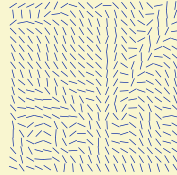


FORMA Y COMPLEJIDAD BIOLÓGICA:
REFLEJOS DEL ARTE DEL TAI CHI

DIEGO RASSKIN-GUTMAN
GRUPO DE BIOLOGÍA TEÓRICA
ICBIBE, UNIVERSIDAD DE VALENCIA



LA BÚSQUEDA
DE LA COMPLEJIDAD

Vassily Kandinsky, padre de la abstracción, profesor de la Bauhaus y una de las grandes figuras del arte contemporáneo, defendía la existencia de una «necesidad interior» que induce al artista, de manera inevitable, a generar su obra. Por supuesto que tanto la definición como la necesidad de la creación es hoy día, cien años después de la publicación de *De lo espiritual en el arte*, objeto de múltiples discusiones que ponen en duda hasta el concepto mismo de arte. Pero es interesante reflexionar sobre un impulso similar al científico, cuya necesidad interior es más obvia, traducándose en lo que podríamos denominar como una «curiosidad interior», una necesidad por conocer y por otorgar a los fenómenos naturales una base explicativa razonablemente objetiva que satisfaga su intelecto. La búsqueda de la complejidad en la naturaleza responde a esta curiosidad interior de manera directa y es alimentada por distintas bases conceptuales. Por un lado, esa búsqueda tiene un componente heredado de las religiones monoteístas occidentales donde el ser humano es considerado como centro de la Creación y, su cerebro, como la estructura más compleja del Universo. Esta última consideración es fácil de encontrar en cualquier libro de texto de biología y denota, cuanto menos, cierta falta de humildad ante la enormidad de la naturaleza. Por otro lado, la búsqueda de respuestas al problema de la complejidad res-

ponde al reconocimiento de que los fenómenos naturales poseen escalas de organización distintas y que la posibilidad de predecir un fenómeno fluctúa entre aquello que es certero y aquello que es imposible de anticipar. Hay muchos otros fundamentos para la búsqueda de la complejidad. Uno de ellos lo encontré dentro del arte del Tai Chi.

En noviembre de 2008 tuve la oportunidad de participar en un congreso sobre matemáticas y biología en la isla japonesa de Okinawa. Allí, frente al mar de China, sobre una arena plagada de corales, mientras meditaba practicando Tai Chi, me vino a la mente la vieja idea del *koan* de la metafísica oriental, donde una aparente pregunta paradójica conteniendo una analogía imposible, una metáfora inviable o una aporía esencial, obliga a pensar más allá, y, en mi caso, en los numerosos interrogantes de la ciencia y de la biología. Tiempo después, volví a pensar en el *koan* al reformular la pregunta siguiente, lugar común en la biología de los siglos XIX y XX: ¿está presente la complejidad del organismo en el huevo fecundado? La pregunta no es en realidad un *koan*, sino una pregunta científicamente válida. Pueden realizarse observaciones, puede calibrarse una idea de complejidad y pueden encontrarse razones para responder afirmativa o negativamente. Por ejemplo, el preformacionismo, con su clásica imagen del homúnculo apretujado dentro del espermatozoide afirmaba que sí, que todo estaba presente en aquella semilla y que la complejidad del individuo se mantenía durante el proceso de crecimiento. Por el contrario, la idea que competía con este determinismo dinámico de la embriología, la epigénesis, proponía que nada estaba hecho, sino que la complejidad se desdoblaba y emergía, poco a poco, a medida que el embrión pasaba por los distintos estadios del desarrollo. La biología moderna mantiene a la epigénesis como descripción válida del crecimiento embrionario, aunque se sabe que existen moldes moleculares «pre-patrones» de expresión génica que marcan el sitio exacto en el que algunas estructuras embrionarias van apareciendo. La constatación de que un proceso similar pueda haber ocurrido durante el proceso evolutivo dio lugar a la hipótesis de la recapitulación ontogénica, es decir, que los embriones durante el desarrollo pasaban por estadios «primitivos» de su herencia histórica, filogenética. Esta hipótesis ha generado múltiples controversias y, en la actualidad, se encuentra modificada como uno de los pilares de la evo-devo, ciencia que analiza la dinámica de la evolución en base a las similitudes encontradas durante el desarrollo. Lo que viene a constatar la evo-devo de hoy es que, en efecto, la complejidad de un ancestro se encuentra presente y regula la complejidad de una especie descendiente a través del desarrollo embrionario. Entonces, la pregunta (y mi *koan*) del siglo XIX encuentra su eco en una pregunta (y un nuevo *koan*) para el siglo XXI: ¿está presente la complejidad de una especie en su historia evolutiva?

Para mí, y espero que para el lector, estas dos preguntas, reconvertidas en los misterios del *koan*, me invitan a generar un esfuerzo de imaginación científica. La dinámica y el simbolismo de la práctica del Tai Chi, arte marcial milenario y espacio para la meditación, cuya im-

plementación física se la conoce con el nombre de «La Forma», puede también actuar como un *koan* y ayudarnos a vislumbrar algunos recovecos que aparecen en el camino de la complejidad biológica. Sin embargo, no hay nada más artificial que intentar responder a un *koan* con lógica y razonamientos científicos. Por ello, usaremos el Tai Chi como metáfora, como acción/expresión artística que evoca aspectos de la complejidad de los organismos. Esta elección está justificada por la profunda naturaleza conceptual de la práctica del Tai Chi, que encierra formas y símbolos que van recorriendo el espacio apuntando a los cuatro puntos cardinales mediante la continua realización de círculos. Cada movimiento es una ecuación del espacio circundante, un modelo complejo de la relación entre lo terrestre y lo celeste. El resultado es la auto-organización de un todo complejo, la auto-organización de la complejidad de La Forma. Los movimientos parten de una serie discreta y, su combinación, origina un espacio armonioso donde la mente del practicante puede escapar para buscarse a sí mismo. La formación de este espacio discreto sugiere algunos puntos en común con la organización del morfoespacio natural.

EL MORFOESPACIO NATURAL ES COMPLEJO
Y DISCRETO, COMO LA FORMA

La cuestión acerca de la complejidad del mundo y, en particular, de los organismos y del fenómeno evolutivo ofrece la posibilidad de reflexionar acerca de la generación de la organización morfológica. Como practicante e instructor de Tai Chi, esta cuestión evoca, además, otras cuestiones que se acercan a la mirada del arte. El practicante de Tai Chi busca lo mismo que el artista y el científico. Su necesidad interior, que emprende con cada movimiento un viaje de búsqueda personal y su curiosidad por comprender los pausados movimientos de esta práctica milenaria le instan a encontrar la armonía física por medio de posiciones precisas en el espacio. En la práctica del Tai Chi, los movimientos (deliberadamente lentos como para permitir un estado de meditación en quien lo practica) de las diferentes partes del cuerpo responden a un juego de tres armonías: mano/pie, rodilla/codo y cadera/hombros, que en cada instante mantiene la coherencia organizativa/formal del todo que supone el cuerpo humano. Como consecuencia, podría decirse que la complejidad de La Forma puede desgranarse en las armonías que presentan estos movimientos coordinados. Sin embargo, esto no es así: ese análisis de las partes no puede dar cuenta de la complejidad del todo, ya que la intencionalidad del practicante genera significados no deducibles de la simple observación del movimiento. Hay aún más, cada movimiento —64 en la forma larga del estilo Yang— posee un simbolismo que lo relaciona con algún objeto natural como las nubes, el sol, la luna, el viento

o un animal como el tigre, el mono, el gallo o el oso; o una planta como la del loto. Y si esto no fuese aún suficiente, la práctica colectiva del Tai Chi convierte a cada individuo en un elemento más, como si fuera la célula de un cuerpo, cuyos movimientos deben estar sincronizados con el resto de los practicantes, haciendo emerger una macroestructura en perfecta armonía. La complejidad se engendra a partir de principios básicos y limitados que surgen de la intención del individuo.

En el caso de la forma orgánica esa intencionalidad está ausente. Responde únicamente a una serie de restricciones evolutivas y a aquellas que están sujetas a la dinámica del desarrollo. La complejidad de los organismos y las múltiples —numerosas, pero no infinitas— formas que han adquirido durante el proceso evolutivo no posee objetivos intencionales (teleológicos) como en los movimientos del Tai Chi, sino que responden únicamente a un motivo generativo: la formación durante el desarrollo embrionario de estructuras que se van entrelazando y creciendo hasta formar el organismo. En esta dinámica se sucede una jerarquía de eventos que, como veremos, está sujeta a una serie de discontinuidades. La consecuencia final de esta dinámica y de este equilibrio entre lo permisivo y lo restrictivo son formas discretas en el espacio: no todas las complejidades son posibles. Es lo que denominamos la discretización del morfoespacio. Ni todas las formas son posibles ni todas las transformaciones pueden mantenerse en una dinámica evolutiva. Y si bien el substrato heredable de los organismos (la secuencia de bases de adenina, guanina, citosina y timina) pueden cambiar más o menos aleatoriamente entre sí, contribuyendo a formar complejidades genéticas casi ilimitadas, la codificación de los genes en proteínas funcionales es mucho más restrictiva. Y el comportamiento celular en un metazoo (un organismo pluricelular) lo es aún mucho más, sujeto, esta vez sí, a las mismas restricciones físicas generales que encuentro, por ejemplo, al mover las manos como las nubes (movimiento característico del Tai Chi). Como consecuencia, la forma orgánica evoluciona de un modo discreto, respondiendo a una lógica generativa que tiene que ver con las restricciones químicas y físicas del funcionamiento de las proteínas y estructurales tanto de las moléculas que componen las células como de las células que componen los tejidos, y así sucesivamente hasta formar el individuo.

LA JERARQUÍA GENERATIVA ESTRUCTURAL NO ES CONTINUA

Tanto en la escala temporal como en la escala espacial, el fenómeno vital aparece a lo largo de al menos diez órdenes de magnitud. Las opciones para generar complejidad son, pues, enormes. Además de estas escalas en las que aparece el fenómeno vital, hay algo singular en la organiza-

ción biológica, una organización jerárquica que podemos denominar de «bloques dentro de bloques» donde elementos pequeños forman parte de elementos más grandes, desde los átomos a los individuos, poblaciones, especies, tribus y otros rangos taxonómicos superiores. Hay una jerarquía generativa que tiene en cuenta los procesos dinámicos que generan los niveles de complejidad biológica y una jerarquía de partes que es más reduccionista, en el sentido de que presenta a la organización biológica como una sucesión de cajas rusas.

Esta distinción es importante. Bajo las premisas reduccionistas, los organismos pueden describirse como partes y sus interacciones. Dentro de este paradigma nos encontramos con la idea de que la biología en su conjunto puede reducirse a la biología molecular y ésta a la física de manera directa. Esto supone llevar a cabo saltos conceptuales que en ocasiones son difíciles de reconciliar con los datos biológicos. Bajo el paradigma organicista, por el contrario, se entiende que al efectuar la disociación de los componentes de los organismos se pierde la posibilidad de acceder (y por lo tanto, comprender) a las propiedades emergentes entre niveles. La visión de la biología en cuanto una composición de partes dentro de partes asume la existencia de reglas combinatorias específicas para cada nivel de organización. Es lo que comúnmente se entiende como reglas de auto-organización. Una descripción clásica de este tipo de organización describe un proceso donde las partes pequeñas se van anidando hasta formar partes mayores. Por ejemplo, los átomos componen las moléculas, las moléculas componen las partes subcelulares, las partes subcelulares componen las células, las células componen los tejidos, los tejidos componen los órganos y así hasta el individuo. En definitiva, esta descripción traza una línea continua entre átomos y organismos. La analogía también se lleva a cabo para reducir la complejidad de especies a poblaciones, grupos sociales, grupos familiares, individuos, y así hasta los átomos. Por el contrario, la jerarquía generativa pone de manifiesto una cuestión de interés: mientras nos movemos hacia arriba en la jerarquía de partes de átomos a especies, encontramos discontinuidades, puntos de rotura donde la generación de un componente a un nivel superior de organización ya no es posible. ¿Cómo surgen entonces estos nuevos niveles de organización? En realidad, no surgen de componentes más elementales, sino que allí donde la jerarquía está rota, los niveles se forman como un proceso recursivo y autónomo. Esto ocurre tanto a escalas del desarrollo embrionario como a escalas evolutivas. Encontramos cuatro niveles de generación recursiva: el genoma, la célula, el organismo y la especie (ilustrado en el diagrama). Estos cuatro niveles no pueden producirse como un ensamblaje de partes elementales (aunque están por supuesto constituidos por ellas), sino que necesitan una plantilla preexistente proporcionada por la propia estructura para producir un nuevo elemento. Los genomas se forman a partir de genomas existentes, por medio de la replicación enzimática llevada a cabo por las polimerasas, las células generan nuevas células a través de la mitosis, los individuos se reproducen para formar

otros individuos y las especies se originan a partir de especies preexistentes. La jerarquía generativa es un fenómeno netamente biológico que sólo puede reconocerse a partir de la aparición de la vida en la tierra. Una vez que se formó el primer genoma o la primera célula o el primer individuo o la primera especie, la jerarquía generativa ha seguido su acción hasta el día de hoy y seguirá ocurriendo mientras haya vida en nuestro planeta. En otras palabras, la vida se autoperpetúa en un continuo que (re)genera distintos niveles, discretos, de organización.

LA DIALÉCTICA ENGENDRA
LA COMPLEJIDAD DEL MUNDO

En la antigua tradición del Tao, la complejidad del mundo se establece a partir de la combinación de los opuestos: distintas mezclas del principio activo/pleno (Yang) con el principio pasivo/vacío (Yin) genera los denominados «10.000 seres», un número inopinado acerca de la biodiversidad vista desde la perspectiva del conocimiento chino de hace varios milenios. Increíblemente, esta confrontación entre lo pleno y lo vacío comienza en «la nada» (Wu chi) que, a través del Tai Chi, es capaz de generar tanto el Yin como el Yang. El símbolo del Tai Chi, el conocido círculo blanco y negro con círculos pequeños complementarios dentro de cada mitad, representa esa mezcla o combinación que hace que todo lo pleno posea lo vacío y todo lo vacío, lo pleno. De esa combinación nacen los elementos que forman los trigramas y hexagramas: líneas que aparecen como continuas o cortadas según sean Yang o Yin y que se combinan como si fueran ceros y unos, un código binario que representa el mundo immortalizado en el *Libro de los cambios* o *I Ching*.

Los caminos que llevan a «lo complejo» en el fenómeno biológico pasan por dinámicas de organización y auto-organización a escalas moleculares y celulares que se van integrando hasta formar el individuo. Más allá de la escala individual, existen otras escalas de organización que emergen a partir de la interacción entre individuos hasta constituir el todo contenido dentro de la Biosfera terrestre. En los aproximadamente 4000 millones de años desde el origen de la vida en la Tierra, la evolución biológica ha generado millones de especies, la mayoría de las cuales ya se han extinguido. Este proceso de transformación genealógica operó desde unos comienzos dominados por la vida unicelular, durante cerca de 3000 millones de años, hasta los últimos 1000 millones de años, cuando la vida sufrió una explosión de biodiversidad que culminó en la radiación del Cámbrico, hace aproximadamente 500 millones de años. Desde entonces, a pesar de la actividad sin freno de la dinámica evolutiva, poca cosa se ha inventado en cuanto a lo que se denomina «planes estructurales» de los seres vivos. Un hecho parece claro: la dinámica evolutiva ha generado distintas complejidades en todo este tiempo.

Singularmente, desde la aparición de la vida celular a la radiación de biodiversidad cámbrica, el incremento desde lo «sencillo» a lo «complejo» parece ser una apreciación certera, si bien no-lineal y discontinua.

La biología de los organismos y su evolución está sujeta a un diálogo entre la estructura y la función, junto con un sistema de mantenimiento y transformación de la información, el genoma. La estructura engloba la forma, el tamaño y la materia, mientras que la función se refiere a las acciones que llevan a cabo esas estructuras, que pueden ser de dos tipos: acciones para el mantenimiento de la estabilidad y congruencia estructural del organismo y acciones para responder a los desafíos del medio. Las primeras son estrictamente biológicas —por ejemplo, la fuerzas que se desarrollan entre las células de un epitelio para mantener la integridad de una glándula—, mientras que las segundas recorren un ancho abanico de posibilidades, desde las propias funciones biológicas como la obtención de alimento o la copulación, a las sociales y culturales como la búsqueda de pareja o la habilidad para tocar un instrumento musical.

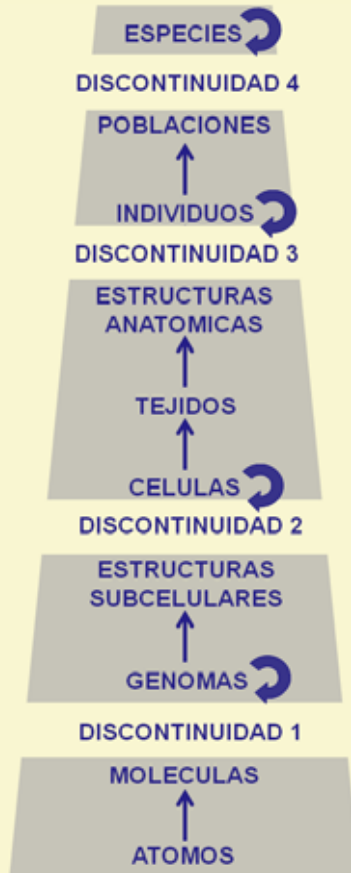
En la naturaleza, hemos sugerido cómo la jerarquía generativa forma la complejidad gracias a principios recursivos de repetición. La metáfora de la generación de complejidad como interacción entre contrarios va más allá de una mera analogía. En los seres vivos ocurren, en esencia, divisiones binarias que repiten de manera cuasi perfecta lo existente, proporcionando un punto de partida para las transformaciones futuras. El elemento más característico de la complejidad de la vida, el genoma, es un principio pasivo —Yin— que precisa de los complejos enzimáticos, principio activo —Yang— para manifestarse tanto para su replicación binaria como para su expresión y traducción en proteínas. La aparición de la división celular partió el todo en dos mitades y permitió la generación de la biodiversidad de los organismos pluricelulares, gracias a mecanismos de adherencia, una dinámica que se repite cada vez que un embrión comienza su andadura a partir de la primera división del huevo fecundado. Los individuos y las especies siguen esta pauta divisoria, permitiendo el cambio a lo largo del tiempo. Ontogenia y filogenia recorren los caminos de la complejidad biológica de manera incesante. La evolución no se detiene, es un principio vital que se aprovecha de esa dinámica. Es un perpetuo movimiento de formas que dibuja la complejidad del mundo. Como el Tai Chi.

Referencias

- Rasskin-Gutman D, Esteve-Altava B., 2009. «Modeling Evo-Devo: Broken Hierarchies and Multiple Scales of Organization and Complexity». In: Robert M. Sinclair, Klaus M. Stiefel, (eds.) *Multiscale Phenomena in Biology: Proceedings of the 2nd Okinawa Conference on Mathematics and Biology*. AIP Conference Proceedings 1167: 43-56.



DE LA SERIE «TAI CHI» BILDUMATIK
ABEL RASSKIN
2009



-1. DIAGRAMA-
KONPLEXUTASUN SORRERAREN ETENAK
HIERARKIA BILOGIKOAN

-DIAGRAMA 1-
DISCONTINUIDADES DE LA GENERACIÓN
DE COMPLEJIDADES EN LA JERARQUÍA BIOLÓGICA