen una regularidad tanto en su tamaño como en su distribución, lo cual sugiere que forman un patrón, como ocurre en la naturaleza en muchas situaciones en las que la forma de una estructura se va construyendo de manera paulatina. Esto sucede, por ejemplo, en la distribución de una flor de girasol, en la organización de las pencas de sábila, en la conformación de los copos de nieve o en la estructura que forman los átomos en el hierro cuando se solidifica lentamente. El estudio de las fuerzas que guían la aparición de tales formas escapa al análisis de este artículo, en el cual sólo se quiere mostrar cuál es la organización que tienen las perforaciones del caparazón del radiolario mostrado en la figura 1.

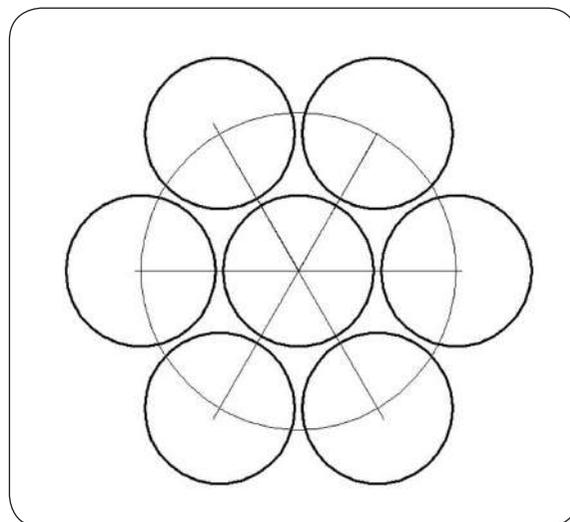


Figura 4. Arreglo de siete círculos en forma hexagonal.

De la observación hecha se pueden distinguir varias características como las siguientes:

- Las perforaciones mantienen un arreglo generalizado en forma hexagonal, como se muestra en la figura 4.
- En algunas zonas se presentan arreglos de las perforaciones en forma pentagonal, como se observa en la figura 5.
- Las perforaciones tienen en apariencia una separación constante entre ellas.
- Los diámetros de los agujeros son en apariencia de igual tamaño, exceptuando los que se ubican en el centro de los arreglos pentagonales.

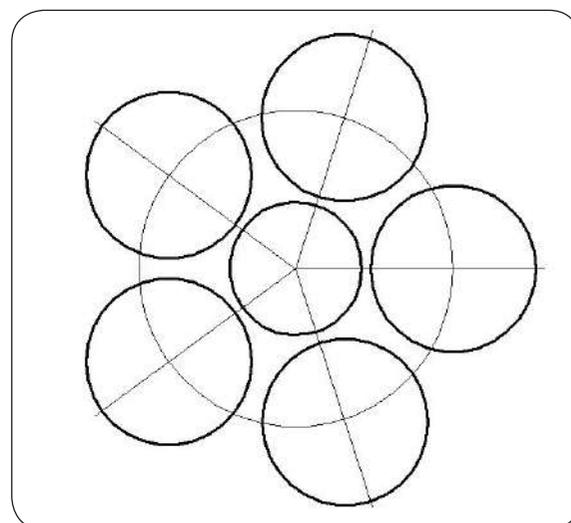
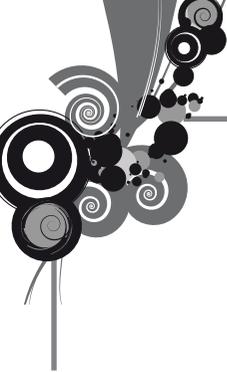


Figura 5. Arreglo de seis círculos en forma pentagonal

De los hechos observados se desprenden los siguientes análisis y consideraciones preliminares:

- El arreglo hexagonal es el más generalizado y aunque puede repetirse indefinidamente sobre un plano (figura 6), no lo puede hacer igualmente sobre una superficie esféri-



ca, a no ser que el tamaño y la orientación de los hexágonos cambien paulatinamente, como lo presenta Hostettler (2006) en su análisis sobre la disposición de las escamas de una piña.

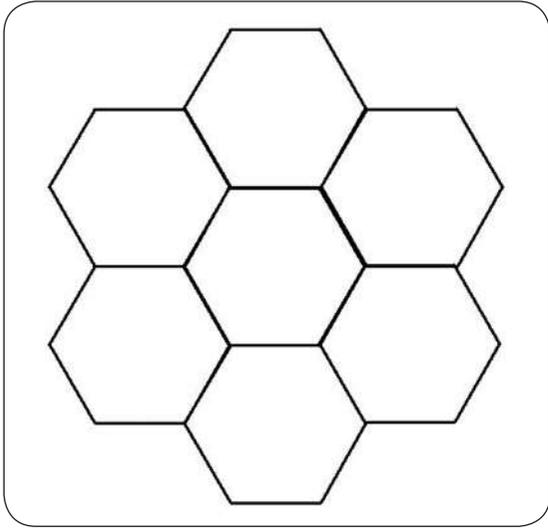


Figura 6. Arreglo de hexágonos en una plano.

La suma de los ángulos internos de los polígonos que convergen en un punto y que se disponen sobre un plano suman  $360^\circ$ . Un ejemplo de esta característica se encuentra al disponer tres hexágonos regulares alrededor de un vértice, como se observa en la figura 6. En este caso, el ángulo interno del hexágono mide  $120^\circ$ . Pero no cualquier disposición permite cubrir cabalmente el plano. Por ejemplo, al disponer pentágonos regulares, cuyos ángulos miden  $108^\circ$ , no es posible cubrir los  $360^\circ$ , porque tres de ellos cubrirían  $324^\circ$ , mientras que cuatro cubrirían  $432^\circ$ . Sin embargo, al disponer tres pentágonos adosados uno a otro por sus lados, es posible lograr que los tres cierren en una superficie cóncava, si en lugar de disponerlos sobre un plano, se hace que cada uno gire un poco sobre el lado que comparte con otro pentágono y en estas condiciones es posible formar un poliedro de doce caras pentagonales o dodecaedro, como se observa en la figura 7.

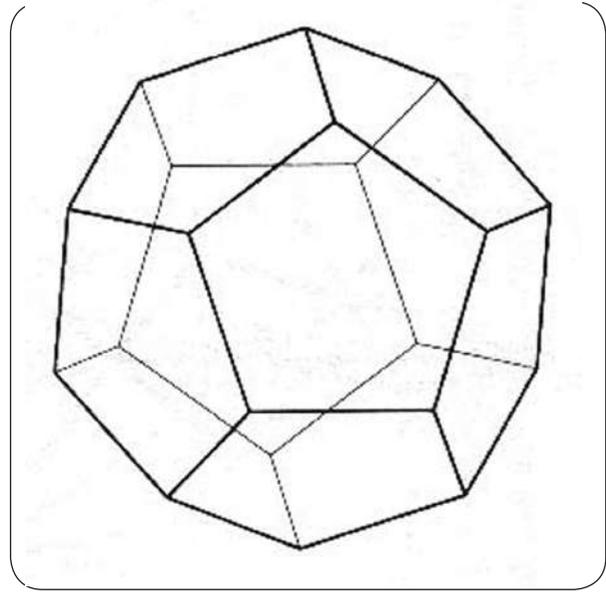


Figura 7. Dodecaedro, formado por pentágonos regulares

Imagen tomada de: <http://hexdome.com/links/>

La presencia de arreglos pentagonales en algunas zonas cambian la orientación de los arreglos hexagonales. Esto sucede por ejemplo en la disposición de los hexágonos y pentágonos en un icosaedrón, que es la misma que tienen los parches de un balón de fútbol, en donde la superficie esférica se cubre totalmente con una disposición tal que en cada vértice del arreglo confluyen dos hexágonos y un pentágono. (Ver figura 8).

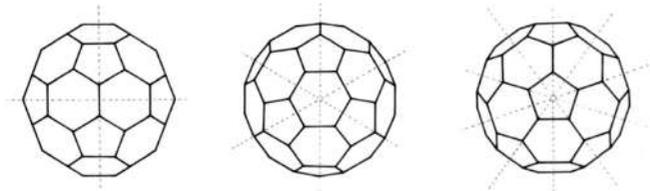


Figura 8. Disposición de los polígonos en un icosaedrón (Imagen tomada de: [http://www.salsburg.com/models/fold\\_truncated\\_icosahedron.html](http://www.salsburg.com/models/fold_truncated_icosahedron.html))



También es posible formar otros poliedros con base en polígonos regulares. Los más conocidos son los cinco sólidos platónicos: tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro. Todos se caracterizan porque cada uno de ellos está formado por polígonos iguales y regulares, lo que les confiere a su vez características de regularidad, en el sentido de que todos sus vértices serán iguales, lo mismo que el ángulo entre caras consecutivas (ángulos diédricos) y además pueden ser inscritos en una esfera o circunscritos en otra.

Para continuar con el reconocimiento geométrico del arreglo de perforaciones en un radiolario, se levantó un esquema de la organización de los agujeros en la fotografía de la figura 1, cuyo resultado se observa en la figura 9, en donde se pueden identificar los arreglos pentagonales de agujeros, así como los arreglos hexagonales anteriormente descritos.

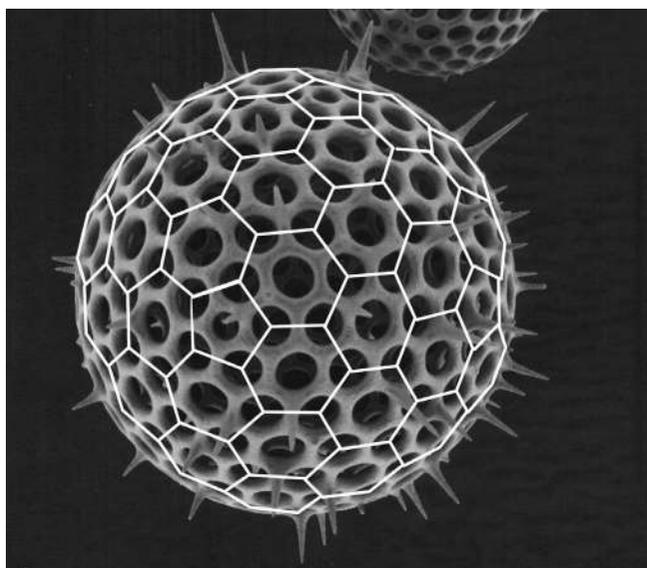


Figura 9. Arreglo de los agujeros del radiolario en estudio

En este esquema se encuentran algunas regularidades geométricas que permiten apoyar la idea de que la disposición de las perforaciones del radiolario sigue un patrón. Las regularidades observadas son:

La organización de los agujeros dispuesta entre aquellos ubicados en el centro de cada arreglo pentagonal tiene una forma que recuerda la del tresbolillo, como se observa en la figura 10.

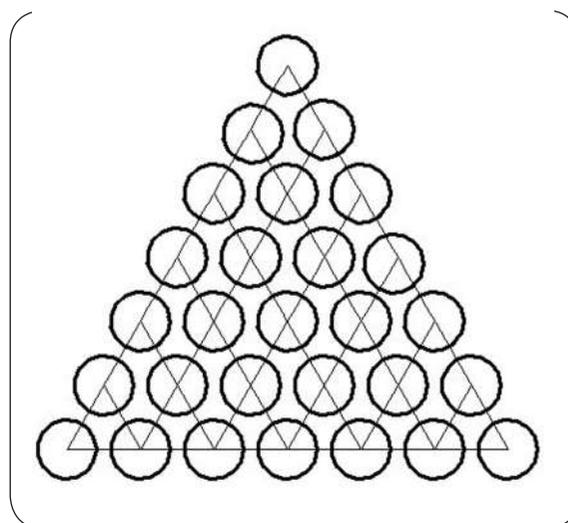


Figura 10. Arreglo de agujeros en tresbolillo

De cada agujero central del arreglo pentagonal se pueden organizar cinco arreglos tipo tresbolillo como el que se mostró anteriormente.

A partir de esta nueva observación y manteniendo la hipótesis de la regularidad en la distribución, es posible proponer las siguientes ideas:

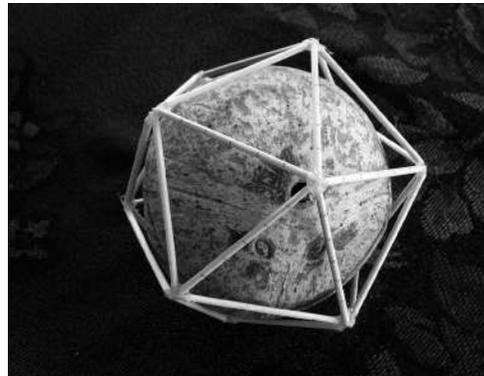
- La distribución en tresbolillo se repetiría sobre toda la esfera, hasta cubrir totalmente su superficie.
- La organización de triángulos regulares en un poliedro se observa en tres de los sólidos platónicos: el tetraedro, el octaedro y el icosaedro. De ellos sólo el icosaedro se asimila al arreglo de cinco triángulos concurrentes en un vértice, similar al observado en el radiolario.
- En el icosaedro se puede inscribir una esfera, la cual será tangente en el punto medio de cada arista del mismo.

Con este análisis se trató de reproducir la distribución en un elemento físico. Se optó por hacerlo de forma un tanto artística, para lo cual se tomó la cáscara de un coco, aunque con las limitaciones propias del caso, ya que su forma no es totalmente esférica. Se construyó un icosaedro con palos de madera, circunscrito a la esfera del coco, cuyos vértices determinaron la posición de los agujeros

centrales en los arreglos pentagonales. Estos determinaron 20 triángulos esféricos, cada uno con un arreglo de agujeros en tresbolillo, similar al de la figura 10, con lo cual se obtuvo un total de 362 agujeros, distribuidos sobre la superficie cuasiesférica. Algunas de las etapas del proceso se reproducen secuencialmente a continuación.



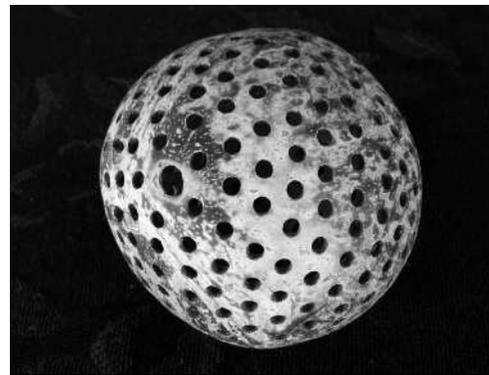
a. El coco



b. Coco inscrito en el icosaedro usado como guía



c. Los triángulos concurrentes en un vértice



d. La distribución general de las perforaciones

Figura 11. Secuencia operativa en la reproducción de la geometría del radiolario.



## 2.1 La regularidad que existe

La verificación de la idea de regularidad en la distribución de los agujeros tiene dos partes: con la primera se comprueba que la distancia entre los agujeros centrales de cada arreglo pentagonal es constante. Con la segunda, se debe demostrar que la distancia entre agujeros del tresbolillo es constante.

La primera parte de la verificación se logra construyendo un icosaedro circunscrito a una esfera, de manera similar como se hizo con el coco. Al trazar las diagonales del mismo entre vértices diametralmente opuestos, estas cortarían a la esfera en doce puntos, que constituyen los agujeros centrales de los arreglos pentagonales, en forma similar como se muestra en la figura 12. Por la simetría que tiene el icosaedro en sí mismo y en relación con la esfera inscrita, los agujeros así obtenidos serán igualmente simétricos. Estos agujeros determinan veinte triángulos esféricos que constituyen cada uno un arreglo en tresbolillo, pero dispuesto sobre la esfera y no sobre el plano.

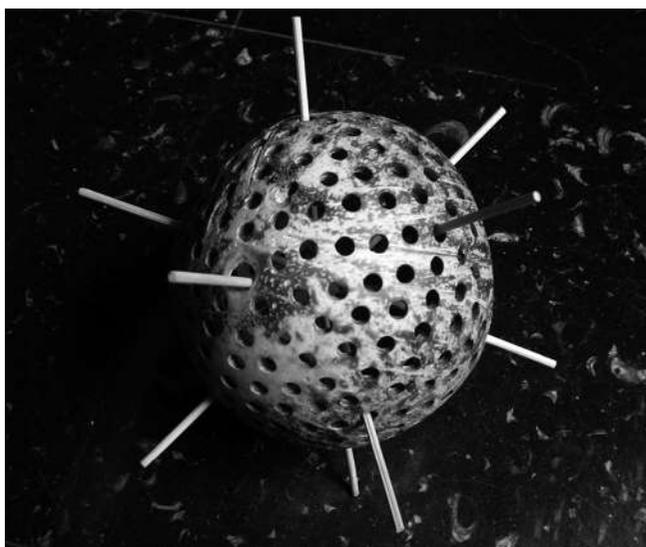


Figura 12. Agujeros centrales de los arreglos pentagonales

La segunda parte, o verificación de la regularidad de los arreglos en tresbolillo, no se ha logrado realizar, aunque algunos trabajos con software de modelado tridimensional orientan el desarrollo hacia una conclusión negativa, es decir, que la regularidad buscada sólo es aparente. Que no podrían distribuirse los 362 agujeros de manera regular sobre una superficie esférica. La conclusión definitiva y relacionada con la forma original del radiolario, necesitaría involucrar un elemento que aquí no se ha considerado y es que la distancia entre los agujeros centrales de los arreglos pentagonales es menor que la que existe en los arreglos hexagonales. Por lo tanto, la conclusión definitiva está por determinarse.

## 2.2 Formas similares

La distribución lograda de las perforaciones tiene un ingrediente adicional igualmente interesante y es que su forma es compartida por objetos creados por el hombre como se observa en las imágenes siguientes. La primera se trata de un domo geodésico, definido por elementos estructurales, como se observa en la figura 13. La segunda es la pelota usada en el golf, cuyas depresiones se distribuyen en algunas versiones en la misma forma que la del radiolario estudiado. Se observa una reproducción en la figura 14.

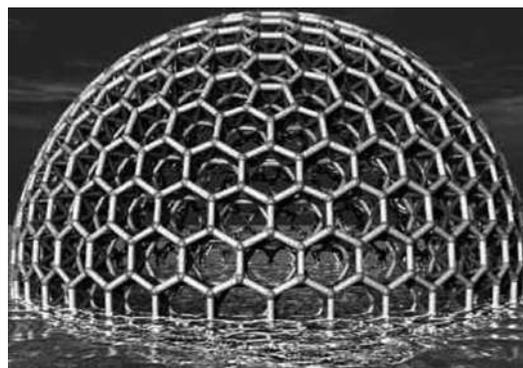


Figura 13. Domo geodésico (Imagen tomada de [http://www.salsburg.com/models/fold\\_truncated\\_icosahedron.html](http://www.salsburg.com/models/fold_truncated_icosahedron.html) )

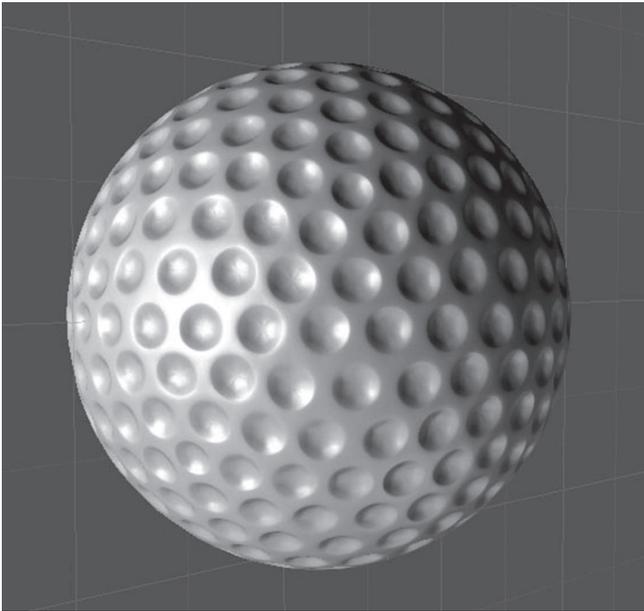


Figura 14. Pelota de golf.  
(Imagen tomada de <http://www.mododigital.info/foro/viewtopic.php?p=448> )

### 3. Conclusiones

En el radiolario esférico se distribuyen sobre su superficie un total de 362 agujeros, en donde están involucradas formas geométricas regulares como el icosaedro, el pentágono, el triángulo y el hexágono.

El arreglo en tresbolillo, que resulta ser regular en una superficie plana, parece no serlo para una superficie esférica. Sin embargo, una conclusión definitiva requiere de un análisis más profundo al que se realizó en el presente trabajo.

La regularidad en las formas generadas por la naturaleza tiene puntos de encuentro con las formas generadas por el hombre, que asombran y sugieren la presencia de fuerzas generadoras fundamentadas en el mismo origen del hombre y otros organismos de la naturaleza.

### 4. Bibliografía

Bio-notas (2005). Hipótesis, 5, 7. Bogotá: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias.

Geodesic Models. Extraído el 16 de marzo, 2009, de

[http://www.salsburg.com/models/fold\\_truncated\\_icosahedron.html](http://www.salsburg.com/models/fold_truncated_icosahedron.html).

Hexdom. Extraído el 16 de marzo, 2009, de <http://hexdome.com/links/>

Hostettler, M. (2006). El número de oro. Hipótesis, 7, 42-53. Bogotá: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias.

Microsoft Corporation (2006). Enciclopedia Encarta. Radiolario

Modo Digital. Extraído el 16 de marzo, 2009, de

<http://www.mododigital.info/foro/viewtopic.php?p=448>

Van Hove, L. (1968). Principios de conservación, simetrías y leyes de invariancia. 9-10 Extraído el 16 de marzo, 2009, de

<http://calima.univalle.edu.co/newrevista/public/index.php?seccion=VOLUMENES&accion=VERARTICULO&articulo=268&formato=PDF&download=TRUE>