La geometría de las formas vivas

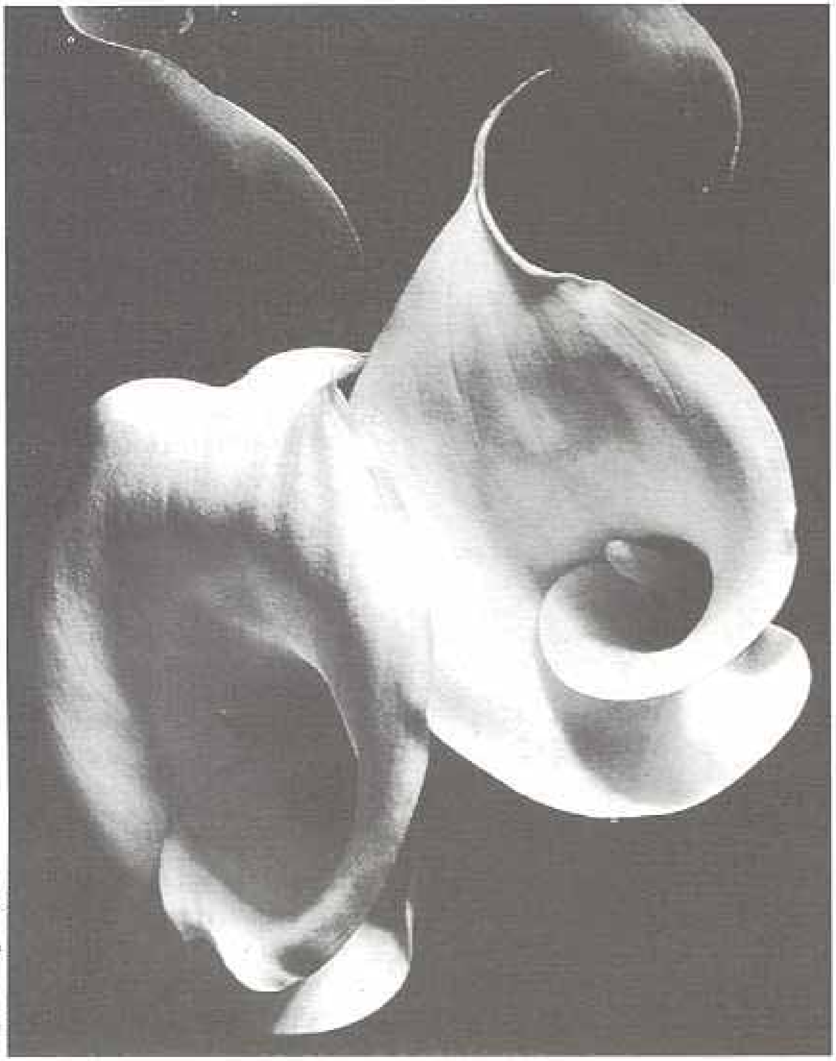


Imagen: Cunningham, 1929

PEDRO MIRAMONTES

Los organismos se encuentran en una aparentemente inmensa variedad de tamaños y formas. Si echamos un vistazo a nuestro alrededor contemplaremos moscas, perros, peces, bugambilias, chinches y musgos: un abigarrado conjunto de tamaños, estructuras, conductas y formas de organización. La contemplación de tal riqueza natural nos lleva casi inevitablemente a cuestionarnos el o los orígenes de las formas vivas.

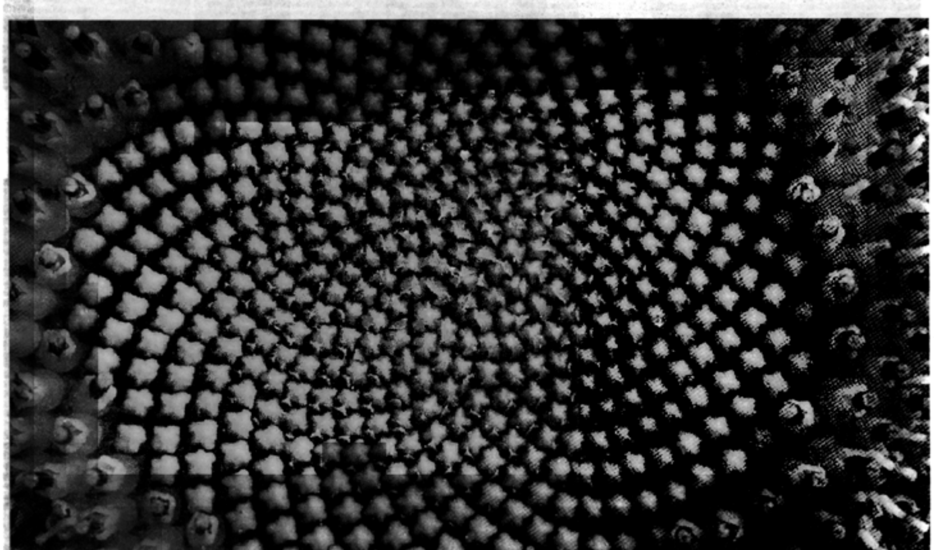
Desde que la *Teoría de la evolución por selección natural* fue expuesta, se acepta casi sin cuestionamiento que las formas de los organismos actuales se originaron a partir de un proceso histórico de diversificación, mediante la adaptación de algunos antepasados primitivos, que a su vez se originaron por la diversificación de otros antepasados primitivos y así hacia atrás en la historia hasta el origen de la vida misma. Pese a su elegancia y sencillez, esta teoría es incapaz de explicar los orígenes o las particularidades de las formas; las teorías históricas *describen* hechos pero no *explican* hechos.

Para comprender la diferencia entre un argumento histórico y uno ahistórico plantearemos dos versiones de un mismo hecho: ¿por qué la Tierra gira alrededor del Sol siguiendo una órbita elíptica? La explicación histórica sería más o menos la siguiente: "porque lo hizo ayer y también el año, el siglo y el milenio pasados". La contraparte ahistórica apelaría a las leyes de Kepler y a la mecánica newtoniana. Hay que hacer énfasis en que la explicación histórica no es falsa: es sencilla, fácil de entender y cierta pero, de acuerdo con los estándares modernos, debería considerársele inadecuada (Goodwin, 1994).

Hoy día es común escuchar en las aulas que la morfología de los seres vivos es como es debido a la ventaja que en términos adaptativos confiere a los organismos. Sin embargo, este tipo de explicaciones *ad hoc* son incapaces de responder preguntas que ellas mismas generan: ¿por qué es tan pequeño el número de arquitecturas fundamentalmente distintas en la naturaleza? Cuando hablamos de *arquitecturas* no nos referimos a las especies; éstas reflejan la gran variedad arriba mencionada, más bien pensamos en los *patrones* esencialmente diferentes de formas vivas. Este concepto define la jerarquía *Phylum* de la clasificación taxonómica. La diferencia entre un phylum y otro es una diferencia esencial, en el sentido de que una especie perteneciente a un phylum no puede ser transformada en una especie de otro mediante una transformación "suave" (Thompson, 1914). Esta interrogante, conocida con el nombre de "el problema de los fenotipos faltantes", es solamente una de muchas que nos obligan a tratar de buscar vías alternas para ir al fondo del problema de por qué los organismos tienen las formas que tienen y de por qué no existen formas que, si bien son imaginables, algo les impide ser viables.

Si se pretende elaborar una teoría que explique el origen de las formas vivas es necesario que ésta cuente con principios generales independientes de las vicisitudes históricas. Este aspecto ya fue estudiado a finales del siglo XVII y en los albores del XIX por la escuela conocida como de la Morfología Racional. Biólogos, naturalistas y pensadores de la importancia de Geoffrey Saint-Hillaire, Buffon, Goethe, Lamarck, D'Aubenton y varios más se adhirieron a este grupo. Su pretensión era encontrar el sustrato lógico subyacente a la hipótesis de que los organismos estaban construidos a partir de variaciones de un pequeño número de principios. Su intención era descubrir tales principios. En palabras de Hans Driesch (1894): "...buscaron construir aquello que era lo típico (genérico) en las variedades de las formas vivas mediante un sistema que no fuera determinado históricamente, sino que debería ser inteligible desde un punto de vista racional."

Paradójicamente, aunque el desarrollo de estas ideas antecede con mucho a la formulación de la Teoría de la evolución por selección natural, fue tal el impacto de Darwin en la arena científica que borró de la historia no sólo las ideas sino también las biografías de los científicos que lo precedieron.[1] Uno de los propósitos fundamentales de los morfólogos racionalistas es la búsqueda de leyes simples, naturales y ahistóricas que expliquen la generación de las formas vivas. Es decir, la necesidad de construir una teoría dinámica de los organismos que comprenda las propiedades emergentes de los constituyentes de éstos como causa primaria del origen de las formas. Esta teoría tendrá que ser necesariamente compatible con los hechos revelados por la evolución, con el catálogo existente de formas vivas y con el registro fósil. Cualquier discusión sobre este punto invariablemente tendrá que enfocar simultáneamente los dos aspectos más relevantes del tema: la morfología en sí a lo largo de la historia (sus aspectos filogenéticos) y el desarrollo o morfogénesis (la ontogenia). En este trabajo trataremos únicamente algunos aspectos de la morfogénesis.

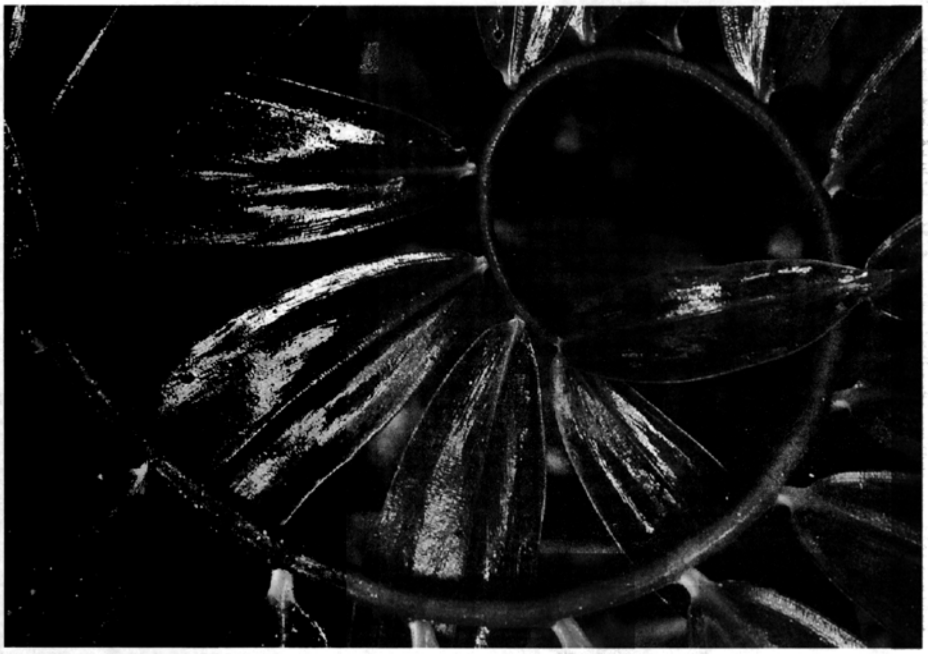


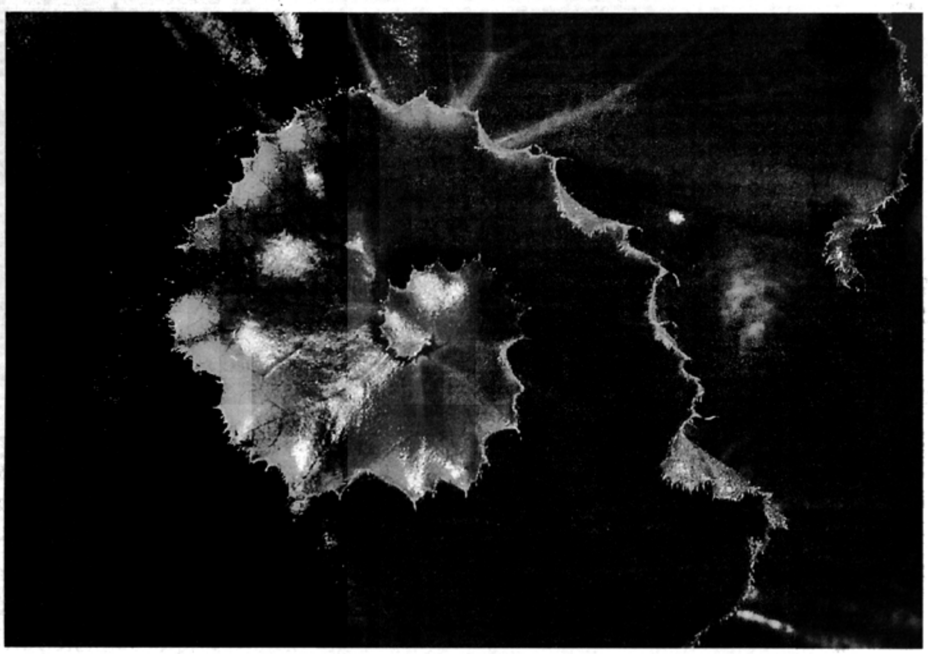
Dwight R. Kuhn

Filotaxia vegetal

Nuestro tren de vida cotidiano, apresurado y pragmático, a menudo nos impide descubrir las maravillas de la naturaleza. Seguramente hemos mirado muchas veces un girasol o hemos tenido en nuestras manos una piña. En la playa, o en la antigua avenida Xola de la Ciudad de México, nos hemos sentado a la sombra de una palmera, hemos recolectado conchitas y caracoles o hemos deshojado alguna florecita. Sin embargo, pocas personas podrían decirnos qué tienen en común todas estas situaciones. Vayamos con calma y analicemos: el centro de la flor de un girasol está formado por pequeñas estructuras que se encuentran alineadas de tal forma que producen hileras dispuestas en espiral, algunas de ellas abren sus brazos en el sentido de las manecillas del reloj y las restantes en la dirección contraria. Si las contamos veremos que siempre habrá 13 espirales que se abren hacia la derecha por 21 que se abren hacia la izquierda (13/21). Este hecho puede parecer banal, pero adquiere relevancia cuando se repite esta cuenta con girasoles de diferentes tamaños y con otras flores como las margaritas y los mirasoles; pues encontraremos que algunas tienen 21/34, otras 34/55 y que incluso las hay de 55/89. Si, aprovechando que tenemos tantas flores en las manos, ahora contamos el número de pétalos, hallaremos que las hay con 8, otras con 13, varias de ellas tienen 21, 34 y, como usted ya habrá adivinado, las hay también de 55, 89, 144, etc. (Lo que le quita interés al juego de *Me quiere mucho, poquito, nada...* pues el final del juego siempre es el mismo y está determinado de antemano).

Si todo esto al lector le parece mera coincidencia, lo invito a que la próxima vez que tenga en sus manos una piña la observe con atención, pues se dará cuen-





James H. Carmichael Jr.

ta de que sus paredes están formadas por una especie de escamas limitadas por curvas ascendentes; estas curvas se originan todas ellas en la base de la piña e, invariablemente, son ocho espirales que se abren hacia un lado por trece que lo hacen en la dirección contraria. Lo mismo sucede con los troncos de las yucas y con la disposición de las hojas de las alcachofas.

¿Quiere encontrar más coincidencias? Aguarde un poco. Si tomamos el tallo de una planta y desde la base subimos hasta el sitio de los brotes más recientes uniendo con un hilo las hojas que encontremos en el camino, el hilo ascenderá dando vueltas en espiral a lo largo del tallo. Ahora contemos el número de brotes que el hilo encuentra desde la base hasta arriba y también contemos el número de vueltas que el hilo dio alrededor del tallo. Llamemos *Índice folial* al cociente:

$$\frac{\text{número de vueltas}}{\text{número de hojas}}$$

Volvamos al jardín o a la huerta y dispongámonos a determinar el índice folial de cuanta planta encontremos. Hallaremos plantas con 1/2 (es decir, dos hojas o brotes por vuelta, contando la inicial), como el maíz, con 1/3, 2/5; este índice folial es muy común y recibe el nombre de *al tresbolillo*.[2] También hay bastantes plantas con 3/8 (el manzano y el ciruelo), 5/13 (el peral) y, claro, con 13/34, 21/55 y así subsecuentemente.

Parece que este conjunto de hechos, fácilmente comprobables la próxima vez que el lector vaya a cortar florecitas, ameritan algo más que una expresión de sorpresa.

Fibonacci

Los números que aparecieron en la sección anterior se pueden generar mediante la regla siguiente:

$$F_{n+2} = F_{n+1} + F_n$$

Es decir, cada uno de ellos es la suma de los dos anteriores. Si elegimos a la unidad como los dos primeros integrantes de esta sucesión, entonces obtendremos: 1,1,2,3,5,8,13,21...

Serie de números notable en muy diversos campos de la matemática y que recibe el nombre de *Serie de Fibonacci*. Fibonacci era el apodo que le daban a Leonardo de Pisa (1175-1230) sus amigos, la traducción literal es "hijo de Bonaccio". Bonaccio era a su vez el apodo de su padre, que se traduce como "el buenote" (¡en el sentido de "bonachón"!), apodo que heredó de su padre, el abuelo de Leonardo, quien a su vez... Como esto no es un tratado de apodología detendremos aquí la exploración del pedigrí de Fibonacci y cerraremos su ficha biográfica con la mención final de que su nombre se encuentra ligado a considerables aportaciones al álgebra, y que el origen de la serie de números que llevan su nombre se debe, ni más ni menos, al primer modelo matemático de dinámica de poblaciones que registra la literatura occidental.[3]

La Serie de Fibonacci tiene propiedades notables, pero únicamente examinaremos las que tienen alguna relación con el tema tratado en este artículo. Si, por casualidad, a alguien se le ocurre formar los cocientes entre dos términos sucesivos de la Serie de Fibonacci, obtendremos: 1/1=1, 2/1=2, 3/2=1.5, 5/3=1.666.., 8/5=1.60, 13/8=1.625, 21/13=1.6154, 34/21=1.619.

Si proseguimos, terminaremos por convencernos de que el límite $\frac{F_{n+1}}{F_n}$ es igual a 1.6180...

Recordemos la sucesión de los índices foliales: 1/2,1/3,2/5,3/8....

Claramente, los elementos de esta sucesión se pueden escribir de manera genérica como:

$$\frac{F_n}{F_{n+2}}$$

Pero si recordamos que $F_{n+2} = F_{n+1} + F_n$, entonces la expresión anterior se reescribe de la siguiente manera:

$$1+\frac{F_n}{F_{n+1}}$$

O lo que es lo mismo, 1.6180, siempre y cuando *n* sea grande. Como convenimos que el índice folial es el cociente del número de vueltas entre el número de hojas, también se puede reformular como la *fracción de vuelta que existe entre dos hojas sucesivas.* Dicho de otra manera, es *el ángulo entre dos brotes consecutivos.* Si convertimos esa medida de radianes a medida angular en grados tenemos que el ángulo entre dos hojas consecutivas sólo puede tomar valores en un conjunto discreto de ellos, y esa sucesión se acumula rápidamente en el valor 137.5°.

Tabla 1. PROPIEDADES DE ϕ

En el texto se presenta al número ϕ como la raíz positiva de la ecuacion cuadrática: $\phi^2 - \phi - 1 = 0$ y se llama la atención acerca de que ϕ es el único número cuyo cuadrado se obtiene sumando la unidad a él mismo ($\phi^2 = \phi + 1$). Si denotamos con ϕ' a la raíz negativa, es fácil verificar que se dan las siguientes identidades: $\phi\phi' = -1$ y $\phi + \phi' = 1$.

Una manipulacion algebráica elemental nos lleva a la conclusión de que ϕ es también el único número cuyo recíproco se obtiene restando la unidad a ϕ mismo ($\phi^{-1} = \phi - 1$).

El lector puede comprobar que el cubo de ϕ satisface la ecuación: $\phi^3 = \phi^2 + \phi$ y que sustituyendo en ella el valor de ϕ^2 obtenemos: $\phi^3 = 2\phi + 1$. Para obtener la cuarta potencia de ϕ multiplicamos por ϕ la relación anterior para $\phi^4 = 2\phi^2 + \phi$ y sustituimos el valor del cuadrado de ϕ para llegar a: $\phi^4 = 3\phi + 2$. Si continuamos con este procedimiento, las potencias sucesivas de ϕ quedarán como: $\phi^5 = 5\phi + 3$, $\phi^6 = 8\phi + 5$, $\phi^7 = 13\phi + 8$, etc. Es decir, las potencias de ϕ se expresan como polinomios de primer grado en los cuales los coeficientes son números consecutivos de la Serie de Fibonacci. Las potencias negativas de ϕ satisfacen relaciones parecidas y se invita a los lectores a que ejerciten su álgebra elemental con ellas. Esto quiere decir que la sucesión: 1, ϕ, ϕ +1, 2 ϕ +1, 3 ϕ +2, 5 ϕ +3, 8 ϕ +5.... que es la sucesión de potencias de ϕ: $\phi^0, \phi^1, \phi^2, \phi^3$... ¡es una sucesión de Fibonacci! (un elemento es la suma de los dos previos).

Por último, una manera bonita de representar al número ϕ es como una fracción continuada, o sea:

$$\phi = 1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \dots}}}}$$

Le dejaremos como tarea al lector que haga los siguientes ejercicios:

1. Demostrar que $\cos(36°) = \frac{\phi}{2}$ y que $\mathrm{sen}(18°) = -\frac{\phi'}{2}$; sugerencia: resolver: $4\mathrm{sen}^2(\theta) + 2\mathrm{sen}(\theta) - 1 = 0$
2. El perímetro de la base de un cono circular cuyo semiángulo vertical es 54° y cuya generatriz mide un metro, es $\pi\phi$ y el área de su superficie curva es $\frac{1}{2}\pi\phi$ unidades cuadradas.
3. Cinco discos de radio unitario se colocan simétricamente de manera que todas sus circunferencias toquen el orígen y sus centros ocupen los vértices de un pentágono regular, ¿cúanto mide el radio de la circunferencia con centro en el origen y que pasa por las intersecciones exteriores de la familia de discos? Respuesta: ¡ϕ'!

En este momento es pertinente aclarar que alrededor del ochenta por ciento de una estimación de 250 000 especies conocidas de plantas siguen este tipo de arquitecturas. El restante 20 por ciento sigue leyes parecidas, basadas en series semejantes a la de Fibonacci pero con condiciones iniciales diferentes. Por ejemplo, a la serie generada a partir de los números 1 y 3 (1, 3, 4, 7, 11, 19...) se le conoce como *Serie de Lucas.* Se dice que las especies que tienen arquitecturas cuyo origen son estas y otras series tienen *filotaxia regular* (Jean, 1983).

Reflexionemos un poco al respecto. Las plantas de filotaxia regular tienen un conjunto discreto de posibilidades para su forma: el índice folial sólo puede to-

Susan Middleton, 1988

mar valores en este conjunto y la sucesión alcanza pronto un valor límite en el ángulo de 137.5 grados. ¿Le sugiere algo este hecho a los lectores? Les prometemos agradables sorpresas.

Oro puro

Plantearemos a continuación un problema geométrico aparentemente desligado del tema que estamos tratando. Este problema fue enunciado y resuelto por los matemáticos de la Grecia clásica y, en su versión moderna, se puede formular de la siguiente manera:

Dado un segmento de longitud L, divídase en dos subsegmentos de magnitudes A y B, de tal modo que la razón del lado pequeño (A) al grande (B) sea la misma que la razón del grande al total ($A + B$).

Dicho de otro modo:

$$\frac{A}{B} = \frac{B}{A+B}$$

Como nos interesa la razón entre los subsegmentos y no sus magnitudes, llamaremos ϕ al cociente $\frac{B}{A}$. Una manipulación algebráica elemental nos permite reescribir la igualdad anterior como:

$$\phi^2 = \phi + 1$$

En otros términos, el número ϕ es el único número de este mundo cuyo *cuadrado se logra sumando la unidad a él mismo.* Si resolvemos la ecuación cuadrática obtenemos:

$$\phi = \frac{\sqrt{5}+1}{2}$$

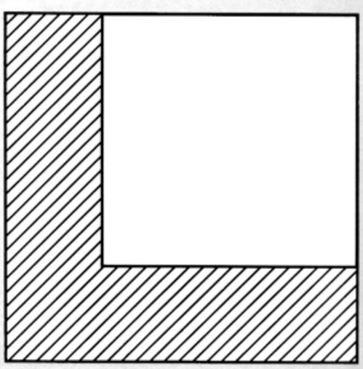


Figura 1

Calculadora en mano, hacemos las cuentas para obtener:

$$\phi = 1.6180\ldots$$

¡Otra coincidencia! dirán ustedes, ¿otra coincidencia? replico. Antes de arreglar estos asuntos pendientes, vale la pena llamar a las cosas por su nombre, el número ϕ, tan notable en la matemática como pueden ser π o el número e de Euler, se conoce con el nombre de *La proporción áurea.* Su nombre es constancia de la magnitud de la sorpresa que sus propiedades han causado a los matemáticos[4] de todos los tiempos.

Si repetimos el ejercicio, pero esta vez tomando el perímetro de una circunferencia como longitud total, y nos proponemos dividirlo en dos, de manera que al final tengamos dos arcos de circunferencia cuya razón sea la proporción áurea, el ángulo que subtiende el segmento menor es de 137.5°.

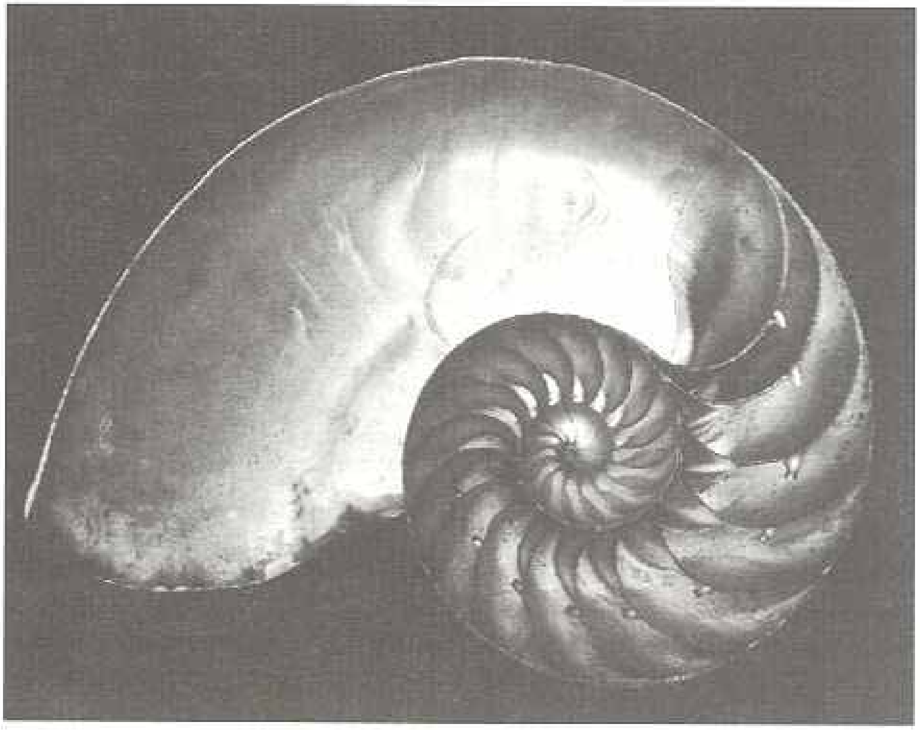
¡Caracoles!

La espiral es una forma ubicua en la naturaleza, los ejemplos se cuentan por miles: desde la magnífica grandeza de las galaxias en espiral hasta las espirales que resultan de la reacción de Zhabotinsky-Belusov, pasando por las guías de las plantas trepadoras, las conchas de los caracoles, los cuernos de muchos de los antílopes, carneros y gacelas, etc. La forma natural donde se puede apreciar una espiral en toda su grandeza, es la concha del *Nautilus pompilius.* Espirales hay muchas; la concha del *N. Pompilius* es una espiral logarítmica y es la gráfica de la función $\rho = \exp(a\theta)$, donde ρ y θ son las coordenadas polares. Esta espiral se puede generar de una manera muy conveniente a nuestros intereses. Para este propósito, introduciremos el concepto de *Gnomon.*

Originalmente, para los antiguos griegos el gnomon era el indicador de las horas en los relojes solares, cuya sombra proyectada sobre la carátula indicaba la hora. Después, el término se generalizó para denominar a *aquello que hay que agregarle a "algo" para que siga siendo lo "mismo"*. En la figura 1, se puede observar que a un cuadrado le hemos agregado su gnomon y sigue siendo un cuadrado. Si seguimos este razonamiento llegaremos a la conclusión de que el gnomon de un disco es un anillo circular, el de un triángulo equilátero es un trapecio, etc. Tomemos ahora un rectángulo cuyos lados A y B se encuentren en proporción áurea, a dicho rectángulo se le conoce, por razones obvias, con el nombre de *rectángulo áureo*. Si le agregamos un cuadrado de lado B, como en la figura 2, el rectángulo resultante mide B por $A+B$, por lo que también (véase la sección anterior) es áureo con lo que concluimos que el cuadrado de lado B es un gnomon; si agregamos un cuadrado de lado $A+B$ tendremos un rectángulo de lados $A+B$ por $A+2B$, que también es áureo (¡haga las cuentas!) y si continuamos esta construcción al unir los vértices de los rectángulos obtenidos habremos construido una espiral logarítmica.

También se puede hablar mucho acerca de las propiedades de la espiral logarítmica,[3] pero lo que aquí conviene es destacar que se trata de la única figura en el universo que tiene la propiedad de ser gnomon de sí misma. Le pido que mire de nuevo la ilustración del *N. pompilius* y que me acompañe a hacer la siguiente generalización: *Todos aquellos organismos que crecen por acreción* (agregando partes nuevas a lo que ya tenían) *tendrán que tener la forma de una espiral logarítmica*. En esta categoría caerán los miles de organismos que tienen concha.

Este hecho es un ejemplo claro e ilustrativo de cómo la forma de una clase de organismos no tiene porqué deberse a ningún proceso selectivo; su forma obedece a causas simples, lógicas y naturales. Reconocemos que queda abierta la pregunta del origen *último* pero, aun así, un paso hacia una explicación que sea



independiente de hechos fortuitos y circunstanciales debe de ser bienvenido.

Problemas viejos, soluciones nuevas

Llegados a este punto y, ante el riesgo de abrumarlos con información fenomenológica, se vuelve apremiante la necesidad de intentar una explicación de los hechos mostrados. Hagamos un recuento: las plantas que tienen filotaxias regulares sólo pueden adoptar arquitecturas dentro de un conjunto limitado de formas; los brotes alrededor del tallo tienen índices foliales que determinan ángulos bien definidos. Este hecho difícilmente se puede explicar con argumentos selectivos o adaptativos. Hay autores que han argumentado que esta disposición geométrica maximiza la captura de los rayos solares en las hojas, pues evita que se hagan sombra entre sí. También se ha dicho que con esta geometría recogen de manera óptima el agua de la lluvia. Un problema esencial que encara la Teoría de la evolución por selección natu-

$$\frac{AB}{BC} = Ø = \frac{OA}{OB} = \frac{OC}{OD}$$

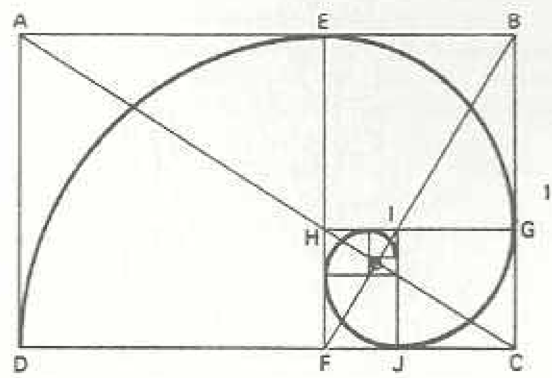


Figura 2

ral es su incapacidad para explicar la naturaleza *discreta* del conjunto de formas. Si las formas vivas fueran exclusivamente generadas por un proceso gradual de adquisición de adaptaciones ventajosas, entonces podríamos imaginarnos todo un continuo de formas en la naturaleza.

Por razones que no vienen al caso, o que si vienen sería demasiado largo discutir aquí, a lo largo del tiempo se ha ido desarrollando un estilo muy peculiar de usar las herramientas físicas y matemáticas en biología. Este estilo es consecuente con las ideas dominantes en los círculos que hacen ciencia y es reflejo de las circunstancias sociales.

Actualmente, una de esas ideas dominantes es que la naturaleza y sus manifestaciones se encuentran en equilibrio (Bak y Paczuski, 1995). Por simple que parezca, esta idea determina el estilo de trabajo e impregna la manera de razonar de buena parte de la gente que se dedica a la ciencia. Una naturaleza en equilibrio regresa a su estado estable (que puede ser puntual o un régimen periódico) cuando se le perturba y el tiempo de relajación es proporcional a la magnitud de la perturbación; los eventos catastróficos no caben en el esquema, tienen que ser provocados por causas externas a los sistemas.

Según esto, si todo se encuentra en equilibrio, las fluctuaciones alrededor de éste serán provocadas por ruido externo y azaroso. La noción misma de equilibrio estable lleva consigo una fuerte carga ideológica. Si nos situamos en la Inglaterra y en Estados Unidos de principios del presente siglo nos resultará sencillo entender el porqué del éxito de la síntesis entre las ideas selectivas y la herencia mendeliana: si la mutaciones genéticas constituyen la base del cambio evolutivo y son intrínsecamente azarosas, ciegas y desordenadas, entonces es necesario un mecanismo que restituya el orden. ¿Qué mejor mecanismo que aquél que elimina a los inadaptados, premia la competencia y restituye el orden y la armonía?[6] De esta manera, y seguramente sin que éste fuera el propósito de su autor, la teoría darwiniana se ha convertido en la policía de la naturaleza.

Afortunadamente, los avances recientes de la física y de las matemáticas nos enseñan que existen mecanismos diferentes para generar orden a partir del desorden. Estos avances se encuentran todavía un poco dispersos pero comienzan a agruparse en torno a la llamada *Teoría de los sistemas complejos.* Lo peculiar e impresionante de los llamados sistemas complejos es que la interacción no lineal de los componentes desordenados de un sistema puede dar lugar a la formación de patrones ordenados y de conductas regulares en el sistema. Una particularidad notable es que la interacción caótica a nivel de moléculas o genes es perfectamente compatible con el orden armónico del nivel superior de complejidad jerárquica; es decir, en la morfología o, incluso, en la conducta.

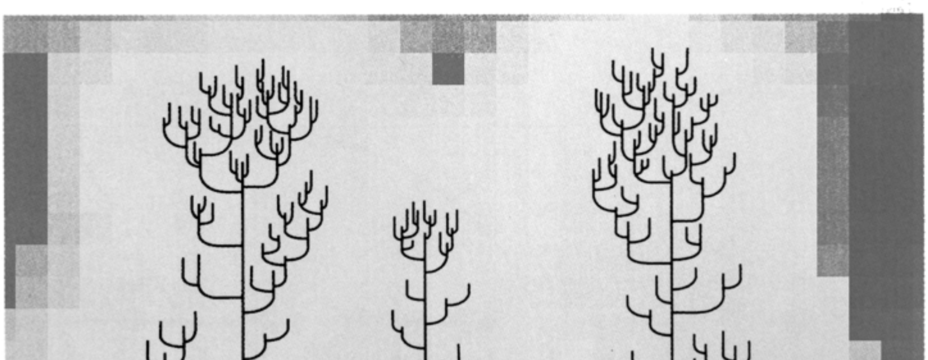


Figura 3

Para terminar

Douady y Couder (1992) han publicado un artículo con un título bellísimo: "La filotaxia como un proceso físico de crecimiento autorganizado". Este trabajo propone una maravillosa explicación del fenómeno de la filotaxia regular: las geometrías observables en las plantas son estados límite de un sistema dinámico y se puede transitar de unos a otros mediante el juego de un solo parámetro, la naturaleza discreta se debe a que en los valores críticos del parámetro ocurren bifurcaciones (transiciones de fase).[7] Este trabajo es valioso no sólo por su rigor y elegancia sino porque su trascendencia reside en el hecho de que, al fin, tenemos una explicación natural, exenta de historicidad, de un fenómeno morfogenético de gran importancia ante el cual las ideas selectivas y adaptacionistas arrían los pabellones.

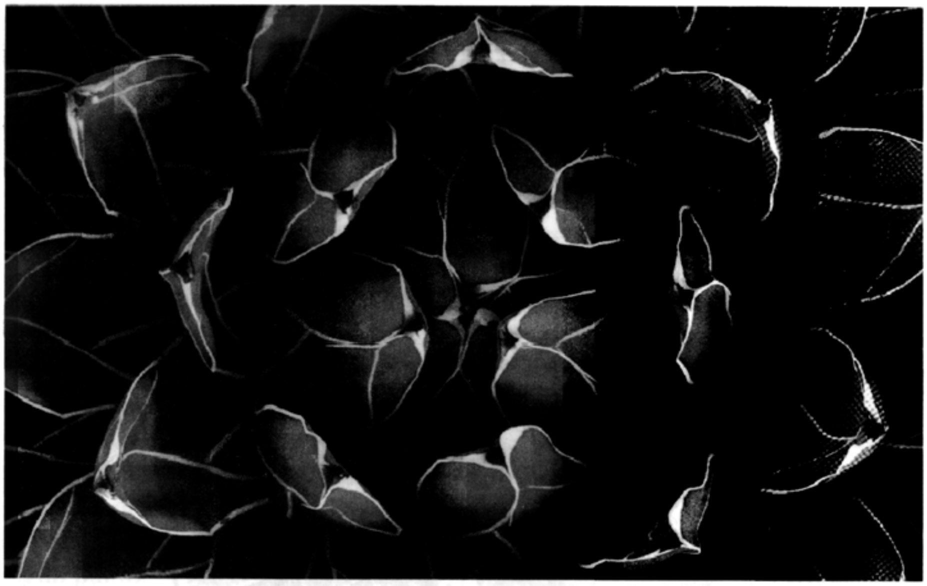
¿Dónde queda, entonces, la teoría de la selección natural? En el registro fósil encontramos evidencia acerca del hecho de que en una época hubo una gran explosión de formas diferentes de vida (la explosión del Cámbrico), que fue seguida por una extinción masiva. El árbol de la vida sería algo así como el mostrado en la figura 3. La máxima diversidad en arquitecturas de vida distintas se dio hace mucho tiempo, durante los primeros pasos de la vida multicelular. No todas las anatomías resultaron estables o viables y la gran mayoría se extinguieron. Las arquitecturas restantes se diversificaron enormemente a nivel de especies, pero ya no se desarrollaron formas nuevas.

"Hoy día tenemos más especies que nunca antes. Sin embargo, éstas se encuentran restringidas a menos anatomías básicas".

Tomo esta cita de S. J. Gould (1994) como trampolín para dar mi punto de vista al respecto, y me permito exponer una analogía discutida con B. Goodwin: La Tabla Periódica de los Elementos. Los elementos existen en casillas discretas y forman grupos discretos. Esto es un reflejo emergente de las propiedades de sus constituyentes elementales; no existe ningún elemento entre el hidrógeno y el helio, no puede haberlo; nosotros observamos la existencia de elementos que son compatibles con las leyes que gobiernan la materia a nivel de sus constituyentes.

El uso de la analogía en ciencia es peligroso pero, sin embargo, puede aclarar mucho los conceptos: el hecho de que existan tan pocas anatomías diferentes nos hace pensar que las leyes físicas y químicas que mandan sobre las moléculas que integran los organismos restringen sus posibles realizaciones a grupos discretos. Todo esto es compatible con la naturaleza observable y con el registro fósil. Algunas de estas realizaciones serán más viables o estables que otras en virtud de su naturaleza física intrínseca, no de sus propiedades adaptativas. Una vez que ciertas arquitecturas persistieran, la selección natural se encargaría posiblemente de afinar los detalles (los "acabados") y de la diversificación en grupos taxonómicos inferiores, notablemente, en especies.

Para finalizar, no quiero desaprovechar la oportunidad de decir que, dado que las ideas científicas y el conjunto de metáforas y mitos sociales que llamamos ideología se retroalimentan e influyen mutuamente, esperamos quizás candorosamente ser testigos del arribo de una actitud más humanista y justa que esté acorde con las nuevas ideas científicas que se comienzan a manejar y que, algún día, dichas ideas sustituyan a todas aquellas metáforas violentas y belicistas que durante el siglo pasado se impusieron en la ciencia y en nuestra sociedad.



James H. Carmichael Jr.

Notas

1. Es lamentable que uno de los más grandes biólogos que han existido es citado actualmente en tono de burla como "aquél al que se le ocurrió la puntada de que las jirafas tienen los cuellos largos ya que sus progenitores se estiraban para buscar las hojas altas de los árboles". Me refiero, claro, a Pierre Simon de Lamarck, cuyas grandes contribuciones a la biología han caído en el olvido.
2. Este curioso nombre se aplica al sistema de plantación en filas en el cual las plantas o árboles se forman en filas paralelas dejando un hueco entre los lugares que corresponden a los vecinos más cercanos, lo que da una formación en diagonales que cruzan las hileras. También es otra manera de llamar al punto de tejido con agujas y estambre que consiste en un punto derecho, un revés, un derecho, un revés…
3. Si a algún lector le interesa conocer más sobre este campo, le recomendamos consultar el libro de Eugenio Garin, *La educación en Italia: 1400-1600.* Ed. Grijalbo.
4. Al grado de que el notable geómetra renacentista Luca Paccioli lo llamó *La proporción divina.*
5. J. Bernoulli (1667-1748) se maravilló a tal extremo de sus propiedades, que pidió que en la lápida de su tumba quedase grabada la inscripción *Eadem mutata resurgo,* como pie del dibujo de una espiral logarítmica.
6. El uso del lenguaje y de las metáforas revelan las ideas más profundas e íntimas de un cuerpo teórico. Si escuchamos expresiones como: *genes egoístas, estrategias de supervivencia, interacciones competitivas, supervivencia de los más aptos, estrategia de halcón,* etc., no sabemos si estamos en un aula o mirando una película de Schwarzenneger.
7. Si el amable lector está a punto de perder la paciencia debido al lenguaje tan *fancy* de ésta última sección, nos permitimos recomendarle la excelente obra de divulgación *Chaos* de James Gleick (Penguin Books, 1987).

Bibliografía

Bak, P. y H. Paczuski. 1995. Complexity, contingency and criticality. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 92:6689-6696.

Douady, S. y Y. Couder. 1992. Phylotaxis as a physical self-organized growth process. *Physical Review Letters* 68:2098-2101.

Driesch, H. 1894. *Analytische theorie der organischen entwicklung.* Engelmann, Leipzig. (Citado en Kauffman, S. 1994).

Goodwin, A. 1994. *How the Leopard Changed its Spots.* Charles Scribner's Sons, Nueva York.

Gould, S.J. 1990. *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History.* W. W. Norton \& Co., Nueva York.

Gould, S.J. 1994. The evolution of life on earth. *Scientific American* 271:62-69.

Jean, R. 1983. *Croissance végétale et morphogénese.* Les Presses de la Université de Québec.

Kauffman, S. 1994. *The Origins of Order.* Oxford University Press, Oxford.

Thompson, D.W. 1914. *On Growth and Form.* Dover Publications Inc., Nueva York.

Pedro Miramontes: Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, UNAM.