



Los significados de la evolución

Tobías Mojica, Ph.D. Instituto de Genética, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia.

La escrupulosidad en la precisión acerca de las proposiciones, es un servicio importante que los científicos se hacen a sí mismos y a la ciencia. Se debe distinguir claramente entre hipótesis, proposiciones de hecho e inferencias fuertes y lógicas obtenidas con el método científico. Estas distinciones metodológicas son particularmente importantes en situaciones en las cuales se trata de establecer con claridad pristina lo que se sabe acerca de un tópico científico dado.

Los tópicos intelectuales parecen pasar por ciclos. Van desde períodos en que la mayor parte de las respuestas parecen ser conocidas, hasta períodos en que nadie sabe con seguridad ni siquiera si las preguntas que se formulan son correctas. La biología evolutiva no es una excepción.

Hace más de 30 años el profesor Ernst Mayr (1) de Harvard, parecía haber demostrado que si la evolución es un rompecabezas, el marco del rompecabezas ya estaba armado. Hoy día no nos sentimos tan confiados y el tema de la evolución está en estado excitante de fermentación. La biología evolutiva está siendo torturada desde adentro de la biología misma y desde afuera. Desde afuera, por la insistencia de anticientíficos (creacionistas, etc.) quienes proponen la invalidez científica de la teoría evolutiva. Estas proposiciones se originan presumiblemente en la ausencia de un entendimiento real del problema y

quizás debido a que no siempre se sabe con seguridad de qué se está hablando.

La teoría evolutiva es torturada desde adentro de la misma biología por las enormes complejidades de mecanismos genéticos y mecanismos de biología del desarrollo, por la ausencia de una teoría real del desarrollo y por nuevas preguntas acerca de los misterios centrales de la evolución: la especiación y la extinción.

Mis incursiones por la literatura científica y mis apreciaciones sobre o alrededor de la teoría evolutiva, me han indicado la necesidad de reexaminar las bases más simples del tema para distinguir cuidadosamente entre lo que sabemos y lo que pensamos que sabemos. Quiero examinar críticamente el tema de la biología evolutiva para llegar a tener rutas que nos permitan distinguir entre lo que son hipótesis, proposiciones de hecho e inferencias.

En la literatura científica la palabra evolución es utilizada actualmente con tres significados separados, a saber: cambio con el tiempo, descendencia a través de ancestros comunes y un mecanismo explicativo particular (darwinismo para la mayor parte de los interesados en biología).

El significado más viejo y mejor cimentado es el sentido general de cambio con el tiempo.

Tenemos un tesoro de información científica acerca de cambios: en la

historia de la Tierra, en la diversidad cuantitativa y cualitativa de organismos tanto en el espacio como en el tiempo y en la Tierra misma. La información acerca de cambios en la diversidad biológica toma la forma de un patrón de cambio lineal (es decir, no repetido) y aparentemente progresivo; pero esta información no tiene un origen homogéneo pues está compuesta de diferentes tipos de proposiciones.

Por ejemplo: sabemos que existieron dinosaurios; sabemos que sus fósiles ocurren en rocas de ciertos tipos a las cuales les adscribimos ciertas edades; pero sólo son hipótesis que:

- a. no existen en otros estratos correspondientes a épocas diferentes a las que usualmente se circscribe su existencia.
- b. que se extinguieron.
- c. que se extinguieron al final del cretáceo.

Sería interesante, pero de ninguna manera contradictorio, descubrir dinosaurios cuarenta millones de años después de su "hipotética" extinción o cuarenta millones de años antes de su "hipotética" aparición. Sin embargo, si fósiles humanos fueran genuinamente encontrados en el Silúrico, antes de cualquier tetrapodo conocido, nuestra hipótesis de un patrón lineal particular de evolución de vertebrados sería falseada. Puesto que debe haber docenas de paleontólogos coleccionando fósiles, la solidez del patrón coherente de cambio con el tiempo se hace cada día

más impresionante y científicamente más aceptable.

Así mismo, "sabemos" que existieron los dinosaurios por una vía completamente diferente de la vía por la cual "sabemos" que la Tierra tiene más o menos 4.600'000.000 de años, aunque tanto los datos como los métodos por medio de los cuales inferimos la edad de la Tierra son tan bien establecidos y tan confiables como la mayor parte de las cosas en la ciencia.

El primer significado de la evolución nos presenta dos características de fortaleza que son muy importantes:

1. Mucho de este primer significado es hipótesis continuamente refinada y examinada en forma científica y, tal situación puede parecer una debilidad (de éste y de los otros significados de evolución); pero no es debilidad, es en realidad una característica de fortaleza; pues la hipótesis particular que refleja el patrón general puede ser modificada sin que sea retada la proposición general de que ha ocurrido cambio con el tiempo.
2. Otra importante característica de fortaleza de este primer significado, es que no incluye ni proposición ni inferencia acerca del proceso. No dice cómo se formó el patrón general, sólo dice que se formó. La fortaleza de la característica se deriva de la posibilidad y necesidad de que el patrón real sea estudiado en ausencia de teorías de cómo ocurrió. En el sentido más general "cambio con el tiempo" es el "hecho" de la evolución que tiene las bases más sólidas y es también el "hecho" más útil por su capacidad explicativa.

El segundo significado de evolución, "los organismos son relacionados por descendencia a través de ancestros comunes". A primera vista parece ser

una proposición de proceso; el proceso que produce los patrones que se ven en el primer significado de la evolución, cambio con el tiempo.

Muchos científicos actúan como si este significado de la evolución fuese un hecho establecido comprobado y conocido. La realidad es diferente. Sólo es una hipótesis, pero, es una necesidad operacional en nuestro entendimiento de la biología. Como hipótesis, es muy fuerte pues está basada en una lógica impermeable. Este segundo significado se puede derivar de dos premisas gemelas: "la vida se originó sólo una vez sobre la tierra", "toda la vida procede de vida preexistente".

La probabilidad de que se dé la vida es tan pequeña que a menudo se dice que es igual a cero y se sigue entonces que la primera de las dos premisas es necesaria. Dada esta premisa, y si el patrón de diversidad entre los organismos ha cambiado con el tiempo, entonces se sigue que cualquier forma nueva, en cualquier momento de la larga historia de la vida en la Tierra desciende de formas preexistentes. Las dos premisas son entonces necesarias.

Quizás todo esto parezca autoevidente y aunque la lógica parece inasaltable, la importancia de identificar como hipótesis, el concepto de relación a través de antepasados comunes se hace inmediatamente obvia cuando uno hace una proposición de proceso como por ejemplo "los peces dieron lugar a los anfibios". ¿Cómo se puede probar que tal proposición es correcta o falsa? Es decir, ¿cómo hacerla científicamente razonable?

La "prueba" tradicional de los paleontólogos, es decir el "hallazgo de antepasados", sirve como prueba para proposiciones de patrón pero no para proposiciones de proceso. Tales "eventos históricos" no pueden ser probados ensamblando series de fósiles

sin discontinuidades, porque la hipótesis evolutiva es superficialmente tan poderosa que le da legitimidad a cualquier serie de formas razonablemente graduadas.

Existe una circularidad en el enfoque que asume primero un tipo de parentesco evolutivo y luego ensambla un patrón de relaciones sobre el cual puede discutir que el parentesco tiene que ser verdadero. Este interjuego de datos e interpretación puede ser el verdadero talón de Aquiles del segundo significado de la evolución. La debilidad ocurre porque uno trata de combinar dos tipos diferentes de hipótesis: uno acerca de patrón y otro acerca de proceso.

"Los peces preceden a los anfibios" es una proposición de patrón y "los peces dieron lugar a los anfibios" es una hipótesis de proceso. Para romper la circularidad es necesario encontrar primero una metodología para estudiar las relaciones en el sentido de patrón solamente. Sin tal manera independiente de descubrir los patrones que tienen que ser explicados por la evolución, la evolución estaría en problemas muy serios. El análisis cladístico parece ser por lo menos en parte, tal metodología independiente. La cladística es la ciencia de ordenamiento por conexión genealógica; alía objetos en jerarquías que se ramifican, objetos definidos solamente por tiempos relativos de conexión genealógica (parejas de especies hermanas comparten una conexión histórica única (un antepasado común que los produjo como únicos descendientes).

Los datos primarios de la biología y de toda ciencia histórica son: tipo, extensión y cantidad de similaridad. Las ciencias de la diversidad orgánica comparan las similaridades entre objetos de la naturaleza, casi nunca buscan la identidad y la inmanencia en el experimento repetido y repetible. Desde los tiempos de Aristóteles se

reconocía que las similaridades naturales vienen en dos estilos básicos y en gran medida contradictorios. Las similaridades pueden ser homologías compartidas en razón de descendencia e historia, o pueden ser analogías desarrolladas en forma activa independientemente, pero alcanzando forma y efectos similares) como respuestas evolutivas a situaciones medioambientales comunes.

Mucha gente trata la homología como una observación objetiva pero solo es una inferencia y en la literatura genética contemporánea se llega al abuso de tratar a la homología como un rasgo cuantitativo, pero la homología es una relación de origen evolutivo común que simplemente existe o no existe. Para empeorar las cosas, existe otra fuente de confusión en las fascinantes homologías moleculares que existen en la base de mecanismos de desarrollo; no existe necesariamente una relación simple entre la homología de las moléculas (o aún de rutas metabólicas) y la homología de los rasgos anatómicos cuyo desarrollo es especificado por lo menos en parte por esas moléculas; dicho de otra manera, similaridades moleculares en los mecanismos de desarrollo que producen órganos específicos no son en sí mismos evidencia fuerte de homología de esos órganos.

Los asuntos de la homología se pueden examinar a niveles múltiples y la homología entre un par de estructuras puede estar simultáneamente presente en algunos niveles y ausente en otros. El término niveles de homología se refiere a una serie de relaciones progresivamente más antiguas y más profundas (o más incluyentes).

La sistemática es el análisis de las similaridades para reconocer la homología y excluir la analogía; esta suscinta definición puede sacrificar varias cosas pero encierra bien el primer

objetivo de la ciencia histórica. El análisis sistemático define la estructura del patrón evolutivo, desde el nivel más bajo, nivel en el cual se diferencian las poblaciones, a aquellos niveles definidos por las interrelaciones de los taxones superiores. El patrón evolutivo mismo tiene tres componentes primarios: forma, un componente del taxon, y un componente espacial. El análisis sistemático revela y luego trata de explicar, los dos grandes intereses de la biología evolutiva, la historia de la diversidad estructural y la historia de la diversidad taxonómica.

Darwin mostró mucho aprecio por ese gran principio de la biología como ciencia histórica, la importancia de taxonomías adecuadas. En una profesión mas observacional y comparativa que experimental, el ordenamiento de objetos diversos en categorías sensatas se vuelve un sine qua non de la interpretación causal. Una taxonomía no es una distribución caprichosa de objetos en cajoncitos rotulados, una taxonomía es un ordenamiento causal, una afirmación contundente acerca del universo. Taxonomías adecuadas necesitan dos conocimientos profundos diferentes: la identificación y segregación del fenómeno básico mismo y la división de sus manifestaciones diversas en subcategorías que reflejen proceso y causa. Mucho de lo escrito por Darwin ilustra maneras como la taxonomía ilustra a la biología. La biología evolutiva trata de descifrar y explicar la historia de la vida y para hacer esto se basa en la ciencia de las taxonomías, la sistemática.

El tercer significado es el sentido totalmente diferente de un mecanismo explicativo particular para los patrones y para los procesos descritos en los dos primeros significados. Muchos pensadores de la biología actúan como si pensaran que este es el significado total de la evolución. No sólo no es el

significado total sino que ni siquiera es el más importante pues tanto los patrones como los procesos podrían ser explicados por varias teorías diferentes, muchas con historias intelectuales serias antes de 1859. En el momento presente el tercer significado está, casi por consenso, confinado a una hipótesis explicativa particular; el darwinismo. El casi consenso se origina del poderío superficial de la hipótesis.

El mecanismo darwinista que explica el cambio evolutivo es la selección natural, teoría que no ha tenido ningún cambio serio desde 1859. Es un modelo de variación azarosa, es decir no dirigida y supervivencia diferencial. La unidad de selección natural de la teoría darwinista ha sido explicada a nivel del gene por Dawkins (2) a nivel de la familia de genes, a nivel del individuo por Williams (3) a nivel de la población y aún de la especie. Nadie se siente muy seguro acerca del problema de la naturaleza de la unidad de selección (lo cual debe darnos una idea de la complejidad del asunto) pero parece claro que a cada nivel hay una fuente diferente de variación y una fuente diferente de selección y ocurren diferentes manifestaciones de diferentes supervivencias diferenciales con consecuencias diferentes.

Desde los tiempos en que los padres de la genética de poblaciones, notablemente Fisher, Haldane y Wright, demostraron que las medidas de idoneidad genética eran cuantificables, los estudios del mecanismo de evolución han hecho gran énfasis sobre la selección, es decir sobre supervivencia diferencial. Pero uno puede fácilmente sentir que quizás sea hora de dedicarle más tiempo y más esfuerzo a la otra mitad del darwinismo; la fuente y la naturaleza de la variación.

La paradoja del mecanismo de evolución es que mientras trata de explicar lo que parece ser, en una escala,

un patrón continuo de cambio con el tiempo, tiene que en principio, involucrar la suma, en la escala operacional, de una serie de discontinuidades; los eventos de especiación. Con la excepción del cambio filético gradual (cambio dentro de una sola línea de especies), dentro de una sola línea, la selección puede actuar continuamente para facilitar el cambio.

El debate sobre los equilibrios puntuados versus gradualismo propuestos por Gould y Eldredge (4) es un argumento acerca de si el cambio en cualquier proceso evolutivo ocurre en miniexplosiones alrededor del proceso de especiación o por el contrario el cambio ocurre suavemente entre evento y evento de especiación. Las discontinuidades en el proceso evolutivo no se entienden bien. Este debate demuestra gráficamente nuestra visión unilateral de los mecanismos evolutivos. Indudablemente necesitamos una elaboración teórica importante sobre este punto.

Lo único ligeramente amenazante acerca de la formulación original del modelo de las puntuaciones es el problema de la escala temporal que ha confundido a mucha gente, por lo demás se puede pensar que este es el mismo modelo discontinuo, común y corriente proyectado al registro fósil. El aspecto más útil del modelo de la puntuación es que nos forza a pensar acerca de las cosas que estamos tratando de ignorar y que, de nuevo, no entendemos muy bien... las discontinuidades en el proceso; especiación y extinción.

En la teoría Darwinista la selección no produce la materia prima de la variación. Sin embargo, la variación sola, sin la selección que le de forma, está manca. El neodarwinismo sostiene que la tasa y aún la naturaleza del cambio fenotípico dentro y entre

poblaciones responde más a la selección y a procesos poblacionales tales como deriva genética (pérdida accidental de alelos) que a procesos por medio de los cuales se produce variación; por ejemplo mutación y recombinación. Notablemente el neodarwinismo deja por fuera de la consideración los mecanismos moleculares de recambio dentro del genoma y que según se conceptualiza pueden ser tanto azarosos como dirigidos.

Me estoy refiriendo al llamado motor molecular, un modelo propuesto por el profesor Gabriel Dover (5) y que se basa en la característica que tienen los genes a organizarse en familias multigénicas, frecuentemente con muchos miembros y también frecuentemente muy parecidos en secuencia los unos a los otros. El resultado neto de tal organización genética es la acumulación de secuencias similares (homólogas se dice apresurada y equivocadamente en la literatura) de DNA las cuales permiten por vía de mecanismos ortodoxos de recombinación homóloga los mecanismos moleculares internos de recambio. El componente azaroso incluye los eventos de intercambio desigual de conversión génica y de transposición.

Los eventos de intercambio desigual están bien substanciados en la literatura genética y en general producen una duplicación en un cromosoma (un cromosoma expandido) y una delección correspondiente en el otro cromosoma (un cromosoma contraído), el cromosoma con el cual ha hecho recombinación y que no necesita ser el cromosoma homólogo.

La conversión génica es un mecanismo conservador pues no altera el número de copias de genes en una familia multigénica, pero la fijación accidental de una secuencia variante

puede ocurrir por fluctuaciones al azar.

La transposición se ha conjeturado bien en muchos genomas de diferentes organismos incluyendo el organismo humano y resulta en perdida o ganancia de una secuencia y este evento de transposición lleva a la fijación accidental de secuencias de DNA en una familia multigénica y en una población a través de fluctuaciones que ocurren al azar en las frecuencias de la secuencia dentro de la familia multigénica.

Se postula que el componente direccional resulta de intercambios no azarosos persistentes de secuencias tanto dentro como entre cromosomas. Los intercambios no azarosos resultan de mecanismos bien conocidos como conversión génica prejuiciada y transposición duplicativa. La conversión génica frecuentemente ocurre en una dirección o en la otra sin prejuicio pero con algunos marcadores la conversión ocurre en una dirección preferencialmente y se dice que es prejuiciada. La transposición duplicativa aumenta la cantidad de DNA por genoma.

El componente direccional no solo no es conservador sino que es posible también pensar que estos mecanismos pueden producir cambios genéticos grandes con consecuencias fenotípicas drásticas para la selección natural, cambios que podrían acercarnos aún más a los equilibrios puntuados.

Sin embargo, no hay nada en la teoría Darwinista que evite el punto de vista opuesto; a saber, que las propiedades importantes primero se ensamblan como parte del proceso de generación de variación y no después, por selección. Si algunas veces el cambio se concentra en las discontinuidades del proceso de separación, entonces necesitamos reexaminar las ideas acerca del proceso

de la producción de variación y buscar sistemas que puedan, potencialmente, suministrar la materia prima de la variación fenotípica en dosis más grandes. Este es el problema macroevolutivo.

Los esquemas hipotéticos capaces de producir cambios fenotípicos rápidos, grandes y coherentes tienen varios problemas. Se podrían necesitar cambios genotípicos inmediatos igualmente grandes y un cambio grande en fenotipo o en genotipo puede ser suficientemente disruptivo como para ser letal. ¿De dónde vendrían cambios grandes en fenotipo o en genotipo? ¿Cómo se establecería y mantendría una población de monstruos?

Un enfoque útil a estos problemas es por medio de modelos de umbral que producen el cambio potencial máximo en un sistema con el mínimo disturbio inmediato. La canalización de Waddington (6) da el punto de iniciación para un modelo de umbral simple. Si el desarrollo epigenético de los individuos (las interacciones entre el programa genético y el medio ambiente externo e interno) es fuertemente canalizado, entonces individuos, y por lo tanto poblaciones, podrían, en teoría, asimilar un gran número de recombinaciones o mutaciones (el tic tac del reloj evolutivo molecular) sin cambiar radicalmente los rangos de fenotipo sobre los que actúa

la selección a nivel individual y poblacional. La situación de canalización de programas epigenéticos de desarrollo podría aumentar hasta que exista el potencial para un pequeño cambio genético adicional (particularmente en un gene regulador) o aún para que una señal medioambiental externa haga que instantáneamente se cruce un umbral. Los cambios en el fenotipo resultante serían mucho más radicales que los que se hubieran producido por la causa próxima interna o externa, en una escala de dosis por dosis. En tal modelo, una subpoblación podría estar en el mismo umbral y podría ser empujada por el esparcimiento de un solo alelo nuevo o por el mismo cambio en el medio ambiente, o por ambos (7,8).

Tales modelos de umbral sufren de la debilidad fundamental de la biología evolutiva: son extremadamente difíciles de examinar por experimentación y por lo tanto se quedan como metáforas.

Todavía no sabemos lo suficiente acerca de la biología del desarrollo para vislumbrar si tales ideas son consistentes con la manera en la cual el desarrollo funciona en la realidad. Todavía nos falta una buena teoría del desarrollo.

La variación es un hecho pero no se entiende bien como se produce. También es verdad que no todos los zigotos

producidos sobreviven hasta reproducirse y tener nietos. El grado en el cual la supervivencia diferencial está involucrada en el proceso de selección tampoco es muy claro. Mientras que nos sentimos seguros de que estos son los principales componentes en mecanismos de cambio evolutivo, todavía no tenemos suficiente información ni siquiera para generar un esquema mecanístico completo, mucho menos el esquema final.

Nuestros antecesores los insignes estudiosos de la biología en el siglo XIX trataron de producir una descripción cabal del proceso evolutivo que sirviera a la biología en la misma manera que la mecánica Newtoniana había servido a la física; los dos primeros significados de la palabra evolución suministran las bases necesarias para esta teoría unificante. El cambio con el tiempo es un hecho y la descendencia a partir de antepasados comunes es una necesidad operacional inevitable que está basada en una lógica tan inasaltable que podemos darla como un hecho. La selección natural suministra el bosquejo de una teoría explicativa.

Cuando los físicos miraron el universo más profundamente, encontraron complejidad e incertidumbre insospechadas. Esperamos con interés lo que nos traerá la biología evolutiva en los próximos 30 años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Mayr E.** Animal Species and Evolution. Harvard University Press. 1963.
2. **Dawkins, R.** The Selfish Gene. Oxford University Press, Oxford, 1977.
3. **Williams GC.** Adaptation and Natural Selection. Princeton, New Jersey: Princeton University Press. 1966.
4. **Gould SJ, Eldredge N.** Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered. *Paleobiology* 1977; 3: 115-151.
5. **Dover, GW.** Molecular Drive: A Cohesive Model of Species Evolution. *Nature* 1983; 299: 111-115.
6. **Waddington CD.** The evolution of an evolutionist. New York: Cornell University Press. 1975.
7. **Williamson PG.** Paleontological documentation of speciation in cenozoic mollusks from Turkana basin. *Nature* 1981; 293: 437-443.
8. **Williamson PG.** Paleontological documentation of speciation in cenozoic mollusks from Turkana basin. *Nature* 1981; 296: 608-612.