



VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

Investidura como Doctor "Honoris
Causa" por la Universitat de València a
Lynn Margulis

Discurso de aceptación

Valencia, 8 junio de 2001

**LAS BACTERIAS EN EL ORIGEN DE LAS ESPECIES:
MUERTE DEL PARADIGMA NEODARWINISTA**

Lynn Margulis

La evolución, ciencia que estudia los cambios en los organismos vivos y sus poblaciones a lo largo del tiempo, provee el principio organizador de todas las disciplinas biológicas. Theodosius Dobzhansky escribió en 1973: “Nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la evolución”. Charles Darwin (1809-1882) estableció, en una de las aportaciones científicas más importantes de la historia del conocimiento científico, que toda la vida sobre la Tierra está relacionada a través de “descendencia con modificaciones”. Aunque no empleó el término evolución, sí desarrolló la idea: Se producen, eclosionan, nacen, etc., más seres vivos de los que pueden sobrevivir. En todas las poblaciones de seres vivos de todos los tiempos se pueden observar variaciones, algunas de las cuales son heredadas por los descendientes, lo que hace que dichas poblaciones cambien gradualmente a lo largo del tiempo. Así, los descendientes serían nuevas especies surgidas a partir de sus ancestros. Este proceso se presenta como una historia ininterrumpida, observable en el registro geológico como una sucesión narrable de fósiles de formas de vida extintas.

Estos principios darwinistas mantienen la misma frescura hoy en día que a finales del siglo XIX. A principios del siglo XX, los intentos de fundir las ideas de Darwin, sobre el cambio biológico gradual con los conceptos de Gregor Mendel (1822-1884), sobre la estasis de los factores hereditarios (denominados más tarde *genes*), generó un nuevo cuerpo en la literatura llamado *la nueva síntesis* o *el paradigma neodarwinista*. La genética de poblaciones se casó con las explicaciones de cambio a través del tiempo, en primer lugar diploides, camadas de animales terrestres, y definió la evolución como “cambios en la frecuencia de genes en poblaciones naturales a través del tiempo”. Se ignoró tanto el registro fósil como la historia del medio ambiente, los detalles de estas observaciones pasaron a las ciencias geológicas (largo término) y ecológicas (corto término). Se atribuyó el cambio evolutivo a la inmigración, emigración, mutaciones aleatorias, estructura

reproductiva, tamaño de población inicial y reorganizaciones cromosómicas (cambios cariotípicos). Las críticas a la evolución se silenciaron, ridiculizaron, ignoraron o se les negaron fondos para investigar. Las críticas florecerán en este nuevo milenio y el neodarwinismo morirá definitivamente.

Los biólogos del nuevo siglo se darán cuenta de que los microbios, seres vivos con un tamaño tan pequeño que no se pueden ver sin la ayuda de un microscopio, proporcionan esa misteriosa fuerza creativa en el proceso evolutivo. La adquisición e integración de bacterias son los factores más importantes en el origen de las especies. Los procariotas, organismos con una estructura celular bacteriana, son campeones traspasando genes y otra información. Son las maquinaciones de bacterias y otros microbios, y no sólo la frecuencia de adquisición de cambios, lo que subraya la historia completa de la evolución darwiniana.

La teoría de la evolución inicia el nuevo milenio de un modo muy semejante al que lo hiciera la medicina hace cien años. La búsqueda de nuevo conocimiento está inevitablemente embebida en la cultura. La práctica social ha obstaculizado incluso a teóricos evolutivos profesionales, que tienden a ser abismalmente ignorantes de la ciencia más relevante para su trabajo. La situación actual es que la evolución contemporánea está incluso en peor situación que la medicina en el siglo XIX, ya que los hechos en dicho cambio de siglo eran los responsables de que no existieran doctores, sin embargo, la base científica esencial para los evolucionistas existe, lo que pasa es que es sistemáticamente ignorada.

La fuente de novedad evolutiva

Charles Darwin estableció, para la satisfacción de sus científicos contemporáneos y seguidores, que las especies descendían de sus predecesores. Toda la vida está conectada por el tiempo a las formas preexistentes y en última instancia al mismo origen de la vida. Darwin describió cómo las cosas vivas engendran descendientes que difieren ligeramente de sus progenitores. Mostró que muchas de estas variaciones son hereditarias. De un número grande de descendencia que potencialmente puede crecer a partir de una semilla, eclosionar o nacer, sólo

sobrevive una población limitada. Estos supervivientes, por lógica, deben tener caracteres más adecuados para la supervivencia en ese ambiente determinado que los de los descendientes que no sobrevivieron. Darwin dio a este proceso de supervivencia diferencial y reproducción el nombre de *selección natural*. Pero selección natural sólo denota la supervivencia y reproducción de los pocos con relación a los muchos. El proceso de selección natural, a pesar de las quejas, no genera novedad por sí misma. La selección natural, en realidad una supervivencia diferencial, sólo selecciona caracteres que ya existen. Entonces, ¿cómo surgieron las variaciones intrínsecas? Darwin, como su predecesor Jean Baptiste Lamarck (1744-1829), lidió con el problema. De hecho, Darwin inventó una explicación lamarckiana. Propuso la hipótesis de la pangénesis para la herencia de los caracteres adquiridos. Trató de explicar la fuente de variación evolutiva, pero al final, simplemente admitió su ignorancia.

Reitero el valor de la postura original de Darwin. Al igual que siempre han insistido Ernst Mayr, Stephen Jay Gould y otros científicos de altura, los conceptos evolutivos son necesariamente multidimensionales y están interconectados. Deben proporcionar principios organizadores para entender la vida. Aquí menciono cuatro ideas que planeamos desarrollar en cada sección del libro. Destacamos que la ciencia ya sabe cómo se originan las especies realmente, y damos varias razones de porqué la buena ciencia es a menudo ignorada. Estos cuatro conceptos son:

- 1) La evolución funciona siempre debido al crecimiento exponencial de la población que debe ser estudiada. Por ejemplo, la naturaleza inhibitoria de la selección natural acoplada al crecimiento.

- 2) La mayoría de los biólogos no aprecian el sorprendente repertorio de metabolismos que hay entre las bacterias. Tampoco se entiende que las bacterias no estén organizadas en especies de forma natural. El crecimiento de las poblaciones de bacterias, la organización de las comunidades, producción de gases, movilidad y sensibilidad, formación de propágulos y resistencia son unos de los pocos, aunque ignorados, fenómenos cruciales íntimamente asociados a la evolución del resto de la vida.

3) La mayor discontinuidad existente entre todas las formas de vida extintas de este planeta es la que hay entre procariotas (bacterias) y eucariotas (todos los otros). La historia evolutiva de esta especiación incluye la evolución del proceso de especiación. La especiación no era posible antes del origen y la evolución de los eucariotas por simbiogénesis.

4) Resulta sorprendente el alcance que ha tenido la "hibridación" o fertilización de "metaespecies" como fusiones teóricamente prohibidas (sexual y parasexual). Esta recombinación genética, bizarra pero fértil, entre organismos no necesariamente de la misma especie ni géneros complementarios se ha dado una y otra vez a lo largo de la historia de la vida. En algunos casos, infrecuentes, se han generado nuevos taxones superiores. Las fusiones sexuales y parasexuales de miembros de especies diferentes han tenido importantes consecuencias evolutivas. Fusiones sexuales y parasexuales viables, cuando se repiten cíclicamente, dan origen a nuevos grupos, incluyendo nuevas especies.

Todos estos conceptos ilustran desde distintas posiciones la misma idea fundamental: los agentes del cambio evolutivo son los microbios, únicamente suplementado, que nos substituido, por mutaciones aleatorias. La formación y diversificación de nuevas especies es la manifestación externa de las acciones de las formas subvisibles de vida: bacterias, protistas y hongos. La evolución emerge del hecho de que pequeños organismos vivos, como tantos otros estudiados por Darwin, tienden a traspasar sus fronteras. Los seres enmascarados o no vistos que diezman nuestras poblaciones con virulentas enfermedades y suministran el nitrógeno del suelo a las plantas que nos comemos, también juegan el principal papel creativo en la génesis de nuevas formas de vida.

Diversidad evolutiva microbiana

Una prodigiosa literatura técnica muestra que las bacterias son el principal almacén de diversidad evolutiva. Todo el reino animal emplea esencialmente un tipo de metabolismo: la utilización de oxígeno para respirar las moléculas orgánicas del alimento (heterotrofia). Las plantas emplean dos: heterotrofia vía oxígeno, tal y como lo hacen los animales, y fotosíntesis oxigénica. Las bacterias,

en adición a estos dos, tienen al menos otros veinte modos metabólicos diferentes. Ninguno de estos se ha visto en ningún animal o planta.

Las bacterias y sus descendientes, los protistas, eran capaces de realizar sorprendentes hazañas mucho antes de que evolucionara ningún animal. Algunos protistas son ingenieros diplomados, otros inventaron la agricultura. Los foraminíferos unicelulares, enormes para los estándares de los organismos unicelulares, crían debajo de sus caparazones las algas que han atrapado. Las algas son expelidas durante las horas de luz solar y regresan al redil dentro del caparazón durante la noche. Alguno de sus parientes lejanos hace caparazones nuevos con cuidado: eligen guijarros negros de una mezcla multicolor y pegan las piedrecitas a sus cuerpos. Otros foraminíferos almacenan y pegan pequeñas partículas construyendo así torres hacia el exterior. Escalan la cima de las torres y desde allí cazan animales mucho mayores que ellos. Hongos, que no difieren a simple vista de manchas de minúsculas impurezas blancas, envuelven sus cuerpos filamentosos para convertirse en trampas. Al igual que las serpientes pitón, estrangulan a sus víctimas, como los nematodos, hasta la muerte. Los microbios han evolucionado para actuar de maneras que nosotros sólo asociamos a animales y plantas que nos son familiares.

Más allá de Lamarck y Darwin

¿Cómo se traspasó la creatividad microbiana a las formas de vida de mayor tamaño? Una nueva sugerencia para el nuevo siglo en biología es que el maligno eslogan del lamarkismo, “la herencia de los caracteres adquiridos” no debe ser todavía abandonado, tan sólo debe ser refinado cuidadosamente. Ninguno, animal o planta, adquiere nuevos caracteres heredables creciendo, comiendo, ejercitándose, apareándose y demás. Por el contrario, bajo condiciones de estrés, distintos tipos de individuos altamente dotados se asocian físicamente. Más adelante, algunos se incorporarán a los otros y algunos de estos incluso llegarán a fusionar sus sistemas genéticos. Hay documentados muchos modos de fusión, incluyendo infecciones víricas. Los asociados siempre dejan detrás parientes sin asociar, de vida libre. Fusiones permanentes de bacterias, protistas y/u hongos

entre ellos, o con “huéspedes” de plantas o animales, generan cambios evolutivos a gran escala. La adquisición rápida de caracteres microbianos nuevos, altamente refinados, confiere ventajas selectivas a sus captores, tanto a plantas como animales. La herencia de poblaciones microbianas atrapadas crea nuevos linajes sin precedentes. Las mutaciones genéticas aleatorias refinan y afilan, pero nunca generan una variación hereditaria por sí mismas

Propongo que el conocimiento del microcosmos es esencial para responder la pregunta de Darwin de ¿qué se traspa de padres a descendientes que detectamos como novedad evolutiva? Una respuesta directa es “poblaciones e incluso comunidades de microbios”, donde “poblaciones” son los individuos de un mismo tipo que viven en el mismo lugar al mismo tiempo, y “comunidades” son los diferentes tipos de poblaciones que viven en el mismo lugar al mismo tiempo, y que son las que prevalecen en la naturaleza. De hecho, es en las comunidades en donde se transfieren y fusionan los genes entre sus diferentes miembros. De este modo evolucionan nuevos individuos mucho más complejos. Todos los evolucionistas y ecólogos de sistemas deben aprender microbiología. Los modos en los que los microbios tienden a unirse físicamente unos a otros e interaccionan entre sí, o con asociados de mayor tamaño, se han presentado de un modo indisciplinado, en la lengua especializada de la ciencia. Incluso aquellos de nosotros que entendemos cuanto se sabe ya sobre el origen de las especies estamos limitados a trabajar en nuestro pequeños y limitados descubrimientos, normalmente en una sola especie al tiempo. Los departamentos académicos de biología se dividen en “biología molecular” y “biología de organismos” lo que exacerba la incomprensión.

Afirmo que todo el neodarwinismo se considerará, con una sonrisilla en la boca, como un prejuicio anglófono del siglo XX, una aberración y un ejercicio mental fallido que se irá marchitando. El neodarwinismo se ha alejado demasiado de la vida. El nuevo siglo se iniciará en el punto donde lo dejó Darwin. Totalmente consistente con la gran perspicacia de Darwin, la nueva evolución dará a conocer a la ciencia más allá de su siglo. Mostrará cómo la lujosa diversidad

de la vida que nos rodea evolucionó en pequeños pasos discontinuos. Lo que aparece como mágico, “complejidad irreductible” o “grandes diseños”.

¿Cómo funciona la evolución?

La perspicacia de Darwin respecto a la evolución llevó a un entendimiento científico del crecimiento de poblaciones, la existencia del cambio hereditario y la fuerza de la selección natural. La naturaleza está organizada. Los organismos viven en comunidades hechas de poblaciones. Todas las comunidades comprenden especies diferentes que viven juntas en hábitats identificables. En la naturaleza dicha organización se correlaciona con precisión con factores climáticos, geográficos y otros factores ambientales. La taxonomía, la ciencia de dar nombres, identificar y agrupar a los seres vivos, tiende a ignorar las correlaciones ambientales y, en el caso de las bacterias, es artificial. Aún así, en protistas, hongos, plantas y animales, el nivel de agrupamiento más fácil de identificar y nombrar es el de especie. Se han estimado unos 30 millones extintos y quizás sean mil veces más. Las especies se distinguen, cuentan, documentan y nombran en base a una observación directa. Son muy pocos los que se aparean para determinar su existencia. Aunque se pueden reconocer muchos tipos de bacterias, creemos que las poblaciones bacterianas no están organizadas en especies estables en el sentido de cómo lo hacen los organismos nucleados. Sencillamente el concepto de especie no se ajusta. Los bacteriólogos dicen que si dos tipos de bacterias comparten el 85 % de sus caracteres, entonces pertenecen a la misma especie: 86 % la misma especie y 84 % especies diferentes. Esta medida tan arbitraria difieren en gran medida de cualquier delineación de especies en eucariotas. El proceso de especiación evolucionó en el Proterozoico inferior, hace unos 2.500 millones de años, cuando se dio la transformación de bacterias a formas de vida de mayor tamaño.

Cada organismo, con o sin pareja, disfruta de una capacidad intrínseca de aumentar geométricamente su número de descendientes. Las poblaciones “sin restricciones crecen más allá de sus límites. Las fuerzas ambientales cotidianas, como falta de agua, apelotonamientos y hambre, evitan la expansión indefinida de

la que son capaces las poblaciones. Como cada población tiene unos requerimientos específicos de energía, nutrientes, agua y espacio que no son totalmente cubiertos por el medio, la expansión de la población se ve estresada inevitablemente. La selección natural, proceso estrictamente sustractivo, elimina a todo aquel que no logra sobrevivir por cualquier motivo. Todos los que quedan, por definición, sobreviven y tienden a pasar los caracteres hereditarios a sus descendientes. Como los supervivientes retienen los caracteres favorables para la supervivencia en determinados momentos y lugares, la vida sobre la Tierra retiene la memoria de su pasado. Los cuerpos vivientes guardan en su compleja química la memoria de las limitaciones ambientales a las que sobrevivieron en el pasado.

Dado que no se trata más que de supervivencia diferencial, la selección natural perpetúa pero no crea. Entonces, ¿Qué genera la innovación evolutiva? La lista es ahora mucho más larga que la de las mutaciones puntuales aleatorias de genes individuales. La novedad surge y se acumula, no sólo por cambios, aleatorios o no, en los pares de bases individuales del DNA, sino por duplicación o movimiento de los genes o bloques de estos, y acumulación de virus, plásmidos y otros fragmentos pequeños de DNA. Las células y organismos adquieren grandes fragmentos de DNA mediante apareamiento de bacterias, reorganizaciones cromosómicas, adquisición de simbiontes e hibridación. Se da la fecundación cruzada de animales y plantas con miembros de la misma especie o incluso diferente. Cuando se ponen en común todos estos fenómenos, se obtiene un argumento sólido para afirmar que el dilema de Darwin está resuelto. Ahora conocemos las fuentes de la innovación evolutiva, pero aquí sólo tenemos espacio para enumerarlas.

Todos los eucariotas (protistas, hongos, plantas y animales) evolucionaron a partir de uniones complejas, en último término de bacterias. La hipótesis del origen de la célula nucleada está a una década de la demostración definitiva de todos sus postulados. La descripción de mi Teoría de la Endosimbiosis en Serie (SET) está disponible en la literatura.

Retos para el nuevo siglo: La lengua de la evolución

La lengua de la evolución a veces parece ofuscar más que iluminar. Anticipo que la lengua será más química, observacional y cercana a los seres vivos. ¿Harán caer los biólogos los términos financieros (coste, beneficio, gastar y desventaja) y los símbolos matemáticos simples (+ para simbiosis y - para parasitismo) y los reemplazarán con descripciones más adecuadas?. La adecuación de la actual teoría neodarwinista para explicar los orígenes de nuevos caracteres hereditarios de la vida y nuevas especies nunca se ha mostrado. Las tesis de los neodarwinistas, que creen en la acumulación de mutaciones aleatorias en el DNA, no tienen mayor error que supersimplificar los hechos y dar argumentaciones incompletas. ¿Veremos la rehabilitación, a la luz de nuevos conocimientos, del concepto darwinista, no neodarwinista, de la evolución como principio organizador del entendimiento de la vida? La lengua del cambio evolutivo no es matemática ni tampoco de morfologías generadas por ordenador. Por el contrario, la historia natural, ecología, genética y metabolismo de organismos macroscópicos debe ser suplementada con un conocimiento preciso de los microbios. ¿Serán vistas la fisiología microbiana y la ecología como esenciales para la comprensión del proceso evolutivo? El comportamiento de los microbios dentro de sus propias poblaciones y en sus interacciones con otros han determinado el curso de la evolución de la vida. El mundo vivo subvisible subraya en último término el comportamiento, desarrollo, ecología y evolución del mundo visible del cual formamos parte y con el cual co-evolucionamos.
