

El ambiente en la evolución biológica: el concepto en perspectiva histórica

Ignacio Gimenez

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Fecha de recepción del manuscrito: 26/03/2015

Fecha de aceptación del manuscrito: 14/07/2015

Fecha de publicación: 15/09/2015

Resumen— La palabra *ambiente* y el concepto al que refiere siempre estuvieron presentes en la historia de las ciencias naturales, particularmente en las ideas relacionadas a la evolución biológica. El presente artículo pretende hacer una revisión de cuál fue el rol asignado al ambiente dentro del contexto de las principales teorías evolutivas que se fueron sucediendo, desde los primeros trabajos de Lamarck y Darwin, pasando por las críticas de sus contemporáneos, el auge y las crisis de la teoría de la Síntesis Moderna de la evolución, hasta las nuevas ideas que alcanzan nuestros días. A pesar de que los autores a lo largo de la historia hicieron referencia al concepto de ambiente de formas muy diversas, muchas veces implícitas, se reconoce que la relación inferida de éste con los organismos ha ido cambiando, pasando de una influencia unidireccional desde el ambiente hacia el organismo a una visión integral en la cual los organismos inciden, a través de sus actividades, en su propio ambiente y por consiguiente en el curso de la evolución.

Palabras clave— ambiente, evolución biológica, Lamarck, Darwin, Síntesis Moderna, epigenética

Abstract— The word *environment* and the concept that it refers to were always present in the history of natural sciences, particularly in those ideas related to biological evolution. The present article tries to make a review of which was the role assigned to the environment inbetween the context of the main evolutionary theories that were occurring through the time, since the first works of Lamarck and Darwin, passing by the critics from their contemporaries, the rise and crisis of the Modern Synthesis theory of evolution, to the new ideas that reach our days. In spite that the authors along the history made reference to the environment concept in very diverse ways, often implicitly, it is recognized that the inferred relationship between it and the organisms has been changing, going from an unidirectional influence from the environment to the organism to an integral vision in which the organisms influence, through their activities, their own environment and therefore the course of evolution.

Keywords— environment, biological evolution, Lamarck, Darwin, Modern Synthesis, epigenetics

Si bien el término “ambiente” es de uso muy común en las ciencias naturales, no siempre denota la misma *cosa* de la que se habla. Y así ha sido también en la historia del término cuando se lo utiliza en diversos contextos.

La palabra *ambiente* tiene su origen en el verbo en latín *ambire*, formado a su vez por el verbo *ire* (‘ir’) y el prefijo arcaico *am-* (‘por ambas partes’), por lo cual adquirió el significado de ‘rodear’, ‘ir por un lado y otro’, ‘andar alrededor’ y también dio lugar al adjetivo *ambiens* (‘circundante’, ‘que rodea’, ‘que va por ambas partes’) a partir del cual se creó el vocablo *ambiente*, registrado en la lengua castellana desde 1588. Por lo tanto, cuando utilizamos el término “ambiente” estamos en principio haciendo referencia a lo que rodea a un objeto, es decir, todas aquellas condiciones en las que el mismo está inmerso.

Dentro del marco de las ciencias biológicas, esta palabra cobra el significado del entorno dentro del cual los seres vivos existen. A lo largo de la historia de las ciencias naturales, este concepto de alguna manera siempre estuvo presente (ya sea de forma explícita o implícita), especialmente en las sucesivas ideas que fueron forjando a la teoría de la evolución como el eje transversal de las ciencias biológicas.

El ambiente desde las primeras visiones evolucionistas

Ya desde 1809 Jean Baptiste de Lamarck, en su *Filosofía Zoológica*, advertía sobre la influencia de lo que él llamaba las “circunstancias” (cambios de situación, de clima, o de hábito) sobre la forma de los organismos, sus partes, sus proporciones, sus facultades y su organización. Lamarck era consciente de que nada es constante en la superficie del globo terrestre, y que las circunstancias cambian muy lentamente, lo que produciría influencias de distinto tipo

sobre los cuerpos vivientes que las experimentan. Estas variaciones en las condiciones del entorno serían incorporadas a los organismos a través de una secuencia de hechos que a menudo no se toman en cuenta cuando se habla de Lamarck: cambio en las necesidades de los organismos, seguido por un cambio de hábitos, el que podría resultar en el empleo preferencial de una parte con respecto a otras, produciendo su fortalecimiento a través del uso (Lamarck, 1809). Este efecto diferencial inducido por el *ambiente* (o conjunto de circunstancias) en el desarrollo de los organismos podría, según Lamarck, ser heredado a las próximas generaciones.

Por primera vez se cuestionaba la idea generalizada en el siglo XVII, denominada “fijismo”, que sostenía que las diversas formas biológicas conocidas aparecían por medio de un fenómeno “creador” y que las mismas permanecían inmutables. Si desaparecían, los factores responsables eran las catástrofes que ocurrían cada tanto en la naturaleza (lo que llevó a una idea “catastrofista” de la evolución), las que eran seguidas por nuevas “creaciones” o formas biológicas diferentes.

Darwin y su concepción seleccionista del ambiente

Las ideas transformistas de Lamarck no fueron respetadas, ni aún consideradas por sus contemporáneos, hasta que con la publicación de *El Origen de las Especies* por Charles Darwin en 1859 se comienza a aceptar en la comunidad científica la idea general de que las especies “evolucionan” a partir de un origen común y que experimentan cambios heredables. El mecanismo evolutivo propuesto por Darwin se basaba en el proceso de selección natural que actuaba desde el ambiente hacia los organismos. Al igual que Lamarck, Darwin postulaba que los organismos necesitaban estar expuestos durante muchas generaciones a condiciones nuevas para que en ellos se observe cualquier variación, la que podría darse tanto en el conjunto de su organización como en ciertas partes. Esto causaría cambios particulares en la estructura de organismos que viven juntos. Sobre estas variaciones individuales actuaría la selección natural, acumulando gradualmente aquellas que contribuyeran a la adaptación de todo ser vivo a las condiciones orgánicas e inorgánicas de vida.

Según Darwin, la selección natural puede funcionar solamente cuando existen “lugares en la economía natural” de un sitio que dependen fuertemente de cambios físicos muy lentos y que pueden ser mejor ocupados si se modifica alguno de sus habitantes (Darwin, 1859). Así nace la idea de que el organismo se adapta a un ambiente preformado independientemente del organismo en cuestión.

¿Las variaciones orgánicas tienen su origen en el ambiente?

Una de las primeras críticas a la teoría de la selección natural vino de la mano de Francis Galton, primo de Darwin, que a pesar de coincidir con éste en el mecanismo de herencia particulada (Pangénesis), disintió en la idea de que era necesaria una exposición a condiciones ambientales modificadas durante varias generaciones para originar variaciones. Galton postulaba que había tiempos y estados de “estabilidad orgánica” que afectaban a los organismos a lo largo de su historia natural. Describió la “variabilidad

familiar” como la dispersión de las medidas de caracteres cuantitativos alrededor de una media poblacional. A su vez, existía para él una tendencia de esta media a volver a los valores ancestrales de la población original a través de las generaciones, lo que denominó “regresión”. Esta regresión neutralizaría los efectos graduales de la selección natural y por lo tanto la evolución se produciría a través de pasos discontinuos o saltos, posicionándose eventualmente en estados de estabilidad orgánica (Galton, 1877).

Este mecanismo saltacionista fue posteriormente demostrado en innumerables casos particulares por William Bateson en su libro *Materiales para el Estudio de la Variación*. Él sostenía que la discontinuidad no estaba en el ambiente, sino que surgía en los organismos mismos (Bateson, 1894). Ello fue criticado por su colega W. F. R. Weldon, quien retomó el argumento de Darwin de que la parte más importante del ambiente de una especie lo constituyen las restantes especies, remarcando además que el ambiente físico es discontinuo y se modifica a través del tiempo geológico (Gillham, 2001).

Otra gran crítica a la visión de Bateson y Galton vino de Alfred Wallace (contemporáneo de Darwin que llegó a describir el mismo mecanismo evolutivo que aquel), quien justificó los casos de discontinuidad postulando que había grandes períodos en los que el ambiente era benigno con circunstancias adversas ocasionales, en las cuales actuaba la selección natural (Gillham, 2001).

La fundación de la Síntesis Moderna y sus críticas

En el siglo XX tuvo lugar el nacimiento de la llamada teoría de la “Síntesis Moderna” de la evolución (SM) que conjuga las ideas neo-darwinistas con los incipientes aportes de la genética. Los principales sustentos de la SM fueron el desarrollo de la genética de poblaciones por Fisher (1932), Haldane (1932) y Wright (1931), que reconcilia de alguna manera las redescubiertas leyes de la herencia de Mendel con el gradualismo darwinista, junto con los trabajos de Dobzhansky (1937), Mayr (1942) y Simpson (1944) en genética, sistemática y paleontología, respectivamente. La SM sostiene que mediante la ocurrencia de mutaciones aleatorias y la recombinación del material genético se producen, dentro de las poblaciones naturales, variaciones más o menos aptas frente a las exigencias ambientales, que luego son seleccionadas a favor o en contra (Pigliucci, 2007).

En 1967, Motoo Kimura, analizando datos moleculares, llega a conclusiones que se alejan sustancialmente de aquellas predichas por la SM: la mayoría de las sustituciones nucleotídicas en el ADN (cambios en las bases moleculares del material genético) adquiridas durante la evolución debían ser producto de la fijación al azar de mutaciones selectivamente neutras (es decir, que no influyen sobre la supervivencia y reproducción de los individuos y que por lo tanto no están sometidas a la selección natural). Kimura explica que la tasa de evolución a nivel molecular es prácticamente constante en distintos linajes y no parece depender de factores como las condiciones de vida, el tamaño poblacional y el tiempo de generación. Por lo tanto, la evolución a este nivel estaría determinada más por la estructura y función de las moléculas que por las condiciones del ambiente (Kimura, 1980).

Sin embargo, posteriormente Gillespie indicó que tal constancia se aplica a determinadas regiones de algunas proteínas y que la evolución molecular es episódica, con grandes cambios de corta duración seguidos por largos períodos de escaso cambio. Los grandes cambios adaptativos estarían restringiendo en gran medida la influencia del ambiente sobre ellos, por lo tanto las nuevas mutaciones resultarían casi siempre desfavorables (Gillespie, 1984).

Otra de las crisis que atravesó la SM fue provocada por la aparición de la teoría de los equilibrios puntuados de Niles Eldredge y Stephen Jay Gould en 1972, que surge desde la paleontología, la cual postula que los principales cambios evolutivos ocurren por especiación divergente y no por transformación gradual de un linaje. Basándose en el estudio del registro fósil, Gould y Eldredge concluyen que las especies tienen orígenes geológicamente rápidos y un período estático subsiguiente, retomando el espíritu saltacionista de Galton y Bateson. Durante el período estático, que puede durar muchos millones de años (la duración promedio de especies fósiles de invertebrados es de 10 millones de años), suelen ocurrir grandes cambios ambientales climáticos y geológicos en la mayoría de las regiones mundiales estudiadas. Por ende, es de esperar que actúe la selección en algún sentido desde el ambiente hacia los organismos, hecho que no es negado por Gould. La diferencia estriba en que tal proceso no estaría relacionado con la formación de nuevas especies, sino con la producción de “fluctuaciones suaves y sin dirección determinada dentro de cada linaje” (Gould, 1982). Dicho autor sugiere que existe un vínculo del estado estático con la persistencia de programas genéticos y desarrollos heredados, que no fueron incluidos a la hora de fundar la SM. De esta manera, la influencia del ambiente también pasa a un segundo plano en la aparición de nuevas especies en el registro fósil, si se considera el marco teórico de los equilibrios puntuados.

Hacia una idea de “construcción” del ambiente

Richard Lewontin, un remarcado genetista, se suma a Gould en su cuestionamiento al programa pan-adaptacionista de la SM, remarcando que los organismos constituyen entidades integradas y que no debe tomarse a cada una de sus partes como sometidas por separado a la acción del ambiente y, como consecuencia, a la selección natural. El ajuste de los organismos a su ambiente no tendría siempre una base sólo genética, sumado a que la mayoría de los caracteres genéticos habrían sido fijados por procesos al azar como la deriva genética y no por selección (Gould y Lewontin, 1983). En su libro *Genes, Organismo y Ambiente*, Lewontin propone que el organismo “construye” su propio ambiente, en lugar de adaptarse a uno preexistente. Por lo tanto, los cambios en el ambiente no serían independientes de los cambios en las especies. Su concepción de ambiente pasa a ser mucho más dinámica, ya que implica una interacción permanente entre el organismo y aquellos aspectos del mundo exterior que tienen para él alguna relevancia. Justamente, tales aspectos serían los que forman el “ambiente” de un organismo, el que ha desarrollado mecanismos fisiológicos para percibir sus variaciones en base a su biología interna y a sus genes (Lewontin, 2000). Eldredge parece estar de acuerdo con esta interpretación al sostener que el cambio ambiental

produce una reacción biológica que lleva a los organismos a buscar hábitats que se ajusten a sus características adaptativas en lugar de promover nuevas adaptaciones por selección natural. De esta manera, las especies permanecerían estables durante largos períodos por la misma naturaleza de su organización estructural interna. Según la teoría de los equilibrios puntuados, los cambios evolutivos ocurrirían mediante especiación durante eventos ambientales físicos rápidos a gran escala que ocasionarían extinciones de otras especies a nivel regional (Eldredge, 1982).

En el siglo XXI aparecen nuevos conceptos que se aproximan a la visión de Lewontin y Eldredge, opuestos a lo que en Ecología se conoce como apropiación de un “nicho vacío”, como son la “construcción del nicho” y la “herencia ecológica” de Kevin N. Laland. La construcción del nicho se refiere a las actividades, elecciones y procesos metabólicos de los organismos que van a definir y a modificar sus propios ambientes lo que, como consecuencia, podría tanto neutralizar el efecto de la selección natural así como introducir nuevas presiones selectivas. La herencia ecológica alude a que los organismos pueden modificar también el ambiente en el que tendrán que vivir sus descendientes (Laland et al., 2000). Ambas ideas tienen implicancias evolutivas importantes, que han sido ignoradas por largo tiempo. Frente a este cambio de perspectiva con respecto al ambiente, no se abandona el concepto de “adaptación biológica”, sino que ésta deja de ser un proceso de una sola vía (una respuesta de los organismos a los cambios ambientales impuestos) para convertirse en un proceso de dos vías, con los organismos configurando su ambiente a la vez que resolviendo los problemas que éste les plantea.

El ambiente desde el mundo microscópico hasta “Gaia”

Por su parte Lynn Margulis, autora de la “teoría de la endosimbiosis”, desacredita nuevamente la visión neo-darwinista de que la evolución biológica está regida por pequeñas mutaciones aleatorias que resultan en una mejor adaptación al ambiente y apuesta a que las principales innovaciones evolutivas son en realidad aportadas por el fenómeno de la simbiosis. Sostiene que el origen de las células con núcleo y sus orgánulos internos reside en la asociación de primitivas células procariontas entre sí. Propone que al ingresar una bacteria (o cianobacteria) en el espacio intracelular de una arqueobacteria encontraría allí un nuevo ambiente libre de desecación y depredación, con un constante suministro de energía y alimento. De este modo, se habrían originado células de mayor complejidad, las que ocasionalmente habrían formado organismos multicelulares. Siguiendo con esta línea de pensamiento, los organismos macroscópicos pasan a ser el ambiente de verdaderas comunidades microbianas cuyos miembros están permanentemente transfiriendo y fusionando genes. Como resultado de estos procesos, se generarían las distintas variantes que dan sustrato y alimentan la acción de la selección natural (Margulis, 2002). La trascendencia de los trabajos de Margulis reside en que nunca antes se había considerado la noción de “ambiente” en el mundo de los microorganismos y la importancia de sus implicancias evolutivas.

En su libro *Una revolución en la evolución*, Margulis coincide con la teoría Gaia de James Lovelock, en la cual se considera a la biota como un componente fundamental para el mantenimiento de las condiciones físicas del planeta Tierra, que son radicalmente diferentes y anómalas respecto a los planetas vecinos de Marte y Venus. Nuevamente, aquí se reivindica el impacto sobre el ambiente que genera el crecimiento y el metabolismo de las poblaciones de organismos. Impacto que es causa directa de la posibilidad de actuación de la selección natural, y que no podría ser detectado a través de una visión reduccionista de la Biología y que excluya los conocimientos aportados por el estudio de los microorganismos (que representan la mayor parte de la biota), así como por otras disciplinas asociadas, tales como la Biogeoquímica (Margulis, 2002).

El ambiente y su influencia epigenética

Finalmente, no puede ignorarse en épocas actuales el fuerte desarrollo de un área de investigación que, ya esbozada por Waddington hace más de medio siglo con el nombre de “epigenética” (Waddington, 1957), retoma las ideas propuestas por el olvidado Lamarck. Los nuevos desarrollos en epigenética han llegado a tener consecuencias atinentes tanto a la dimensión genética y su relación con el ambiente, así como a la dimensión simbólico-cultural de la herencia y la evolución (Jablonka y Lamb, 2013).

La herencia epigenética alude a los cambios heredados que se producen en la expresión de los genes y que no implican cambios en la secuencia de bases del ADN. Estos cambios ocurren en etapas tempranas de la diferenciación celular y modelan un conjunto muy grande de interacciones en el “ambiente celular”, así como entre los organismos y su entorno. En la esfera humana, por ejemplo, rasgos tales como la longevidad, la protección contra virus, la capacidad de adaptación, la tendencia al tipo de cuidado materno y la propensión a distintas enfermedades estarían siendo regulados epigenéticamente, lo que muestra las innumerables y sutiles relaciones que existen entre la biología del desarrollo, la psicología y la coevolución de la historia genética y la historia cultural (Jablonka y Lamb, 2013). El desarrollo de las numerosas y diversas líneas de investigación seguidas en este programa conceptual señala que en la actualidad se concibe al ambiente de manera más amplia y lleva a reconsiderar la idea de que la influencia del mismo condiciona la aparición (o ausencia) de determinadas características, lo cual es heredado de manera alternativa a través de muchas generaciones.

Un concepto multidimensional

Como conclusión, es evidente que a lo largo de la historia de las ideas sobre la evolución biológica, el concepto de ambiente fue transfigurándose, adquiriendo un rol particular dentro de cada una de las teorías que se fueron sucediendo. En las primeras grandes teorías de Lamarck y Darwin, el ambiente se separa de los organismos e impone presiones que deben ser superadas para lograr la supervivencia. Progresivamente, esta separación se va desvaneciendo y comienza a verse a los organismos como parte integral del ambiente, afectando a través de su comportamiento y metabolismo sus propias presiones selectivas y las de su descendencia. Se pasa de una relación

unidireccional a una bidireccional, y finalmente a una integral y multidimensional, en la cual los seres vivos participan activamente en la configuración de su propio ambiente, y por lo tanto, en el delineamiento del curso de la evolución.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Sonia E. Colantonio y al Dr. Gabriel Bernardello por sus valiosos aportes, y a mis compañeros Andres Isally, Julieta Gonzalez, Eleonor Moreschi y Erika Jacobsohn por sus enriquecedoras discusiones.

REFERENCIAS

- [1] Bateson W. (1894) *Materials for the study of variation: treated with especial regard to discontinuity in the origin of species*. Macmillan, Londres.
- [2] Darwin, C. (1859) *El Origen de las Especies*. Alfa Epsilon, Buenos Aires.
- [3] Dobzhansky, T. (1937) *Genetics and the origin of species*. Columbia University Press, Nueva York.
- [4] Eldredge, N. (1982) “La macroevolución”. *Mundo Científico* 2(16): 792-803.
- [5] Eldredge, N., Gould, S.J. (1972) “Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism”. En: *Models in Paleobiology*, 82-115. Schopf, T. J. M. Freeman, Cooper y Co., San Francisco.
- [6] Fisher, R. A. (1932) “The bearing of genetics on theories of evolution”. *Science Progress* 27: 273-287.
- [7] Galton, F. (1877) “Typical laws of heredity”. *Proceedings of the Royal Institution* 8: 282-301.
- [8] Gillespie, J. H. (1984) “The molecular clock may be an episodic clock”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 81(24): 8009-8013.
- [9] Gillham, N. W. (2001) “Evolution by Jumps: Francis Galton and William Bateson and the Mechanism of Evolutionary Change”. En: *Anecdotal, Historical and Critical Commentaries on Genetics*. Editado por James F. Crow and William F. Dove. *Genetics Society of America* 159: 1383-1392.
- [10] Gould, S. J. (1982) “El equilibrio «puntuado» y el enfoque jerárquico de la macroevolución”. *Revista Occidente*: 121-148.
- [11] Gould, S. J. y Lewontin, R. (1983) “La adaptación biológica”. *Mundo Científico* 22(3): 134-145.
- [12] Haldane, J. B. S. (1932) *The causes of evolution*. Princeton University Press, Princeton.
- [13] Jablonka, E. y Lamb, M. J. (2013) *Evolución en cuatro dimensiones*. Capital Intelectual, Buenos Aires.
- [14] Kimura, M. (1980). “Teoría neutralista de la evolución molecular”. *Investigación y ciencia* 40(180): 46-55.
- [15] Laland, K. N., Odling-Smee, J. y Feldman, M. W. (2000) “Niche construction, biological evolution, and cultural change”. *Behavioral and Brain Sciences* 23: 131-175.
- [16] Lamarck, J. B. (1809) *Filosofía Zoológica*. Alta Fulla, Barcelona.
- [17] Lewontin, R. C. (2000) *Genes, organismo y ambiente: Las relaciones de causa y efecto en biología*. Gedisa, Buenos Aires.
- [18] Margulis, L. (2002) *Una revolución en la evolución* (Vol. 20). Universidad de Valencia, Valencia.
- [19] Mayr, E. (1942) *Systematics and the origin of species*. Columbia University Press, Nueva York.
- [20] Pigliucci, M. (2007) “Do we need an extended evolutionary synthesis?”. *Evolution* 61(12): 2743-2749.
- [21] Simpson, G. G. (1944) *Tempo and mode in evolution*. Columbia University Press, Nueva York.
- [22] Waddington, C. H. (1957) *The Strategy of the Genes; a Discussion of Some Aspects of Theoretical Biology*. Allen & Unwin, Londres.
- [23] Wright, S. (1931) “Evolution in mendelian populations”. *Genetics* 16: 97-159.