

LOS RITMOS DE LA EVOLUCIÓN

Antonio José Miralles Aranda

«Lo importante no es que yo haya encontrado la verdad, sino que otros sigan buscándola».
Charles Darwin

Resumen: Todas las teorías precisan de un continuo debate que les permitan su desarrollo, y ni siquiera la teoría de la selección natural de Charles Darwin, debe escapar a tal cuestión. Numerosas investigaciones se centran en aclarar los factores que han podido influir en los diferentes ritmos evolutivos que se han producido a lo largo de la larga historia biológica de los seres vivos, así como de grupos actuales. Científicos en los campos de la genética, embriología, microbiología, de la cinética no lineal, la teoría de la complejidad, la termodinámica del equilibrio, etc., tratan de arrojar luz en tales cuestiones.

Palabras clave: evolución, neodarwinismo, biofísica, ritmos.

INTRODUCCIÓN.

La teoría de la evolución por selección natural, que centra la atención de este número de la revista *Isagogé* por cumplir 150 años de vigencia, sigue tan viva como en sus orígenes. Ya desde sus inicios, la teoría sufrió duras críticas, que fueron solventadas sobre todo desde el campo de la genética. La inmensa cantidad de pruebas recopiladas durante años, le otorgan a la teoría tal poder en la nuestra sociedad que nos cuesta horrores aceptar cambios en la misma, por pequeños que éstos sean. No obstante, es necesario que el debate siga abierto.

El foco principal de dicha discusión se centra en los distintos ritmos de la evolución y en los mecanismos responsables de los mismos. El neodarwinismo, parece presentar una visión demasiado reduccionista, y los mecanismos de deriva, aislamiento o mutaciones genéticas, sólo son capaces de explicar cambios graduales, constantes y sobre todo lentos, mostrando serios problemas para esclarecer la aparición de saltos en el registro fósil (el denominado saltacionismo o equilibrio puntuado¹), de estructuras altamente complejas en los albores en la evolución biológica (el código genético o el flagelo bacteriano), la enorme explosión cámbrica, la teoría de la endosimbiosis seriada de Lynn Margulis² en contraposición a la teoría autógena³, o las enormes diferencias en biodiversidad de grupos actuales, entre otros estudios, y que nos hacen plantearnos nuevos factores generadores de biodiversidad y de cambio en las especies, que lo complementen.

Lamentablemente, esta loable labor parece llevar adherida una puerta de entrada a determinados grupos radicalizados, con la única intención de reintroducir conceptos creacionistas y sin aportar nuevos datos científicos al respecto.

El último de dichos intentos se disfrazó con el nombre de Diseño Inteligente⁴ y contó con el apoyo de relevantes políticos en EE.UU.

A continuación pasaré a describir algunos de estos estudios:

¹ N. ELDREDGE y S. J. GOULD (1972): *Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. Models in paleobiology*. Freeman Cooper and Co.: 82-115. Ed. Schopf, Th.J.M.

² L. MARGULIS (2002): *Planeta Simbiótico. Un nuevo punto de vista sobre la evolución*. Ed. Debate. Madrid

³ C. DE DUVE (1996): «El origen de las células eucariotas». *Investigación y Ciencia*, Junio, pp. 18-26.

⁴ M. J. BEHE (2000): *La caja negra de Darwin: el reto de la bioquímica a la evolución*. Ed. Andrés Bello.

EL PAPEL DE LOS ELEMENTOS MÓVILES. “PARASITISMO GENÉTICO”

Máximo Sandín, profesor de Biología en la Universidad Autónoma de Madrid, se hace eco de los estudios de prestigiosos científicos como W. Ford Doolittle o F.J. Ayala y considera que los virus, los transposones y demás elementos móviles deben y debieron desempeñar una labor muy importante en la formación de nuevas especies y en el propio proceso de la evolución, viendo su proporción en los distintos genomas (el 45% del genoma humano está constituido por elementos móviles, aproximadamente un 10% por virus endógenos y mucho del restante ADN debe de haber derivado de copias de antiguos elementos transponibles que han divergido demasiado para ser reconocibles como tales)¹. Dichos elementos «parásitos» son un ejemplo más de lucha por la supervivencia, ya que usan o han usado la propia materia evolutiva (el ADN) para sobrevivir, convirtiéndose *per se* en nuevos mecanismos evolutivos y dotando de mayor complejidad al proceso.

Es evidente el papel que los genes juegan en la variabilidad y en su transmisión a sucesivas generaciones, pero si tenemos en cuenta que sólo una pequeñísima parte del genoma codifica a proteína realmente y ni siquiera dicha secuencia se expresa igual en cada ser vivo, ya que en parte depende de modificaciones posteriores en su maduración, es ciertamente difícil establecer correlaciones entre los genes y la complejidad del organismo. Este hecho se pone aún más de manifiesto cuando decimos que nuestro genoma sólo se diferencia un 1% con el del chimpancé, diferencia que parece ser más sustancial; al menos así se tiene en cuenta a la hora de establecer relaciones filogenéticas sobre restos fósiles. Así, las nuevas definiciones de especie basadas en estudios genéticos para establecer las relaciones filogenéticas, y que han llevado a modificar la situación de algunos organismos en dichas clasificaciones, deberían de ser replanteadas si finalmente se acepta que la importancia de los genes no es tal.

LA INNFLUENCIA DEL ENTORNO: HIPÓTESIS EVO-DEVO. LEYES DE CAMBIO Y ESTRUCTURA.

En el Neodarwinismo, los modelos estadísticos de la genética de poblaciones obvian, por su dificultad, la influencia del grupo sobre la supervivencia y el éxito reproductivo de los individuos. Y sin embargo, este dato parece ser cada vez más relevante, pues de lo contrario tales modelos acaban incumpliendo la condición de Markov² para una estadística predictiva fiable y así lo consideran un gran número de científicos.

Pero otra corriente el Ultradarwinismo, busca la inclusión de dichas interacciones en el propio genoma. Entre este grupo destaca la teoría del «gen egoísta» de Richard Dawkins³, en la cual todas las interacciones que se puedan establecer, por complejas que sean, quedan reflejadas en nuestro ADN, pues no son más que un mecanismo adaptativo (**adaptacionistas**) que nos permite mantener los genes generación tras generación. Las unidades adaptativas serían los genes y no los organismos, todos los caracteres de un organismo serían adaptativos y se deben asumir todos los pequeños cambios necesarios (**gradualismo**), ya que el tiempo y azar lo hacen posible.

¹ M. SANDIN (2006): *Pensando la evolución. Pensando la vida*. Ed. Crimentales SL.

ID. (1995): *Lamarck y los mensajeros. La función de los virus en la evolución*. Ed. Istmo. Madrid.

² En una serie de eventos, la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediato anterior.

³ R. DAWKINS (2000): *El gen egoísta*. Salvat Editores, S.A., 2ª edición. Barcelona.

Sin embargo hay innumerables ejemplos que demuestran que el medio influye en el fenotipo. El gen *eyeless* transferido de un ratón a una mosca inicia la construcción de un ojo no de ratón, sino de mosca, y dependería por tanto de su entorno y no sólo de su genoma.

Aun más decisivo se presume el valor de dicho entorno en los procesos de desarrollo. En una población la variabilidad se mide por los distintos fenotipos que se presentan. Sin embargo existe una enorme variabilidad si pensamos en las posibilidades de combinación que presentan los genes. Griffiths, Gray, Atlan, Koppel, Keller, Maynard-Smith y Alberch entre otros, opinan que dicha variabilidad está sin embargo restringida por los procesos de desarrollo, dan poca importancia al programa de desarrollo del genoma (que sólo aportaría ciertos datos iniciales del mismo) y otorgan una especial relevancia a todos los factores intracelulares y extracelulares¹.

Las interacciones ecológicas de los seres vivos y la distribución de las frecuencias alélicas se relacionan entre sí en las denominadas leyes de cambio. Gracias a ellas, se pueden calcular probabilidades de supervivencia de las distintas variedades genotípicas y fenotípicas una vez éstas ya existen. Las **leyes estructurales** regularían las posibles variaciones previas a su existencia, de las que nada sabemos. Las leyes estructurales deberían, por tanto plantear restricciones a las leyes de cambio y Waddington ya abordó dicho problema con los llamados paisajes epigenéticos, las canalizaciones de trayectorias ontogénica («creodos») y las cuencas con un estado mayor de estabilidad². En ellas se aplican la «teoría de catástrofes» de Thom o de «atractores en la geometría fractal» de Mandelbrot, precisando en ambas datos mecánicos y termodinámicos.

La embriogénesis parece el mejor modelo para teorizar sobre la importancia de dichas leyes y parece claro que cuanto más estudiamos la influencia de la topología y la geométrica en el desarrollo de embriones, más evidencias se tienen sobre su influencia en los genes responsables de su morfogénesis (ala del pollo, extremidades de los tetrápodos marinos, etc.). Según De Renzi, tales análisis parecen indicar que existe un umbral de variabilidad en las especies, atravesado el cual pueden darse alteraciones morfogenéticas relativamente bruscas que conduzcan a una especiación abrupta³ del tipo sugerido por la teoría del equilibrio puntuado.

Ambas teorías abrirían una vía para explicar la aparición de fenotipos idénticos en organismo de genotipo distinto, así como en la explicación de los cambios evolutivos no graduales.

EL PAPEL DEL CAOS. DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES.

Lilienfeld, Grassberger, Prigogine, Bak, Bennet, entre otros científicos de los campos de la Física y de la Matemática enunciaron, a partir de los años 60, teorías sobre el comportamiento impredecible de los componentes de sistemas que cuentan con pocos elementos. Cuando dichos elementos interactuaban de manera denominada **no lineal**, una pequeñísima variación en las condiciones iniciales, eran capaces de alterar completamente la evolución del sistema. Además pronto se observó que estos sistemas eran más frecuentes que los lineales y que siempre derivaban a sistemas caóticos (regidos por la Teoría del caos), o a sistemas capaces de organizarse y ganar en

¹ J. MAYNARD-SMITH (1986): *The Problems of Biology*. Oxford University Press

² C.H. WADDINGTON (1957): *The strategy of the Genes*. George Allen & Unwin Ltd.

³ M. DE RENZI (1996): *Problemática de la evolución morfológica: Adaptación y limitaciones internas*. Ed. Mira.

complejidad gracias al aporte de energía y/o materia externa. Estos últimos sistemas se denominaron **estructuras disipativas**¹.

Eigen, Winkler, Morowitz y Schuster relacionan el origen de la vida con la formación de estructuras disipativas por azar, en forma de complejos esquemas de interacción autorregulados entre las proteínas primigenias, denominados **hiperciclos**². Como ejemplos de hiperciclos estarían las rutas metabólicas iniciales y las moléculas autorreplicativas. Por lo tanto, éstas últimas no se habrían iniciado favorecidas por su estabilidad, homogeneidad o por su mayor poder catalítico, como cabría esperar bajo el prisma de la selección natural de los más adaptados propuesta por Darwin. Montero fue más allá, extendiendo la idea de otros «**accidentes congelados**»³, frutos del azar, para explicar la quiralidad de las moléculas orgánicas, la singularidad del código genético, explicando a su vez su universalidad. Dichos hiperciclos o accidentes congelados, una vez se produjeron, marcaron un camino evolutivo de no retorno.

Como decían los neodarwinistas la evolución trabaja sobre poblaciones, más concretamente sobre su acervo genético. Por lo tanto, necesitamos un grupo de organismos lo suficientemente grande para que estos procesos tengan lugar. Cuando esto no es así, podrían darse fenómenos de interacción no lineal, azarosos, que provocarían rápidos cambios sin valor adaptativo, pero que marcarían un camino de no retorno. Analizando en profundidad la teoría sintética, podríamos encajar estas ideas en la llamada especiación **peripátrica**, una versión especial del tipo de especiación alopátrica, que sucede cuando una de las poblaciones aisladas tiene muy pocos individuos. Por puro azar pueden predominar ciertos genes poco frecuentes, que provocarían importantes cambios y nuevas especies evitando toda posibilidad de retorno.

MECANISMOS DE DIFERENCIACIÓN CELULAR

La hipótesis central de Stuart Alan Kauffman se apoya en que los seres vivos, como sistemas dinámicos que son, tienden a aumentar su complejidad con tanta rapidez como les resulte físicamente posible. Su base experimental consistió en explicar los mecanismos reguladores de la diferenciación celular, aplicando el concepto matemático del «modelo de las redes booleanas con series cíclicas de estados, denominados **atractores dinámicos**»⁴.

Kauffman observó que había elementos que no se veían afectados por el sistema, mientras que otros eran cambiantes. Desde el punto de vista de la genética, las mutaciones, en su mayoría neutras, no alteran apenas el sistema, pero sí que aparecerían perturbaciones susceptibles de cambiar el estado de los elementos inmutables y provocar entonces una cascada de cambios en cadena, modificando así la estructura de la red y, entre dichas modificaciones, se podría provocar un cambio de atractor.

Según Kauffman éste hecho podría explicar la distinta diferenciación de los tejidos, con una misma célula de base y un genoma común, a partir de cambios en los atractores. Las células serían “comunidades autoconstructivas coevolucionarias de agentes autónomos” y conjetura con una vida originada por la transición en una red de reacciones químicas autocatalíticas, de la fase en estado subcrítico (sin rasgos vitales) a

¹ I. PRIGOGINE (1983): *¿Tan sólo una ilusión?* Ed. Tusquets. Barcelona.

² M. EIGEN, W. GARDINER, P. SCHUSTER y R. WINKLER_OSOWATITSCH (1981): «The Origin of Genetic Information», *Scientific American*, 244, nº 4, pp. 78-94.

³ F. MONTERO, J. C. SANZ y M. A. ANDRADE (1993): *Evolución Prebiótica: el Camino hacia la Vida*. Eudema.

⁴ S. A. KAUFFMAN (1993): *The origins of order. Self-organization and selection in evolution*. Oxford University Press.

otro supercrítico (con emergencia de la vida). A medida que se fue incrementando la diversidad de moléculas orgánicas, la diversidad de reacciones químicas posibles entre ellas creció mucho más deprisa. Fue tal la cantidad de reacciones que es prácticamente inevitable la aparición de un conjunto interdependiente de ellas. Desde este punto de vista, la aparición de sistemas colectivos autorreproductores de moléculas es una consecuencia natural en sistemas químicos suficientemente complejos.

Estos agentes autónomos, en términos físicos, realizan al menos un ciclo termodinámico completo y están fuera del equilibrio. Por lo tanto, no es posible utilizar la entropía como magnitud para su estudio. Al alejarse del equilibrio, aumentan las posibilidades de explorar nuevos estados, crecen sus facultades adaptativas y coevolucionan, influyendo unos en otros. Cada nivel de complejidad presenta sus características y sus leyes peculiares, que no reducibles al nivel anterior, pero sí muy influyentes unos en otros. Bajo este punto de vista, si consideramos a los organismos vivos como sistemas dinámicos en permanente desequilibrio, debemos asumir que la formación de los taxones superiores y los distintos niveles de complejidad se deben a una reorganización de los mecanismos reguladores y no a una simple ampliación en la escala de los procesos microevolutivos como afirman los neodarwinistas.

LAS INTERACCIONES INTRA E INTERESPECÍFICAS

La aparición del sexo y la lucha por la supervivencia son factores que sin duda aceleraron los procesos de selección natural y favorecieron la aparición de nuevas especies. Pero recientes estudios parecen indicar que su poder está ampliamente subestimado. Cada vez son más numerosos los datos que correlacionan la enorme biodiversidad actual de ciertos taxones de insectos, entre ellos los ditiscidos (un grupo de coleópteros), donde la selección sexual tiene una importancia vital, debido a la feroz lucha que se establece entre el macho y la hembra por mantener sus estrategias reproductivas: los denominados conflictos de intereses¹.

Estos acelerarían enormemente los tiempos de evolución, como ya se observara en la denominada carrera armamentística entre los depredadores y las presas, y en los mecanismos de coevolución, en la lucha por la supervivencia, incluidos y ya asumidos por la teoría sintética, en la denominada hipótesis de la Reina Roja.

En estudio del propio mecanismo de la gametogénesis, también conduce al llamado impulso meiótico (meiotic drive), o más con carácter general "conflicto intragenómico". La selección natural clásica, no sólo incluye un proceso de competencia entre individuos dentro de una especie y entre especies dentro de un ecosistema, además podemos considerar una competencia entre genes dentro de un genoma, es decir, entre las partes de un mismo individuo. Esto es posible porque cada individuo produce miles o millones de gametos (óvulos o espermatozoides, según su sexo), y cada uno con una combinación distinta de genes. Y hay genes que sesgan a su favor la producción de gametos, de modo que se aseguran su presencia en más de la mitad de los espermatozoides o los óvulos, que es lo que les correspondería por azar. Estos genes son auténticas bombas evolutivas, porque pueden imponerse en una población en pocas generaciones aun cuando no hagan nada beneficioso para el individuo que los alberga. Los demás genes se ven forzados a adaptarse para convivir en el mismo genoma que ellos, y esto conduce a las poblaciones por caminos separados aun cuando sus entornos sean similares.

¹ K. B. MILLER (2003): «The phylogeny of diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae) and the evolution of sexual conflict », *Biological Journal of the Linnean Society*, 79, pp. 359-388.

Como ejemplo se pueden citar las subespecies de *Drosophila pseudoobscura*, donde se ha demostrado que un solo gen (llamado *overdrive*) es responsable a la vez de la esterilidad de los híbridos entre las dos subespecies, y de causar su propia representación en los gametos por encima del 50% que le correspondería por azar. Es una forma de adaptación al ambiente genómico interno y una fuerza importante en la especiación.

LOS GRANDES CAMBIOS A ESCALA PLANETARIA

J. Sampedro, siguiendo la línea de M. Benton, consideran que^o los factores citados con anterioridad, actúan sólo en ecosistemas locales y durante períodos cortos, y que existen otros factores como la tectónica, la oceanografía o la climatología¹, que explican pautas en la evolución a gran escala. Según Benton, los modelos del tipo Reina Roja no explican un aumento de la complejidad biológica, la colonización de nuevos hábitats (como la tierra firme), o las explosiones de radiación biológica (como la explosión cámbrica), sino que hay que basarse en la geología (por ejemplo, la fractura del supercontinente Pangea hace 250 millones de años), o en los cambios climáticos (se han encontrado correlaciones entre claros aumentos en el plancton marino y bajas temperaturas en sus aguas).

Esta teoría se ha dado a conocer como “bufón de corte²”. Así los cambios dramáticos e inesperados, que se han ido sucediendo en numerosas ocasiones en nuestra historia, podrían abrumar a los procesos normales de la selección natural y poner a cero el reloj evolutivo, como ya predijo Steve Gould.

CONCLUSIÓN

La teoría de la selección natural supuso una enorme revolución científica, aportó una explicación sencilla, creíble y sobre todo basada en datos experimentales al origen de las especies, que llegaron a convencer, aunque varios años después, a la comunidad científica y a la sociedad en general. Pero los mecanismos que determinan el cambio, parecen mucho más amplios que la simple mutación genética, transmitida entre las poblaciones.

El principio de economía o la llamada *Navaja de Ockham*, «Pluralitas non est ponenda sine necessitate³», no parece aplicable en esta teoría, pues la complejidad de la vida es tan enorme que a veces se nos antoja inalcanzable. Una vez más J. Maynard-Smith da en la clave cuando dice: «Una vez más se evidencia que el genuino significado biológico no reside en la secuencia genética misma, sino en el sistema completo⁴».

Parecen haber más variables en la ecuación, variables que deberán despejar nuevas ramas de la Física, la Química y la Matemática, de las que he expuesto sólo una pincelada.

La cita con la cual comencé este artículo del propio Darwin así lo dice. Él nos iluminó por primera vez el camino, pero nos queda mucho por recorrer.

¹ J. SAMPEDRO (2006): *Deconstruyendo a Darwin, los enigmas de la evolución a la luz de la nueva genética*. Ed. Crítica. Barcelona.

² Los bufones sólo pretenden complacer a los poderosos, y jamás cambian sus números a menos que se vieran forzados por una catástrofe.

³ La pluralidad no debe ser formulada sin necesidad.

⁴ J. MAYNARD-SMITH (1976): «Group Selection», *Quarterly Review of Biology* 51, pp. 277-283.