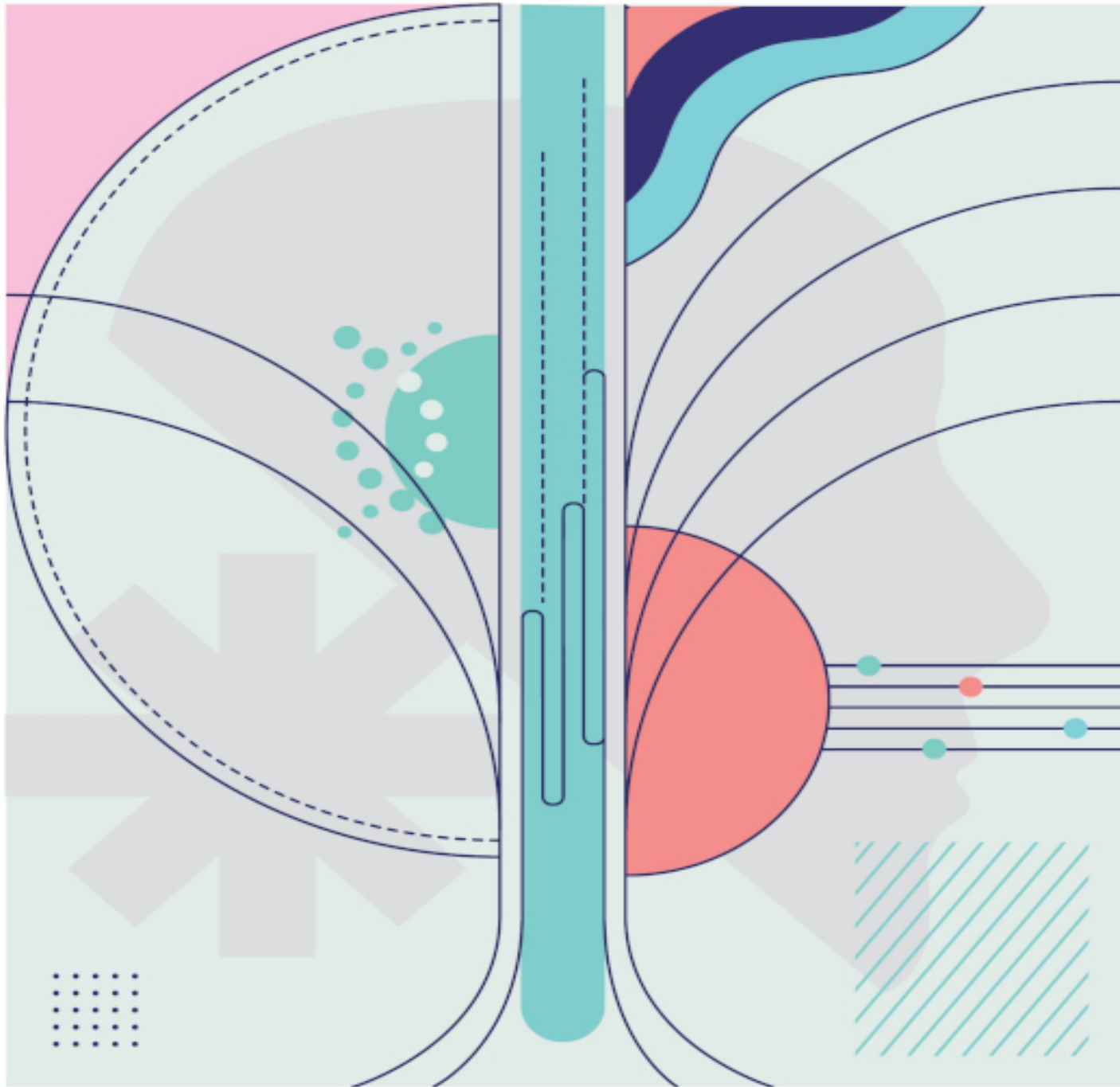


Biología teórica, explicaciones y complejidad

Colección Complejidad y Salud, Vol. 8



José Luis Cómbita y Carlos Eduardo Maldonado (Comps.)

BIEVEP
BIOLÓGICA EPISTEMOLÓGICA Y EPISTEMOLÓGICA
FUNDACIÓN

 **UNIVERSIDAD
EL BOSQUE**
Editorial

Colección Complejidad y Salud, Vol. 8

Biología teórica, explicaciones y complejidad



© Universidad El Bosque
© Editorial Universidad El Bosque
© Fundación BIEVEP

Rectora: María Clara Rangel Galvis

Biología teórica, explicaciones y complejidad
Colección *Complejidad y Salud*, Vol. 8

José Luis Cómbita (Comp.)
Carlos Eduardo Maldonado Castañeda (Comp.)
Myriam Viviana Delgado Merchán
Francesca Merlin
Aimer Alonso Gutiérrez Díaz
Rodrigo González Florián
Andrés Mauricio Forero Cano
Nelson Alfonso Gómez Cruz
Luis Fernando Niño Vásquez
Juan Pablo González Medina
Gustavo Caponi
Gabriel Vélez Cuartas
Germán Mariano Gasparini
Leopoldo Héctor Soibelzon
Esteban Soibelzon
Delfina Molina
Jorge Ari Noriega
Claudia Alejandra Medina Uribe
Alfredo Pereira Júnior

Vinícius Nunes Alves
Luis Alejandro Gómez Barrera
Francisco Osorio

Primera edición, diciembre de 2020
ISBN: 978-958-739-220-3 (Impreso)
ISBN: 978-958-739-221-0 (Digital)

Editor: Miller Alejandro Gallego Cataño
Dirección gráfica y diseño: María Camila Prieto Abello
Corrección de estilo: Liliana Ortiz Fonseca

Hecho en Bogotá D.C., Colombia
Vicerrectoría de Investigaciones
Editorial Universidad El Bosque
Av. Cra. 9 n.º 131A-02, Bloque A. 6.º piso
+57 (1) 648 9000, ext. 1395
editorial@unbosque.edu.co
www.investigaciones.unbosque.edu.co/editorial

Impresión: Image Print Limitada
Abril de 2021

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la Editorial Universidad El Bosque.

Universidad El Bosque | Vigilada Mineducación.
Reconocimiento como universidad: Resolución n° 327 del 5 de febrero de 1997, MEN. Reconocimiento de personería jurídica: Resolución 11153 del 4 de agosto de 1978, MEN. Reacreditación institucional de alta calidad: Resolución N° 013172 del 17 de julio 2020, MEN.

576.82 M15b

Maldonado, Carlos Eduardo

Biología teórica, explicaciones y complejidad / Carlos Eduardo Maldonado, José Luis Cómbita, Myriam Viviana Delgado Merchán, Francesca Merlin, Aimer Alonso Gutiérrez Díaz, Rodrigo González Florián, Andrés Mauricio Forero Cano, Nelson Alfonso Gómez Cruz, Luis Fernando Niño Vásquez, Juan Pablo González Medina, Gustavo Caponi, Gabriel Vélez Cuartas, Germán Mariano Gasparini, Leopoldo Héctor Soibelzon, Esteban Soibelzon, Delfina Molina, Jorge Ari Noriega, Claudia Alejandra Medina Uribe, Alfredo Pereira Júnior, Vinícius Nunes Alves, Luis Alejandro Gómez Barrera y Francisco Osorio -- Bogotá: Universidad El Bosque, 2021

768 p.; 16 x 24 cm -- (Colección Complejidad y Salud; Vol. 8) Incluye tabla de contenido, índices y referencias bibliográficas al terminar cada capítulo

ISBN: 9789587392203 (Impreso)

ISBN: 9789587392210 (Digital)

1. Complejidad (Filosofía) 2. Evolución 3. Vida -- Origen 4. Biología evolutiva 5. Evaluación ecológica (Biología) 6. Biología - Investigaciones I. Cómbita, José Luis II. Delgado Merchán, Myriam Viviana III. Merlin, Francesca IV. Gutiérrez Díaz, Aimer Alonso V. González Florián, Rodrigo VI. Forero Cano, Andrés Mauricio VII. Gómez Cruz, Nelson Alfonso VIII. Niño Vásquez, Luis Fernando IX. González Medina, Juan Pablo X. Caponi, Gustavo XI. Vélez Cuartas, Gabriel XII. Mariano Gasparini, Germán XIII. Soibelzon, Leopoldo Héctor XIV. Soibelzon, Esteban XV. Molina, Delfina XVI. Noriega, Jorge Ari XVII. Medina Uribe, Claudia Alejandra XVIII. Pereira Júnior, Alfredo XIX. Nunes Alves,

Vinícius XX. Gómez Barrera, Luis Alejandro XXI. Osorio, Francisco XXII. Universidad El Bosque. Vicerrectoría de Investigaciones.

Fuente. SCDD 23^a ed. - Universidad El Bosque. Biblioteca
Juan
Roa Vásquez (Marzo de 2021) - RR

Colección Complejidad y Salud, Vol. 8

Biología teórica, explicaciones y complejidad

José Luis Cómbita y Carlos Eduardo Maldonado (Comps.)



Contenido

/ _____ **Introducción**
Carlos Eduardo Maldonado
Castañeda y José Luis Cómbita

Parte I _____ **Conceptos y problemas**

Cap. **1** _____ **Influencia del medio ambiente
en la teoría de la evolución**
José Luis Cómbita y Myriam Viviana
Delgado Merchán

Cap. **2** _____ **Epigenetics and/as complexity**
Carlos Eduardo Maldonado
Castañeda

Cap. **3** _____ **Two epistemic traditions in
epigenetics: A comparison**
Francesca Merlin

Cap. **4** _____ **Crítica de la primacía
ontológica de la herencia
genética sobre la epigenética**
Aimer Alonso Gutiérrez Díaz

- Cap. **5** _____ **Extendiendo el concepto de herencia desde la emergencia de nuevos niveles de organización e individualidad biológica**
Rodrigo González Florián
- Cap. **6** _____ **Origen y evolución de la forma orgánica: mecanismos de cambio evolutivo mediados por plasticidad fenotípica**
Andrés Mauricio Forero Cano
- Cap. **7** _____ **Computación biológica: el estudio de la naturaleza computacional de los sistemas vivos**
Nelson Alfonso Gómez Cruz y Luis Fernando Niño Vásquez
- Cap. **8** _____ **El lugar de la biomímesis en la intersección naturaleza-tecnología: delimitaciones y perspectivas de un “algo” en desarrollo**
Juan Pablo González Medina
- Cap. **9** _____ **La forma del árbol de la vida: la metáfora de un proceso de transformación constante**

Juan Pablo González Medina

Cap. **10** _____ **¿Qué les pasa a los linajes?**
Gustavo Caponi

Cap. **11** _____ **Notas para una teoría
primitiva del sentido**
Gabriel Vélez Cuartas

Parte II _____ **Explicaciones y enfoques**

Cap. **12** _____ **El Gran Intercambio Biótico
Americano (GIBA): un fenómeno
biológico sin precedentes**
Germán Mariano Gasparini,
Leopoldo Héctor Soibelzon y
Esteban Soibelzon

Cap. **13** _____ **Los pecaríes (Cetartiodactyla,
Mammalia) de América del Sur:
aspectos sistemáticos,
biogeográficos y ecológicos**
Germán Mariano Gasparini y Delfina
Molina

Cap. **14** _____ **Darwin y los coleópteros: de
hobby a pasión y de pasión a
semilla inspiradora**
Jorge Ari Noriega

Cap. **15** _____ **Cuidado parental y evolución del rasgo subsocial en los escarabajos de la subfamilia Scarabaeinae (Coleoptera)**
Claudia Alejandra Medina Uribe

Cap. **16** _____ **Cognition and sentience in plants: A lesson from the astrocyte**
Alfredo Pereira Júnior y Vinícius Nunes Alves

Cap. **17** _____ **El cáncer: una expresión de la complejidad de la vida**
Luis Alejandro Gómez Barrera

Cap. **18** _____ **Las ciencias sociales miran a la biología**
Francisco Osorio

/ _____ **Los autores**

/ _____ **Índice temático**

/ _____ **Índice onomástico**

/ **Introducción**

Se puede decir que análogamente a como los cuerpos empiezan a caer en el universo a partir de Newton, asimismo la vida nace en 1942 gracias al libro *¿Qué es la vida?*, de Erwin Schrödinger. Más radicalmente, si le creemos al poeta Alexander Jenkins, Dios creó a Newton y entonces “se hizo la luz”, dado que antes de Newton nadie había explicado su naturaleza a partir de fenómenos de difracción y de refracción. En verdad, las cosas en sí mismas no son nada: son la tematización, la problematización y la explicación de ellas mismas. Pues bien, aunque la palabra “vida” ya existía, fue solo con el libro de Schrödinger cuando nació la vida como un programa de investigación.

Nuestra época, a diferencia de cualquier otro periodo en la historia de la humanidad, se caracteriza porque gira en torno a un problema: comprender qué son los sistemas vivos, qué es la vida, cuál es su origen, cómo se hacen posibles. Sin duda, el mejor antecedente de Schrödinger fue el *Origen de las especies por medio de la selección natural*, de Darwin (1859). Indudablemente la mejor teoría jamás desarrollada para explicar cambios y transformaciones fue la teoría de la evolución, solo que, como es sabido, esta se ha venido ampliando hasta nuestros días con algunas explicaciones complementarias y otras alternativas.

Sin embargo, existe una circunstancia, un hecho científico, filosófico y culturalmente maravilloso: se trata de que la vida es un fenómeno contraintuitivo. Nadie ve ni ha visto la vida: vemos sistemas vivos, desde las bacterias hasta los mamíferos y los seres humanos; vemos expresiones y efectos de la vida, pero no a ella como tal.

Este hecho tiene que ver con la Segunda y la Tercera Revolución Industrial, o científico-tecnológica, en marcha, a saber: los temas de que se ocupan ya no descansan en el primado de la percepción natural.

El estudio, la comprensión y explicación de la vida y de los fenómenos vivos: un tema que alguna vez perteneció exclusivamente a los biólogos, hoy atraviesa transversalmente al conjunto de ciencias y disciplinas que nos rodean. Es más, de manera singular, los biólogos mismos fueron siempre investigadores experimentales y aplicados: de manera atávica siempre estudiaban bacterias, corales, insectos, hongos, aves, mamíferos y demás. Pero, recientemente, y de manera creciente, también hay biólogos teóricos, esto es, biólogos que se dedican a la teoría, y con ella, a la filosofía de la biología. Estos son hoy por hoy los menos, pero su número es creciente y la comunidad y las actividades que los vinculan son cada vez más robustas, permeándose con investigadores de otras disciplinas: biólogos, químicos, matemáticos, expertos en sistemas informacionales, ingenieros y científicos de las ciencias sociales y humanas, entre otros. No cabe duda de que estos encuentros son beneficios para todas las partes.

Pues bien, el libro que tenemos con nosotros, ante nosotros, es el resultado del encuentro, sostenido en el tiempo, de una comunidad académica y científica con un interés central por la vida, esto es, por hacerla posible y cada vez más posible.

En este caso, dos ejes se han conjugado: el grupo de biología evolutiva y epistemológica, cuyo origen estuvo y está en torno a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en Tunja (Boyacá, Colombia), y el grupo de investigación Complejidad y Salud Pública de la Facultad de Medicina de la Universidad El Bosque. El hilo que une a ambos es dúplice: las ciencias de la vida y las ciencias de la salud, dos grupos de ciencias con imbricaciones cada vez más estrechas a medida que avanza la ciencia y la

investigación. Aunado a esta conjugación, confluyen también, entre otras colaboraciones, las del grupo Biología Teórica de la Universidad Nacional de Colombia, y asimismo de nutridos pensamientos provenientes de juiciosas escuelas de otras latitudes.

Subrayemos esta idea: es posible y necesaria una biología teórica. Con ella entendemos una tarea de la más grande envergadura, a saber: comprender y explicar la vida, esto es, los sistemas vivos. Verosímilmente, los tres más grandes -o últimos- problemas para la ciencia y la filosofía son: primero, entender el origen y la naturaleza del universo. Recientemente la cosmología científica ha arrojado luces al respecto: vivimos en un universo no ergódico, en el que han sucedido dos grandes transiciones de fase, primero de la energía a la materia, y luego de la materia a la vida. Sabemos, positivamente, que cerca del 4 % del universo está hecho de materia bariátrica; al restante 96 % se lo denomina energía oscura y materia oscura.

El segundo último problema sería quizás el del destino del universo. Este podría consumarse en varios escenarios posibles: un *big crunch*, que es la contraparte del Big Bang, un enfriamiento fatal e ineluctable, o bien, el eventual encuentro con otros universos posibles y paralelos. El estudio de los más simples de todos los fenómenos en el universo, los agujeros negros, podrá arrojar luces sobre este problema.

Pero el tercer último problema es el que resulta más apasionante para los autores de este libro, a saber: entender el origen de la vida, y la lógica de los sistemas vivos; esto es, notablemente, qué hacen los sistemas vivos para vivir; la forma como este problema se despliega en términos del estudio de la vida tal-y-como-la-conocemos, y de la vida tal-y-como-podría-ser (*life-as-it-could-be*). Lo central es que la biología teórica es el título que abarca una visión comprensiva que se expresa como el enfoque *eco-evo-devo* (*ecological evolutionary developmental biology*),

atraviesa por la biología de sistemas, incorpora a la biología computacional tanto como a la computación biológica, y sabe, cada vez más, de la importancia de las grandes bases de datos (*big data science*).

La preocupación por entender el origen, la naturaleza y la lógica de los sistemas vivos es, manifiestamente, un campo inter-disciplinar que interpela por igual a biólogos, químicos, físicos, matemáticos, filósofos, científicos de las ciencias sociales y humanas, ingenieros y humanistas (= artes).

Como es sabido, la vida es una gran trama de procesos cooperativos en los que impera ampliamente la eusocialidad, la cooperación, el comensalismo y el mutualismo; la lucha y la competencia son en realidad excepciones, notables excepciones. Pues bien, las sinergias y los bucles de retroalimentación positivos también juegan aquí un papel singular. Este libro es el resultado de una red de cooperación real y virtual, desde Argentina y Chile hasta Brasil y Colombia, desde Francia y Estados Unidos, cruzando cordilleras y océanos. Las áreas de conocimiento comprenden especialmente a la biología, la sociología, la filosofía, la química y algunas áreas de las ciencias de la salud.

Los contenidos de este libro combinan, harmónicamente, temas de socialización del conocimiento y de producción de ciencia, y en cualquier caso, la calidad de los capítulos no da lugar a duda alguna acerca de una bien concordada polifonía: basta una mirada cuidadosa para apreciar un buen dominio del estado del arte en varios campos, la ponderación de auténticas líneas de investigación, la discusión de algunos de los problemas más apasionantes de la investigación de punta en el mundo, en fin, la reflexión crítica sobre ejes de trabajo, autores e incluso comportamientos de algunos sistemas vivos.

Una vía generalizada con la cual se han abordado las preguntas sobre la generación de vida y su decurso se encuentra concretamente dentro del estudio de la

evolución; esta, de por sí, tiene cabida en múltiples ciencias, y por ejemplo podría parecer singular si se refiriera a un evento particular en la historia: la evolución de la materia orgánica, la cual, a su vez, adquiere inevitablemente grados de pluralidad para lograr una explicación profunda. Conscientes de que en el tiempo en que vivimos no hay explicaciones ni certezas definitivas, proponemos en este libro diferentes puntos de partida, con el fin de inducir en el lector nuevas y sofisticadas perspectivas, explicaciones, problemas y enfoques más allá de los establecidos dentro de la ciencia normal.

Al igual que existen diferentes respuestas para los asuntos de la vida, y que para ella se han planteado múltiples orientaciones teóricas a seguir, los problemas dentro de las ciencias biológicas no pueden y no deberían ser ajenos a la consideración de re-tomar y abordar diferentes puntos de partida; lo anterior se ve reflejado dentro del texto, en secciones dedicadas al desarrollo de la conceptualización de la ciencia de la epigenética. Además del anterior abordaje, en el campo de la evolución y de lo que se transmite o se hereda, se involucran explicaciones integrales que contemplan aspectos sustentados en las teorías más recientes sobre la evolución del desarrollo y la síntesis evolutiva extendida.

Continuando, podemos imaginar que un punto de partida también puede tener un eje central de desarrollo o continuidad, y que la trayectoria trazada o recorrida por este es susceptible de bifurcaciones y derivaciones. Con Darwin, la idea del ancestro común, y por tanto la preocupación por la explicación de los linajes –ejemplificada en *El origen de las especies* a través de representaciones que asemejan árboles ramificados– también es un tema que transcurre al avanzar en el presente libro, precisamente mediante la reflexión sobre la idea del árbol *en sí* como representación de diversos conocimientos, y más adelante con una explicación rigurosa sobre lo que deviene a los

linajes. Los anteriores elementos, seguramente y a su juicio, podrán considerar una interpretación particular dentro del abordaje de los temas que transcurren y que están dedicados precisamente a linajes, a lo que geológicamente los determina, y a la participación de estos en la construcción de la historia de la teoría evolutiva.

Así como la idea de bifurcación ha estado presente (preexiste) en la naturaleza y a su vez en las explicaciones sobre el transcurrir de la evolución, los temas que trata el libro son divergentes, pero al igual que ocurre en la evolución, se presentan puntos de convergencia a través de estos, gracias precisamente a la adopción de una visión sistémica y del lenguaje propio de las ciencias de la complejidad: *complejidad, sistemas, epigenética, autoorganización, autopoiesis, eusociabilidad, jerarquías.*

La visión compleja dentro del texto también se puede apreciar en los diálogos que se sustentan dentro de los capítulos y que se dan acudiendo a la inclusión de temas poco explorados entre diversas ciencias, a saber: computación y naturaleza; historia natural y evolución; usos, diseño y función en la naturaleza y su aplicación a la tecnología y a la vida en sociedad; ciencias sociales y biología; aspectos propios de la salud, la enfermedad y la complejidad. Por supuesto, estos diálogos no mantienen ni son atravesados por una direccionalidad estricta y, en vez de esto, se van dando producto de las contingencias individuales y de diferentes puntos de partida adquiridos por los autores.

Los modelos tradicionales y hegemónicos que han gobernado el pensamiento y el quehacer científicos dejan de serlo precisamente porque las bases teóricas que los sustentan se nutren con el avance del conocimiento siempre cambiante, siempre innovador... Dentro del libro figuran diferentes perspectivas de la evolución, del seleccionismo, y asimismo visiones sistémicas lejos del determinismo, las cuales también podrán servir de sustrato para, si es

necesario, forjar el redireccionamiento de paradigmas que subyacen a concepciones cuasidogmáticas.

Detalles sobre la vida de Darwin y su peculiar capacidad de observación han sido bien documentados o mencionados en las obras que tratan de él; también se sabe muy bien sobre su correspondencia con reputados naturalistas, entre ellos varios entomólogos. De igual forma, ya es comúnmente sabida su preferencia por determinados grupos de organismos a los que dedicaría volúmenes enteros de observaciones. Pero, adentrándose en los detalles, aún es vigente el establecimiento de diversas relaciones en el desarrollo intelectual de Darwin, como es el caso de su afición por los escarabajos, por sus formas y comportamientos, y el papel de estos en la derivación de sus principales ideas. Y es que, hoy en día, la observación directa sobre el comportamiento y la forma de estos innumerables insectos sigue siendo fuente de inspiración para quienes se ocupan del entendimiento de teorías tan complejas como puede ser la emergencia de la eusociabilidad, fenómeno convergente y sin lugar a duda complejo.

Carlos Eduardo Maldonado
José Luis Cómbita

Parte I
**Conceptos y
problemas**

1 _____ Influencia del medio ambiente en la teoría de la evolución

José Luis Cómbita
Myriam Viviana Delgado Merchán

For a man owes his birth to another man and to the sun.

Aristóteles

1 Introducción

En palabras de Maynard Smith, “solo dos teorías de la evolución han avanzado: una que se origina con Lamarck, y otra que se origina con Darwin” (Leith, 1986). Aunque es frecuente relacionar la teoría de la evolución como un hecho netamente darwiniano, la sentencia de Smith hace justicia al incluir el avance de la teoría de Lamarck y no su derrota o caducidad, como se ha presentado frecuentemente en la mayoría de las obras que tratan sobre evolución. Y es que, en la consolidación realizada durante la síntesis moderna y el neodarwinismo, la negación de la propuesta de la herencia de los caracteres adquiridos de Lamarck, adoptada dentro de la obra de Darwin, fue un tema de gran ocupación

por parte del núcleo neodarwinista gestado a finales del siglo XIX y comienzos del XX.

Para autolegitimarse, el neodarwinismo adoptó, entre otras estrategias, un antilamarckismo en todos los aspectos -incluido el político, dada la Guerra Fría-, el cual surgió después de superar la dificultad de entender y aceptar el papel de la selección natural en la evolución, en lo que Peter Bowler (1983) llamó el *eclipse del darwinismo*. Sin embargo, la explicación lamarckiana fue difícil de erradicar en los puntos en que se prestaba para explicar la adaptación darwiniana.

Si se trata de hacer justicia sobre la “derrota” del lamarckismo, esta se debe atribuir indirectamente a los nacientes trabajos en termodinámica que revolucionaron las ciencias a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX (Andrade, 2006), ya que fueron estos descubrimientos los que determinaron la verdadera esencia del calor como producto del movimiento de partículas (moléculas), y no como el fluido (fluido vital) que soportaba el corpus teórico lamarckiano.

No obstante, fueron otros aspectos de la teoría de Lamarck los que tuvieron mayor repercusión dentro del desarrollo del pensamiento evolutivo, y en concreto dentro del desarrollo del pensamiento darwiniano, como el efecto del clima sobre la transformación de los organismos y la herencia de caracteres adquiridos a través de las modificaciones inducidas producto de la variación climática. A estos fenómenos se les encontraría como opuestos o anómalos dentro de la teoría de la evolución por selección natural de Darwin y en la trayectoria seguida por esta durante la síntesis evolutiva.

Si bien Lamarck y Darwin fueron complementarios, el antagonismo entre los dos se elaboró producto del trabajo experimental de importantes científicos, como August Weismann (1893), quien a finales del siglo XIX intentó demostrar la imposibilidad de la herencia de los caracteres

adquiridos. Sin embargo, él mismo no descartó por completo la influencia del medio ambiente sobre los factores hereditarios presentes en el núcleo celular, y consideró que los organismos inferiores podrían haber ganado determinantes a lo largo de la vida y la evolución, antes de la aparición de los organismos en los que se dio una clara separación entre las células germinales y las somáticas.

Por otra parte, mucho antes de las ideas evolucionistas de Lamarck y Darwin, y de lo que derivó de las teorías de Weismann (1893) sobre la continuidad del plasma germinal, la concepción del gen como partícula y el dogma central de la biología molecular, e incluso antes de la formulación del modelo representado por el paisaje epigenético de Waddington (1942), ya se había gestado la noción del desarrollo paulatino del ser vivo dentro de un campo teórico a lo largo de un proceso epigenético de diferenciación celular denominado “epigénesis”, el cual ayudaría a dar soporte más adelante a lo que actualmente conocemos como teoría epigenética. Sin embargo, la mayoría de los fenómenos epigenéticos se interpretaron como anomalías a través de las primeras consolidaciones en la historia de la herencia (Müller-Wille y Rheinberger, 2012). La evidencia experimental que se ha acumulado producto de la investigación durante las últimas décadas sugiere que los mecanismos epigenéticos pueden alterar la función de los genes en respuesta a la acción del medio ambiente sobre los tejidos somáticos (Szyf, 2012, 2014).

Actualmente, los procesos epigenéticos se prestan, por un lado, para una interpretación congruente con una perspectiva de la biología de sistemas, y por el otro, con nuevos enfoques moleculares reduccionistas. Por tanto, la epigenética actual va más allá de la acción del medio ambiente sobre la generación de la forma, al tener un papel fundamental en el enlace entre genética, ambiente y

desarrollo, con lo cual participa también en la construcción epistemológica de la biología misma.

2 Corriente epigenética y transmisión de caracteres adquiridos

Algunos autores sitúan el surgimiento del concepto *epigenética* emitido por Conrad Hal Waddington a finales de la década de 1930 (Nicoglou y Merlin, 2017), otros a principios de 1940 (Jablonka y Lamb, 2002), u, omitiendo a Waddington, hacia 1983 (Gibbs, 2004); incluso se ha relacionado como un fenómeno derivado directamente de la teoría de la “epigénesis” (Holliday, 1994). Y es que, si bien el concepto de epigenética acude a nuestra actualidad a partir de los trabajos de Waddington, también existen variadas referencias equiparables con los fenómenos epigenéticos actuales que, aun sin ser conceptos precisos y demostrables, sí permitieron trazar la trayectoria que llevó al concepto moderno.

En términos generales, la epigenética se puede definir como el estudio de los factores y mecanismos que dan lugar a efectos persistentes durante el desarrollo, y sustentan la canalización y plasticidad de este. Dentro de este esquema, y en un sentido específico y a la vez amplio de la palabra, la herencia epigenética corresponde a la transmisión hereditaria de variaciones ontogenéticas fenotípicas que no surgen de diferencias en la secuencia de ADN o de señales inductoras persistentes en el ambiente (Gissis y Jablonka, 2011).

Aun así, para hablar en términos de epigenética o de lo que se transmite más allá de los genes vía reproducción y herencia causal (Waddington, 1942), se puede recurrir a dos vías:

1. la epigenética directamente relacionada con la ciencia de la genética, que encuentra sus explicaciones más

recientes en una vía o campo de estudio altamente ligado a la estructura molecular del genoma, y que tiende a enmarcarse dentro de un esquema que se podría considerar como reduccionista, el cual integra mecanismos que incluyen la modificación de la molécula de ADN por sí misma a través tanto de metilación e hidroximetilación como de modificaciones en la cromatina (Ficz *et al.*, 2011; Razin y Riggs, 1980; Szyf, 2014; Turner, 2002), y

2. la epigenética como explicación de la generación de la forma, que, en sí, involucra todos aquellos factores que actúan desde el ambiente o entorno propios de cada organismo, los cuales activan las rutas del desarrollo o la morfogénesis en concordancia con los factores causales provistos a partir de los programas genéticos, epigenéticos e informacionales a manera de continuidad genealógica (Andrade, 2009c; Roth, 2011), desde una perspectiva extendida, en donde también tienen lugar las explicaciones basadas en fuerzas físicas (constreñimiento físico) y factores físico-químicos en la generación de la forma, a la manera de D'Arcy Thompson (1917) y Alan Turing (1952) (Morange, 2009).

Las aproximaciones a la fundamentación de las teorías epigenéticas están fuertemente arraigadas a las concepciones sistémicas de la biología y encuentran una vía de proliferación dentro del estudio del desarrollo del organismo y su evolución, más exactamente, y en un principio, a partir del estudio del desarrollo embriológico y del surgimiento de los planes corporales en los seres vivos.

Dada su versatilidad, la epigenética puede ser susceptible de reorientaciones, y una de ellas puede ser su ubicación dentro de la teoría de sistemas (Bertalanffy, 1976), a saber, dentro de un pensamiento y una visión del mundo resultante a partir de la introducción del "sistema" como nuevo paradigma científico, en contraste con el paradigma

analítico, mecanicista y unidireccionalmente causal de la ciencia clásica. Esta ubicación podría encajar de manera elocuente con la propia visión de Waddington (2012):

We know comparatively little about the general characteristics of an epigenotype. One general feature, however, is that it consists of concatenations of processes linked together in a network, so that a disturbance at an early stage may gradually cause more and more far reaching abnormalities in many different organs and tissues. (p. 10)

Influenciado por un marco epistemológico situado en los métodos de la ciencia clásica, el neodarwinismo tomó el gen como elemento de referencia, partícula y unidad física para explicar la evolución de las poblaciones, y a partir de la década de los cincuenta como unidad molecular para delimitar en estos la transmisión de los caracteres y la generación de la forma dentro de un esquema unidireccional. Ahora, con la visión sistémica hemos aprendido que para comprender la naturaleza no se requieren solo los elementos por sí solos, sino las relaciones entre ellos (Bertalanffy, 1976).

Así, el clima como factor de transformación y la acción mediada por este en los procesos evolutivos se suponían aislados y gobernados según una concepción reduccionista dentro del pensamiento de Lamarck para explicar la variación; este reaparece como un factor complementario en la teoría de Darwin para explicar la herencia, y se dilata en las teorías de Weismann a consecuencia de las barreras presentes en el plasma germinal. No obstante, con el advenimiento de las teorías epigenéticas, y en especial con el modelo representado por el paisaje epigenético de Waddington, se abre de nuevo el paso a la inclusión del clima como factor de cambio en las explicaciones sobre el desarrollo ontogenético, al considerar escenarios en los

cuales, ante los cambios medioambientales, los organismos tendrían la capacidad de ajustarse fisiológicamente a estos cambios a partir de la modificación del paisaje epigenético, o sea a partir de la modificación de la interfase dinámica entre los genes y el medio ambiente, lo cual conllevaría modificaciones o estabilizaciones en las rutas de desarrollo (Andrade, 2009c; Morange, 2009; Waddington, 1941).

Según los argumentos anteriores, en seguida se aborda a Lamarck, Darwin y Weismann, considerados como muy importantes en la trayectoria del pensamiento y la estructuración de la teoría evolutiva, y que hacen referencia a la acción del medio ambiente sobre la transformación del ser vivo.

3 Lamarck, Darwin y Weismann

Aunque la obra de Lamarck se presenta como el proyecto fundacional para explicar la generación de la vida por medio de leyes físicas: generación espontánea -entendida como autoorganización de la materia (Andrade, 2009c)- y como una reivindicación de la herencia de los caracteres adquiridos (Jablonka y Lamb, 1995), dentro su obra se aborda específicamente la concepción clásica del efecto del ambiente en la variación de los organismos, ya que, por lo general, este se presenta allí como un inductor de la variación en primera instancia.

En una primera aproximación, el propósito fundamental de la obra zoológica de Lamarck fue el de controvertir la creencia en la invariabilidad -o fijismo- de las especies (Elliot, 1963). Sin embargo, en un sentido más amplio, en su obra Lamarck propuso que el medio ambiente desvía las producciones de la naturaleza de su *plan* hacia una mayor complejidad en la organización, y que esta desviación era contrarrestada por los organismos mediante el hábito, uso y desuso, generando así las modificaciones.

Como hipótesis nula, en la situación ideal la evolución sería completamente gradual y progresiva si el ambiente

fuera constante, puesto que el *plan de la naturaleza* determinaría el proceso. Pero dadas las modificaciones accidentales (azarosas) del medio ambiente, la vida se ramifica, las variaciones dejan de ser graduales y aparecen ramas o líneas de modificación independientes. Por consiguiente, cualquier cambio en el ambiente requería un cambio correspondiente en las especies. Sobre la explicación de la variación de la forma en la dimensión evolucionista lamarckiana, el ambiente se presentaba allí como el inductor de las actividades y los hábitos en el animal, y en consecuencia, determinadas actividades y hábitos repercutían tanto en la modificación de la organización y estructura de los cuerpos vivientes como en la conservación de las modificaciones vía reproducción:

All the acquisitions or losses wrought by nature on individuals, through the influence of the environment in which their race has long been placed, and hence through the influence of the predominant use or permanent disuse of any organ; all these are preserved by reproduction to the new individuals which arise, provided that the acquired modifications are common to both sexes, or at least to the individuals which produce the young. (Lamarck, 1963, p. 113)

La posibilidad de que la exposición al ambiente pueda guiar o direccionar adaptaciones fenotípicas transgeneracionales en ausencia de selección genética -lamarckismo clásico- ha sido tradicionalmente descartada, en especial por la falta de ejemplos claros y de un mecanismo intermediario entre el ambiente y la alteración estable de la función genética que pueda transmitirse de manera constante a través de la línea germinal (Szyf, 2014). La idea de la herencia de las características adquiridas activamente como un medio para facilitar la adaptación fue abandonada por la mayoría de los biólogos en Occidente en los años veinte y treinta, con el

advenimiento de la genética de poblaciones, una síntesis de la genética mendeliana y la teoría evolutiva generada por Ronald Fisher, John Haldane y Sewall Wright (Deichmann, 2016b). Sin embargo, y a pesar del sesgo antilamarckiano existente en la cultura científica proveniente de Occidente, el problema de la herencia de los caracteres adquiridos que propuso Lamarck se presenta hoy como parte de las investigaciones sobre herencia epigenética (Andrade, 2009c), y dentro de estas investigaciones la reconsideración del carácter adquirido no solo se contempla como la producción concreta de variaciones morfológicas fenotípicas, sino también comportamentales y fisiológicas (Szyf, 2014).

Como bien lo han indicado algunos autores (Andrade, 2009b, 2009a; Vallejo, 2002), en sucesivas ediciones de *El origen de las especies* (Darwin, 1872), y a través del desarrollo intelectual de Darwin, existen diferentes alusiones al problema de la variación de la forma para las que Darwin recurrió a la explicación lamarckiana sobre el uso y el desuso de las partes y su heredabilidad:

[...] I think there can be no doubt that use in our domestic animals has strengthened and enlarged certain parts, and disuse diminished them; and that such modifications are inherited. (Darwin, 1872, p. 1088)

Incluso en su obra figuran algunas menciones en las cuales se atribuye un refuerzo por parte de la selección natural a los efectos heredados por el uso y desuso:

We should keep in mind, as I have before insisted, that the inherited effects of the increased use of parts, and perhaps of their disuse, will be strengthened by natural selection. (Darwin, 1872, p. 188)

Así mismo, las manifestaciones en las que Darwin reflexionaría más tarde sobre la poca importancia que le dio a la influencia del medio ambiente dentro de sus explicaciones sobre la variación de la forma a lo largo de su obra:

In my opinion the greatest error which I have committed, has been not allowing sufficient weight to the direct action of the environment, *i. e.* food, climate, etc., independently of natural selection. (Darwin, 1876, p.396)

No obstante, en su obra *The Variation of Animals and Plants under Domestication* (Darwin, 1868), Darwin intentó explicar los medios por los cuales los caracteres se transmiten de generación en generación, con lo que él denominó como *hipótesis provisional de la pangénesis*. Esta hipótesis sugería que en un organismo todas las células son capaces de desprender diminutas partículas -a las que llamó gémulas- capaces de circular a través del cuerpo hasta congregarse en las células germinales. Luego, estas partículas son transmitidas a la siguiente generación y son las responsables de transmitir las características de los padres a su descendencia. Por lo tanto, si alguna de las células parentales experimenta variaciones como resultado del cambio ambiental, estas transmiten gémulas modificadas a sus descendientes (Liu, 2008):

Finally, we can see on the hypothesis of pangenesis that variability depends on at least two distinct groups of causes. Firstly, on the deficiency, superabundance, fusion, and transposition of gemmules, and on the redevelopment of those which have long been dormant. In these cases the gemmules themselves have undergone no modification; but the mutations in the above respects will amply account for much fluctuating

variability. Secondly, in the cases in which the organisation has been modified by changed conditions, the increased use or disuse of parts, or any other cause, the gemmules cast off from the modified units of the body will be themselves modified, and, when sufficiently multiplied, will be developed into new and changed structures. (Darwin, 1868, p.396-397)

Aunque el propio Darwin mantuvo su hipótesis como provisional, sentía una profunda convicción de que la pangénesis sería finalmente aceptada (Liu, 2008). Dentro de las causas que llevaron a que esta hipótesis fuera ignorada, se encuentran los experimentos de transfusión de sangre realizados por Francis Galton (1871) para probarla, los cuales obtuvieron resultados negativos, pues no se encontró evidencia alguna de la existencia de las “gémulas”. Sin embargo, existen experimentos de transfusiones de sangre realizados en las décadas de 1950 a 1970, los cuales, después de revisarlos, dan cuenta de la producción de alteraciones de rasgos hereditarios en la descendencia de animales de granja (Liu, 2008).

Durante las últimas décadas, la detección de ADN/ARN y priones circundantes en la savia de las plantas y en el plasma de humanos, ha dejado una ventana abierta a la existencia de moléculas que podrían actuar a la manera de las gémulas de Darwin (Liu, 2008). Otros candidatos atractivos que podrían actuar de esta forma serían los microARNs, los cuales podrían circular sistémica-mente desde el cerebro hasta el esperma y dirigirse a secuencias específicas en el genoma (Liu, 2008; Rodgers *et al.*, 2013).

A menudo las innumerables referencias sobre el legado de Weismann pasan por alto el hecho de que dentro de su concepción evolutiva hubo lugar a considerar que el plasma nuclear que se transmitía por la línea germinal era susceptible de adquirir nuevas cualidades. Weismann supuso que el plasma germinal cambiaba espontáneamente