

La síntesis moderna en Biología. Eclecticismo o la complementariedad de un gran paradigma

Francisco F. Pedroche*

INTRODUCCIÓN. LA BIOLOGÍA CONTEMPORÁNEA

El siglo XXI ha nacido con el compromiso de establecer un nuevo orden de ideas en todo lo que nos rodea, incluyendo por supuesto a lo que hace diferente a este planeta de otros: la vida, su origen, las diferentes formas de su expresión, su funcionamiento, sus circunstancias, sus momentos y su futuro incierto, en este mundo llamado Tierra. Esta anomalía cósmica ha sido tradicionalmente estudiada por la ciencia de la Biología, la cual se ha ido transformando substancialmente en los últimos años.

La historia natural dejó de serlo con las aportaciones de Darwin y Wallace, quienes convirtieron el estudio de la vida en un gran reto y de esta manera surgió la Biología como ciencia. El desarrollo de la teoría sintética de la evolución, la síntesis moderna, motivó que el estudio de los seres vivos se hiciera a la luz de ella. Ahora la Biología contemporánea, cimentada en esa síntesis y enriquecida con la aportación de información proveniente de campos de conocimiento diversos, funde a la genómica con la bioinformática, la genética evolutiva y otras herramientas para brindar explicaciones novedosas a paradojas que no podían haberse resuelto con la biología tradicional.

A manera de ejemplo, algunos de los supuestos de esta síntesis empezaron a derrumbarse a partir del año 1970 con

el descubrimiento de una variación genética extraordinaria, misma que no era resultado de una evolución estrictamente por selección natural. Se encontró por ejemplo, que las células han incorporado en su historia, genes, elementos genéticos móviles e incluso organelos de orígenes diversos, pero en la transformación de la ciencia de la Biología hay mucho más que sólo la adición de la tecnología genómica a las estrategias comunes de experimentación. Un elemento importante de la Biología contemporánea es la interdisciplinariedad y los esfuerzos por fundir datos e información de dentro y de fuera del campo de las ciencias de la vida como: el estudio del envejecimiento o la muerte celular denominada apoptosis, la permanencia de la reproducción asexual en una gran cantidad de organismos, o bien la epigénesis y el desarrollo de una concepción de evolución en términos de vecindad celular o tisular. El estudio de la relación del genoma con el ambiente, la regulación de las expresiones fenotípicas y aún el conocimiento de la posible transmisión de características adquiridas o dependientes del ambiente.

Como se puede apreciar, parecería que la Biología contemporánea se ha volcado sobre lo intraindividual y mucho de ella en relación directa con el ser humano, pero no olvidemos que las especies y los recursos naturales no son inagotables como se pensó por muchos siglos. El compromiso que se menciona en el primer párrafo de esta introducción no es sólo para con los humanos, como muchos de estos piensan. Las Universidades, entre ellas la Universidad Autónoma Metropolitana, incluso han insistido durante estos años del siglo XXI que debemos recuperar nuestro espíritu hacia la sociedad y han querido

* Quisiera agradecer la invitación del Dr. Mario Mandujano para participar en este interesante proyecto. También el Dr. Mandujano y el Dr. Mariano García Garibay contribuyeron con algunas ideas y en la discusión de ciertos temas que se tratan en la presente contribución.

circunscribir los problemas nacionales también solamente en la esfera de lo humano. ¡Mal añejo de ver todo a través de esos ojos!

La intención del presente escrito no es hacer un análisis profundo y exhaustivo de los orígenes, caminos y resultados de la síntesis moderna, para ello ya existen excelentes aportaciones de diversos autores. Más bien, en su calidad de divulgación, la contribución presenta un repaso histórico de los principales eventos en el pensamiento evolutivo, algunos de los personajes más destacados, puntualiza las principales contribuciones o puntos relevantes de cada periodo y finalmente, pretende presentar un panorama del presente y del futuro de las consecuencias que ha tenido esta síntesis. Sin olvidar la parte medular de la teoría sintética de la evolución: la vida y como ella se transforma para mantenerse actualizada y vigente.

¿Los hallazgos en las diversas ramas de la ciencia, principalmente la Biología *sensu lato*, complementan o convierten esta teoría en un visión ecléctica del proceso de evolución? o ¿la síntesis es ya obsoleta y requiere una reformulación o debe ser sustituida por otra? Estas dos preguntas, materia del título de este escrito, son tocadas superficialmente al final, pero en realidad son tema de reflexión para los años venideros.

UN POCO DE HISTORIA

La síntesis moderna, como también es conocida la teoría sintética de la evolución, tiene sus fundamentos en el trabajo de Charles Darwin (1809-1882) y los naturalistas del siglo XIX. Ellos por supuesto utilizando, como materia prima, las ideas que desde el origen de los tiempos del razonamiento humano se reúnen en las obras de Platón (427-347 a.n.e.). En éstas la vida, manifestada en las especies animales y vegetales, era eterna e inmutable, obviamente inagotable. Estos pensamientos sobrevivieron por casi veinte siglos, igual que la existencia, imperturbables. Toda la vida y sus manifestaciones tenían una esencia y el trabajo de los naturalistas era encontrar esa esencia; por ello, esta etapa se conoce como esencialismo, idealismo o tipología. Esta última concepción fue llevada a los extremos por los taxónomos de esa época al elegir para cada especie un tipo, el organismo más representativo de esa esencia, imbuida en los tejidos de cada grupo o en el plan estructural de la especie, este último también conocido con el nombre de arquetipo. Ejemplos de esta corriente son Cuvier (1769-1832), Agassiz (1807-1873) y Goethe

(1749-1832), quienes creían que existía el pez ideal, la rosa ideal, el humano ideal. Sin olvidar por supuesto las ideas de progreso y perfección ya vislumbradas con anterioridad, la primera sobretodo por Leibniz (1646-1717), en su ley de la continuidad; la segunda, con sus raíces en Aristóteles (384-322 a.n.e.), pareciera haber sido llevada con cierta amplitud por Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) en su *Filosofía zoológica* (*Philosophie Zoologique*, 1809).

Un científico británico al cual debemos el concepto de homología, no como hoy se concibe, pero sí con la idea de que una estructura se puede manifestar de formas diferentes, fue Richard Owen (1804-1829). Aún sin saberlo a ciencia cierta, literalmente, él percibió que los arquetipos no eran fijos y únicos sino que para un brazo hay equivalencias en los diferentes organismos, luego entonces la posibilidad de cambio existe.

Muchos trabajos acumularon evidencia de que el cambio era posible, pero no de qué manera se daba ese cambio. Parecería que la primera etapa del razonamiento humano, el qué de las cosas estaba parcialmente resuelto, ahora la pregunta que resonaba en todas las mentes del siglo XIX era el cómo ocurre la transformación en los seres vivos. Podríamos decir que en los años venideros la Biología, término que por cierto fue utilizado por primera vez, en el sentido actual, por Lamarck¹ y que antes se conocía como historia natural, pasó de ser una ciencia descriptiva a una interpretativa. Los pasos definitivos para que esto ocurriera fueron dados por el mismo Lamarck, Charles Lyell (1797-1845), Alfred R. Wallace (1823-1913) y Charles Darwin.

¿Cómo explicar estos cambios? ¿Cuál era la fuerza que los impulsaba? ¿Qué consecuencias tendrían los cambios en el futuro de las especies?

Aunque bajo la influencia de *scala naturae*, Lamarck postuló, lo que de acuerdo con David Hull, son los primeros intentos por formular una teoría de la evolución. Este naturalista francés mencionó tres mecanismos diferentes para la transformación: generación espontánea para los organismos más simples, la existencia de una fuerza que compele a los seres vivos a ser más complejos y la herencia de caracteres adquiridos —aspecto por el que Lamarck es muy bien conocido— (herencia lamarckiana). Como es costumbre en la ciencia, ante un paradigma nuevo o diferente no dejan de existir las críticas y precisamente en este caso dos oponentes a estas posturas fueron Robert Chambers (1802-1871) y Lyell. El primero, contraponiendo a la herencia de caracteres adquiridos la posibilidad de

que a nivel embriológico, algún mecanismo no conocido pudiese cambiar el programa de desarrollo dando lugar a descendientes con alguna modificación. Quizá estas ideas son la raíz para la epigénesis moderna y para la corriente, muy en boga en el siglo XXI, del evo-devo. La explicación de Lyell tenía una perspectiva diametralmente opuesta, al considerar que la transformación de las especies estaba motivada por una causa externa, no interna como en el caso de Chambers.

El pensamiento dominante entre los geólogos de esa época concebía a las nuevas faunas y floras como el resultado de sucesivas creaciones a lo largo de tiempo geológico. Esto era debido a una extinción masiva que daba lugar a un repertorio biológico nuevo, la corriente era conocida como catastrofismo. Este prontuario, evidenciado estratigráficamente, tenía una condición muy importante: mostraba nuevamente un incremento en la complejidad. Los ensamblajes antiguos eran simples y conforme nuevas formas aparecían, progresaban morfológicamente dando un tipo de direccionalidad a la evolución. Sin embargo, Lyell no era creyente de estas disertaciones basadas en catástrofes, sino más bien de cambios geológicos graduales y cíclicos que de ninguna manera daban por resultado una progresión en los organismos. Aun así, Lyell fue un creacionista y esencialista, partidario del *Uniformismo*, corriente que asume que los procesos que se dieron en el pasado, son los mismos que se pueden observar operando en el presente. El presente es la llave al pasado pues se supone que las cosas continúan tal cual fueron en el inicio del mundo.

En este sentido, el razonamiento de Lyell era opuesto a la evolución, pero aportó a la teoría que se venía gestando varios ingredientes necesarios: a) que los procesos involucrados en la biodiversidad son naturales, b) que estos mecanismos son graduales y algo fundamental del pensamiento biológico: c) que el tiempo es una dimensión determinante a considerar en estos procesos.

Los Principios de Geología (*Principles of Geology*, 1830-1833) de Charles Lyell serían una lectura obligada para dos personajes no tan distantes, ambos ingleses, que con historias y orígenes diferentes estarían hermanados por la Naturaleza y tendrían este objeto en la vida: no seguir los *Principios* sino buscar la forma de demostrar que la mayoría de sus postulados estaban mal. En términos popperianos, falsearlos. Esta tarea los llevaría a converger intelectualmente para crear uno de los más grandes paradigmas de la historia: la selección natural como el principal motor de la evolución.

Aunque con sus propias palabras Darwin menciona que nació naturalista, no fue sino hasta un año después de su regreso de la travesía de El *Beagle*, alrededor de 1837, cuando se convierte en un verdadero evolucionista y en 1838 concibe la selección natural como el fundamento de su teoría. Sin embargo y como todos sabemos, pasan 20 años antes de su publicación formal. Por su parte, Wallace se convierte en naturalista cuando cuenta aproximadamente con 13 años de edad, viaja con Henry Walter Bates al Amazonas en 1848 para reunir datos suficientes y resolver el problema del origen de las especies, pues a diferencia de Darwin, Wallace se encontraba convencido de la mutabilidad de los seres vivos antes de emprender este viaje. Quizá esta convicción provenía de su condición de no cristiano.

La lectura por ambos del trabajo de Malthus, *Ensayo sobre el principio de la población* (*Essay on population*, 1798), en el que se expone el principio según el cual la población humana crece en progresión geométrica, mientras que los medios de subsistencia lo hacen en progresión aritmética, en momentos y circunstancias diferentes, parece haber sido el gatillo que llevó a estas dos mentes a concluir de manera similar en cuanto a la selección natural y el concepto de lucha por la existencia o la desaparición del más débil. Como se puede ver, el contexto es principalmente ambiental (ecológico) pues hay una relación directa con el aprovechamiento de recursos y la regulación del tamaño de la población, incluyendo la competencia entre especies.

El hecho es que la coincidencia de que Darwin hubiese terminado su trabajo sobre balanos (Crustacea, Cirripedia) durante 1854 y haya retomado de nueva cuenta su manuscrito sobre el origen de las especies y que justo en 1855 Wallace publicase su trabajo sobre la introducción de nuevas especies, hace pensar que la teoría de la evolución como idea que explica una realidad difícil de no ver, se venía gestando simultáneamente en varios lugares y en varios tiempos como la vida misma en su origen. Independientemente de los personajes involucrados y de las circunstancias que los llevaron a la conformación de este paradigma, es importante preguntarse: ¿Cuáles son los puntos relevantes de esta gran propuesta?

- Las especies son variables o más bien, los individuos que pertenecen a esas especies. El cambio se puede observar, registrar y medir; sin embargo, este cambio

es a nivel de fenotipo. Aparece aquí el germen de una idea que se desarrollará más adelante: de que existe una **unidad de cambio**.

- Algunos de estas variaciones o cambios se heredan, es decir pasan a sus descendientes. La forma más sencilla de definir evolución es precisamente esta: descendencia con modificación. Con este principio se establece la línea ancestro-descendiente y la percepción de **transferencia y distribución de las variaciones** entre los individuos de un mismo grupo.
- Con la intervención de generaciones de individuos, los cambios se suceden poco a poco. De esta forma las variaciones son graduales, no se dan a grandes saltos. Este principio corresponde al tercer elemento de la teoría: **el tiempo**.
- En cada generación se producen más descendientes de los que se mantienen vivos, luego entonces este crecimiento debe estar regulado de alguna manera.



Hermenegildo Martínez

Del elemento individual se deriva el componente grupal, la lucha por la existencia rebasa al individuo e involucra la subsistencia de un número de ellos que puedan asegurar la permanencia de la especie. Surge de esta forma el **pensamiento poblacional**.

- Proporción de cambios variable. La distribución diferencial de la variación es resultado de una reproducción no azarosa, por lo tanto tampoco la sobrevivencia es aleatoria y los organismos que cumplen estas dos características parecen ser los que tienen las variaciones más favorables, así la **selección natural** asegura la mayor eficiencia posible. Eficacia de los **caracteres adaptativos**.

Además, Darwin y Wallace introdujeron, de acuerdo a Mayr, una aproximación completamente nueva al problema del evolucionismo, la dimensión horizontal (geográfica) adicional a la dimensión vertical (temporal) que había sido el centro de atención de sus predecesores. Este nuevo paradigma distingue entre los resultados de la evolución que se manifiestan en patrones: de diversidad (faunísticos o florísticos), geográficos (locales, regionales o mundiales), de parentesco (genealogía o filogenia) e históricos (paleontológicos y estratigráficos), de los procesos —aunque varios de ellos aun no se concebían o conocían— que generan dichos resultados. Pero mejor aun, y como se apuntaba con anterioridad, de un proceso que se percibía como lineal, en los tiempos previos a Darwin y Wallace, se torna en circular con la teoría de la evolución. Esta espiral, más que un redondel, se inicia con la variación, la distribución de esa variación, la selección de los variantes y como consecuencia, el mejor desempeño de los seleccionados, que en palabras de Darwin eran los más aptos.² Nuevamente estos seres aptos, ya variados, varían y regresarán al caracol de la evolución.

Una de las grandes ventajas de esta hipótesis evolutiva es que sus postulados se pueden verificar de manera independiente, *conditio sine qua non* de toda teoría científica.

Todo lo que se ha mencionado anteriormente tiene sus fundamentos en las obras generadas por Darwin y Wallace. Del primero *Origen de las especies por medio de la selección natural o Conservación de las razas en su lucha por la existencia* (*The origin of species or On the origin of species by means of Natural Selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*, 1859), del segundo *Sobre la ley que ha regulado la introducción de nuevas especies* (*On the law which has regulated the introduction of new species*, 1855), obra que

fue complementada por una suplementaria denominada, *Sobre la tendencia de las variedades a apartarse indefinidamente del tipo original* (*On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type*, 1858), en esta última el autor enfatiza el papel de la selección natural como proceso en la evolución.

TEORÍA SINTÉTICA DE LA EVOLUCIÓN

El gran paso se había dado, un nuevo paradigma existía para explicar la evolución. Este paradigma se dispersó, se analizó, se discutió y se criticó, en algunos casos con gran severidad, durante los últimos años del siglo XIX y los primeros del XX. Durante este tiempo muchas de las preguntas que carecían de respuesta, en los trabajos de Darwin y de Wallace, se mantuvieron en el aire ¿Cuál es la fuente de la variación presente en los organismos y como ésta se lleva a la prole? ¿la evolución es gradual o por saltos? ¿la evolución se inicia en individuos, poblaciones o en especies? ¿qué es una especie? ¿la distribución geográfica es producto también de la evolución? ¿es necesaria una barrera geográfica para la formación de especies nuevas? ¿porqué ciertas especies se extinguen? ¿cuál es el papel del aislamiento?

Como se pensaba antiguamente y durante el tiempo de Darwin-Wallace, la herencia significaba la unión de dos individuos con la consecuente mezcla de sus caracteres (*blending inheritance*), lo que lleva a una dilución o decremento de la variación y no a su incremento. Esta postura fue debatida y resuelta por el famoso Johann Mendel (1822-1884), conocido como Gregorio después de que fue ordenado sacerdote y quien en 1866 había publicado un manuscrito en donde explicaba su teoría de la herencia particulada contraponiendo a la idea mezcla, la de transmisión de partículas que pasan de una generación a otra sin alterarse. Desagraciadamente el trabajo de Mendel, *Experimentos sobre híbridos de plantas* (*Versuche über Pflanzenhybriden*, 1866), no fue extensamente conocido, aunque si raramente citado, y no fue sino hasta 1900, que digamos es redescubierto por tres botánicos: de Vries (1848-1935), Correns (1864-1933) y Tschermak (1871-1962). Estos investigadores, al igual que los creadores del paradigma de la evolución, llegan en cuestión de meses a publicar en lugares independientes conclusiones similares basadas en el trabajo “perdido” de este religioso. Aunado a esta contribución se generaron algunas otras posibles respuestas a la pregunta del cómo, entre ellas destacan el neo-lamarckismo, la teoría de la ortogénesis y la de la mutación.

Pasaron treinta años de revolución intelectual alrededor de todas estas evidencias y datos para que tuviéramos otro gran salto en la historia de la evolución como hipótesis-teoría-ley o al mismo tiempo un concepto-proceso-resultado. La herencia es un juego de probabilidades y proporciones. Por estas razones, para descifrar el juego era imprescindible la participación de las matemáticas; así durante los años 1930-1940 la estadística, la genética de poblaciones y la biomatemática aparecen en el escenario. Algunas aproximaciones de la genética de poblaciones partieron del supuesto de que las poblaciones en la naturaleza eran lo suficientemente grandes como para ser consideradas de tamaño infinito, pero al mismo tiempo habría que considerar el efecto de aquellas que eran muy pequeñas en el proceso evolutivo, dos puntos de vista opuestos pero complementarios. Se evaluaron las presiones de selección, que antes se consideraban poco relevantes en evolución y se determinó que son realmente importantes en el curso de algunas poblaciones. Por primera vez se analizó con cuidado el efecto de un individuo o varios de ellos sobre otros de la misma población y sus repercusiones en el comportamiento de los miembros de una especie, por ejemplo el altruismo (si es que existe).

El resultado matemático de estas investigaciones requería, al igual que hoy en día, de su traducción al lenguaje ordinario para que otros biólogos pudieran aplicar los resultados brindados. La posibilidad de poner a prueba las formulaciones numéricas quedo a cargo de biólogos de campo y laboratorio que a través de la genética, la embriología, la fisiología, la sistemática y sus manifestaciones en poblaciones animales, vegetales y microbianas cuestionaron la existencia de especies en la naturaleza y la naturaleza de la evolución adaptativa (mutación + selección natural), que la mutación y la recombinación son las principales fuentes de variación. La teoría sintética de la evolución es un ejemplo temprano de las bondades del trabajo interdisciplinario y multidisciplinario y un prototipo de la transdisciplinaria.

Como resultado de estos esfuerzos, la síntesis moderna postuló: a) que el fenotipo es diferente del genotipo, b) los caracteres adquiridos no se heredan, c) las variaciones hereditarias están basadas en partículas (hoy conocidas como genes) que pasan entre las generaciones, d) estas partículas mutan comúnmente a una tasa baja, e) el cambio evolutivo es un proceso poblacional, f) la selección natural puede ocasionar pequeñas o grandes diferencias entre especies, g) esta selección puede generar nuevos fenotipos, h) las poblaciones naturales son entes genéticamente variados y



Hermenegildo Martínez

pueden evolucionar rápidamente cuando las condiciones ambientales cambian, i) las poblaciones de una especie en regiones geográficas diferentes difieren en características que tienen sustento genético, j) especiación es el origen de dos o más especies a partir de un solo ancestro, por mencionar los más importantes.

Las consecuencias de estos postulados se pueden apreciar en varios aspectos; por ejemplo, la unidad evolutiva es la población, mientras que el individuo es la unidad de cambio. La variación que se origina por mutación se amplifica por la recombinación entre alelos en *loci* diferentes. Las proporciones de genotipos dentro de una población pueden ser azarosas (deriva génica) o debida a una reproducción mayor de ciertos genotipos sobre otros. Hay evidencia de que los *taxa* superiores se originan por una acumulación prolongada y secuencial de diferencias pequeñas más que por cambios drásticos debido a mutaciones.

En síntesis, la teoría contemporánea involucra la genética de poblaciones. Todos los participantes de esta síntesis

argumentan que la mutación, la recombinación, la selección natural y otros procesos operan intraespecíficamente (microevolución) y explican el origen de especies nuevas así como los hechos principales y a largo término de la evolución (macroevolución). Nuevamente y como apuntábamos anteriormente era necesario pasar de una teoría de la evolución descriptiva a la interpretativa del cómo y hasta que punto de los por qué de los procesos.

Entre los “sintéticos” de formación matemática destacan Fisher (1890-1962), Haldane (1892-1964) y Wright (1889-1988). Otros contribuyentes fueron el genetista Dobzhansky (1900-1975); los zoólogos J. Huxley (1887-1975), Mayr (1904-2005) y Rensch (1900-1990); el botánico Stebbins (1906-2000) y el paleontólogo G. Simpson (1902-1984).

LA POST-SÍNTESIS

Muchos consideran que las teorías científicas son definitivas y que la única forma de moverse de ellas es desechándolas, pero la ciencia y como hoy se ha enfatizado en la biología filogenética, lo que se establecen son hipótesis que pueden ser falseadas para dar paso a una “actualización” que con la suma de evidencias nuevas estas hipótesis se amplían y su campo de circunscripción se ve modificado. A continuación y sin el afán de ser exhaustivo, se presentan algunos ejemplos de los campos que se han construido y enriquecen la síntesis moderna.

La teoría sintética de la evolución parecía en un principio resolver la mayoría de las preguntas que se formularon; sin embargo, con el paso de los años algunas de sus aseveraciones fueron cuestionadas. Un ejemplo es que se consideraba a la mayoría de las mutaciones como ligeras o pequeñas (micromutaciones) y que cualquier cambio mayor (macromutaciones) en un organismo traía como consecuencia su muerte. Pocas mutaciones eran neutrales. A este respecto Kimura (1924-1994) postuló durante los años 1960, que la causa principal de cambio evolutivo, a nivel molecular, era la fijación al azar de mutaciones selectivamente neutras. Para él, la mayoría de las mutaciones eran neutras y solamente algunas pocas tenían efectos positivos o negativos. Estudios posteriores sobre la naturaleza del ADN confirmaron que la mayor parte del contenido de este ácido nucleico es de carácter no codificante y con regiones altamente conservadas. Adicionalmente los alelos pueden ser neutros con respecto a las proteínas producidas. Muchos estudiosos de los 1960 consideraron a la teoría neutralista

de la evolución molecular como la propuesta que sustituiría a la síntesis moderna.

Otro reto importante a la síntesis fue desarrollado por Eldredge y Gould en 1972 al recuperar parte del saltacionismo en un modelo llamado del equilibrio puntuado. Estos autores observaron, como lo habían hecho otros estudiosos en el siglo XIX, que en el registro fósil especies nuevas aparecían repentinamente y continuaban sin cambio por periodos prolongados hasta extinguirse aparentemente de la misma manera en que habían aparecido, abruptamente. La diferencia fue que en el caso del siglo XIX estas elucubraciones se pensaba eran el resultado de un registro paleontológico incompleto. Eldredge y Gould alegaron, por el contrario, que el registro fósil reflejaba de manera certera el proceso de especiación. El concepto de efecto fundador establecido por Mayr en los 1950 parecía explicar en parte este fenómeno observado.

Los dos casos tratados arriba incluyen los aspectos extremos, hasta cierto punto, en la escala de la vida el primero directamente sobre el ADN, los alelos y los genes, el segundo sobre fósiles que son la preservación de la morfología externa de ciertos organismos. Sin embargo, existen momentos importantes entre estas dos manifestaciones que también fueron y son materia del estudio entre el genotipo y el fenotipo. El desarrollo embrionario involucra cambios que se presentan en los individuos entre el tiempo de la formación del cigoto y la transición a su forma adulta (ontogenia). Este proceso contiene la fertilización, la división del cigoto en varias células pequeñas, el desplazamiento de estas células y cambios en la expresión de sus genes dando por resultado la diferenciación de varios tipos celulares coordinados entre ellos para integrar al organismo adulto. De esta manera, la genética (transmisión genética) y la embriología (expresión genética) se integran en la biología evolutiva del desarrollo (evo-devo) tratando de entender cómo el mecanismo del crecimiento evoluciona y constriñe al mismo tiempo el proceso de la evolución. Estos campos de estudio se han visto enriquecidos recientemente también por la biología molecular al detectar genes que son homólogos a lo largo de linajes y son la base para el desarrollo de estructuras similares en grupos lejanamente emparentados o bien grupos de genes que se manifiestan coordinadamente a manera de redes (epistasias) y que dependiendo cuales de ellos participen originan estructuras diferentes. Algunos de ellos incluso pueden participar en varias redes o una red puede manifestarse de formas diferentes; por ejemplo, para controlar la

apoptosis (muerte) celular, generar piel, construir los lentes oculares entre otras.

Por último, merece ser mencionado el debate concerniente a las unidades que son sujetas al cambio o que sufren selección natural. Estas unidades pueden ser obviamente los individuos, pero también niveles por debajo de esta unidad como los genes o por encima del individuo como las poblaciones o las especies. Es decir, diferentes tipos de entidades biológicas varían en aptitud (*fitness*) y estas entidades también tienen una historia evolutiva que debe ser tomada en cuenta. Las grandes transiciones, como las denomina Maynard Smith y Szathmáry, están fundadas en la manera en la que la información es transmitida entre generaciones y un aspecto clave: las entidades que eran capaces de replicación independiente antes de la transición pueden replicarse; después de ella, sólo como parte del todo. Un ejemplo sencillo son los ancestros de la mitocondria y el cloroplasto que hoy sólo se pueden replicar dentro de las células que son sus hospederas. Así, los ácidos nucleicos que en su momento fueron entidades libres y capaces de replicarse por si mismas, ahora forman parte de células. Estas células son los elementos de los organismos multicelulares, estos a su vez forman parte de poblaciones que comparten la mayor parte de su información convirtiéndose en reservorios evolutivos. Luego entonces la unidad más representativa del cambio y que asegura la permanencia de las especies es la población.

Con el paso de los años muchas teorías se endurecen y no permiten la introducción de nuevos elementos del conocimiento. Esto no ha pasado con la teoría sintética de la evolución quizá porque sus fundamentos siguen siendo la descendencia con modificación y cómo esa modificación se transmite. La naturaleza y comportamiento de esa modificación es la que ha ocupado y mantendrá ocupados a nuestros biólogos por muchos años más. •

Notas

¹ Existe una controversia sobre la prioridad de autoridad, en el uso por primera vez de este término, ya que tanto Lamarck como Gottfried Reinhold Treviranus lo utilizaron en 1802 en obras diferentes.

² Este concepto se conoce como **eficacia darwiniana** y es la habilidad de los individuos para sobrevivir y reproducirse en su ambiente.

FRANCISCO F. PEDROCHE. Profesor-investigador titular adscrito al Departamento de Hidrobiología y Director de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud en la Unidad Iztapalapa de la UAM. Correo electrónico: ffp@xanum.uam.mx