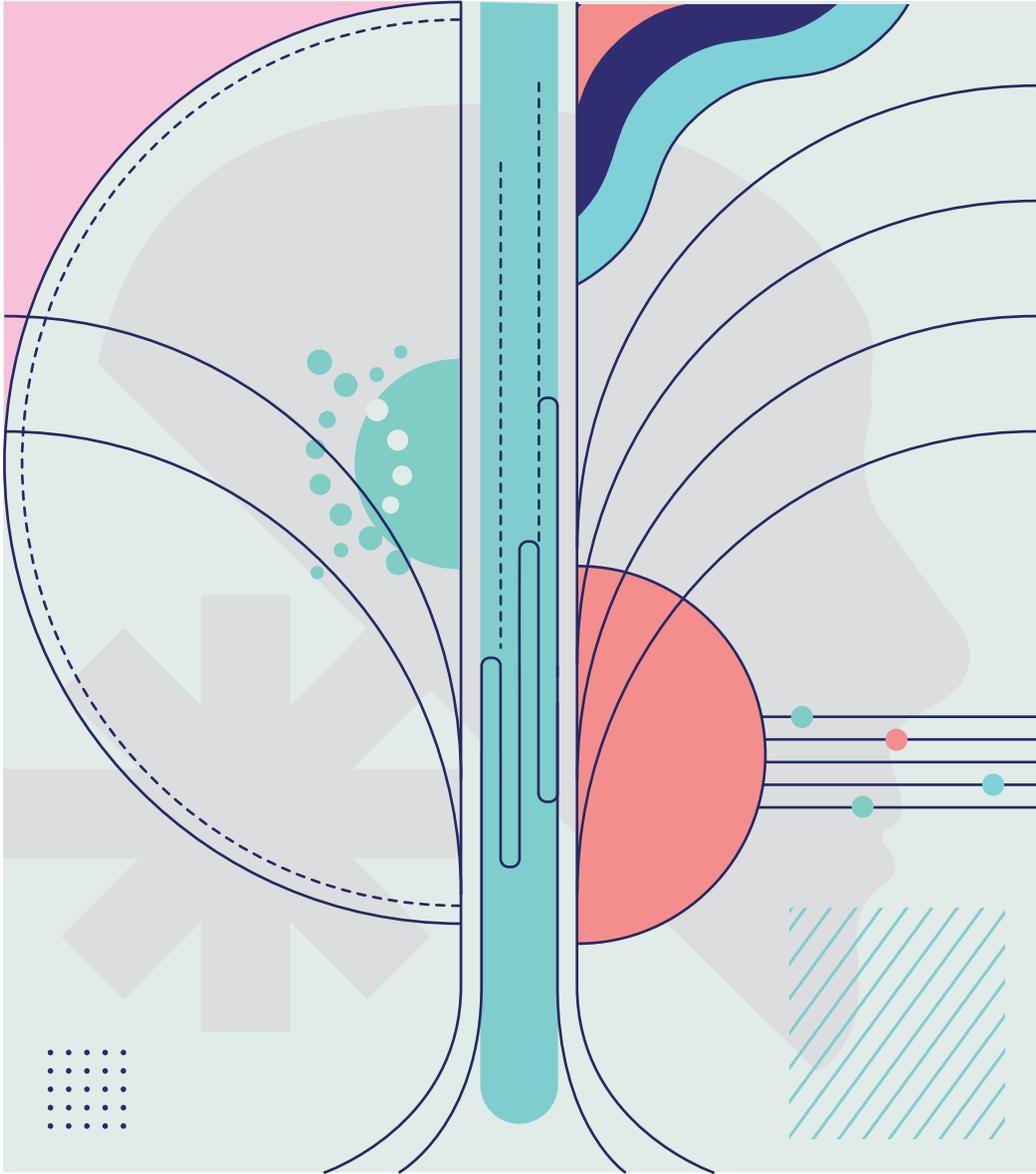


Biología teórica, explicaciones y complejidad

Colección Complejidad y Salud, Vol. 8



José Luis Cómbita y Carlos Eduardo Maldonado (Comps.)

BIEVEP
BIOLOGÍA EVOLUTIVA 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 Cóbbita (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.º 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.º 013172 del 17 de julio 2020, MEN.

576.82 M15b

Maldonado, Carlos Eduardo

Biología teórica, explicaciones y complejidad / Carlos Eduardo Maldonado, José Luis Cóbbita, 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. Cóbbita, 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 23ª 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

/ _____

Parte I _____

Cap. **1** _____

Cap. **2** _____

Cap. **3** _____

Cap. **4** _____

Cap. **5** _____

Cap. **6** _____

Cap. **7** _____

Introducción	3
Carlos Eduardo Maldonado Castañeda y José Luis Cómbita	
Conceptos y problemas	23
Influencia del medio ambiente en la teoría de la evolución	
José Luis Cómbita y Myriam Viviana Delgado Merchán	
	25
Epigenetics and/as complexity	
Carlos Eduardo Maldonado Castañeda	53
Two epistemic traditions in epigenetics: A comparison	
Francesca Merlin	73
Crítica de la primacía ontológica de la herencia genética sobre la epigenética	
Aimer Alonso Gutiérrez Díaz	99
Extendiendo el concepto de herencia desde la emergencia de nuevos niveles de organización e individualidad biológica	
Rodrigo González Florián	135
Origen y evolución de la forma orgánica: mecanismos de cambio evolutivo mediados por plasticidad fenotípica	
Andrés Mauricio Forero Cano	173
Computación biológica: el estudio de la naturaleza computacional de los sistemas vivos	
Nelson Alfonso Gómez Cruz y Luis Fernando Niño Vásquez	237

Contenido

Cap. **8** _____

Cap. **9** _____

Cap. **10** _____

Cap. **11** _____

Parte II _____

Cap. **12** _____

Cap. **13** _____

Cap. **14** _____

**El lugar de la biomimesis en la intersección naturaleza-
tecnología: delimitaciones y perspectivas de un “algo”
en desarrollo**

Juan Pablo González Medina

297

**La forma del árbol de la vida: la metáfora de un proceso
de transformación constante**

Juan Pablo González Medina

341

¿Qué les pasa a los linajes?

Gustavo Caponi

403

Notas para una teoría primitiva del sentido

Gabriel Vélez Cuartas

464

Explicaciones y enfoques

505

**El Gran Intercambio Biótico Americano (GIBA): un
fenómeno biológico sin precedentes**

Germán Mariano Gasparini, Leopoldo Héctor Soibelzon y
Esteban Soibelzon

507

**Los pecaríes (Cetartiodactyla, Mammalia) de América del
Sur: aspectos sistemáticos, biogeográficos y ecológicos**

Germán Mariano Gasparini y Delfina Molina

565

**Darwin y los coleópteros: de *hobby* a pasión y de pasión a
semilla inspiradora**

Jorge Ari Noriega

609

Contenido

Cap. **15**

Cap. **16**

Cap. **17**

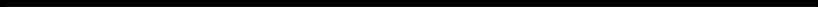
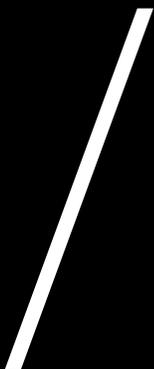
Cap. **18**

/

/

/

Cuidado parental y evolución del rasgo subsocial en los escarabajos de la subfamilia Scarabaeinae (Coleoptera) Claudia Alejandra Medina Uribe	631
Cognition and sentience in plants: A lesson from the astrocyte Alfredo Pereira Júnior y Vinícius Nunes Alves	663
El cáncer: una expresión de la complejidad de la vida Luis Alejandro Gómez Barrera	679
Las ciencias sociales miran a la biología Francisco Osorio	707
Los autores	729
Índice temático	744
Índice onomástico	762



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 interdisciplinar 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 curso 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 considerarse 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 (pre-existe) 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 pre-

cisamente 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

José Luis Cómbita
Myriam Viviana Delgado Merchán

Influencia del medio ambiente en la teoría de la evolución

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

Aristóteles

1.1 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 traba-

jos 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.

1.2 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 ontogénicas 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):