



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Epigénesis y Preformismo: Un análisis de su poder explicativo en la  
biología contemporánea**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**Anayansi Sierralta Gutiérrez**



**DIRECTOR DE TESIS:  
Dr. Lev Orlando Jardón Barbolla**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.  
2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A todas las personas con depresión.

A quienes a pesar de ella se levantan y construyen cosas.

A quienes a causa de ella no han podido levantarse todavía.

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Facultad de Ciencias y el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH) por ser las instituciones que guiaron mi formación universitaria y me brindaron el espacio y recursos para plantear y llevar a cabo el presente trabajo.

A los proyectos PAPIIT IN-402013 e IN-400416 que me otorgaron apoyo económico y facilitaron mi término de estudios y elaboración de tesis.

A Lev Jardón Barbolla por su infinita paciencia, su ayuda y su confianza en mí. Gracias por el apoyo académico y personal. Gracias por haberme ayudado a hacer este trabajo lo que es y por recordarme siempre que las cosas valen la pena.

A Julio Muñoz Rubio por haberme permitido ser parte de un grupo de trabajo que no tiene equivalente en ningún otro lado y como parte del cual tuve la idea de hacer este proyecto de tesis. Gracias por ser un referente de trabajo crítico dentro de la filosofía y la biología.

A la Dra. Mariana Benítez Keinrad, la Dra. María de los Ángeles Eraña Lagos y la M. en C. María Alicia Villela González por su tiempo, sus valiosos comentarios y su ayuda para enriquecer este trabajo de tesis.

A mi familia. A mis padres Verónica y Roberto por brindarme alimento, vestido y techo. Les agradezco mucho que nunca me hiciera falta nada y que me apoyaran para realizar esta tesis en el tiempo que necesité. Gracias por todo su amor y su confianza. A mi hermana Gala, porque su esfuerzo

constante me motivó a hacer un mejor trabajo yo también. Gracias por escuchar con atención e interesarte en las cosas que hago. A mis abuelos Adelina, José Luis, Judith y Eduardo, porque forman parte de la persona que soy.

A Marco Garduño, por su amor, su amistad y su compañía. Por las largas discusiones que me ayudaron a desarrollar mis argumentos y tener más confianza en mi tesis. Por ser un ejemplo de trabajo duro y metódico. Gracias por andar junto a mí los largos y enredados caminos del conocimiento y por sentarte a mi lado a descansar en los pastitos de la comedia cuando hacía falta.

A Karinne Felker, porque su inmenso cariño y su confianza en mí me ayudaron a seguir trabajando cuando las cosas fueron difíciles y me llenaron de ánimo para llegar hasta el final y celebrar bailando. *Thank you for showing me how to be strong in the real way.*

A Daniel Serratos, por ayudarme a mantener vivo mi interés en la controversia científica y social. Por compartir conmigo lecturas y por llevarme a eventos de arte y ciencia. Gracias por brindarme tu amistad y ser una buena influencia de maneras que no te imaginas.

A mis compañeros del Taller *Teoría de la Evolución, Ideología y Reduccionismo: un Enfoque Dialéctico*, por las enseñanzas, las discusiones y por haberme permitido conocerlos y crecer con ellos.

A Alí, por su invaluable ayuda en todas las áreas en que me la brindó. Gracias por ser apoyo moral, por estar abierto al debate, por reír conmigo, de mí y de ti. Por haber estado siempre dispuesto a auxiliarme en materia burocrática,

por haberme salvado varias veces con tus conocimientos de tramitología. Bendito seas como la lluvia en África.

A Tania, por compartir conmigo su saber y su sentir. Gracias por tu amistad, por las dudas y angustia que compartidas se hicieron menos, por las alegrías que todavía nos faltan celebrar. Por recordarme que otro mundo es posible.

A Nicté, porque sus dudas enriquecieron siempre las discusiones y su risa las hizo ligeras. A Alethia, porque su trabajo duro y su inteligencia son siempre una inspiración. A Adrianita, por su amabilidad y su trato gentil. A Diana Itzell, Diana Julia, Elena, Eva, Juan Pablo, Karlita y Leah.

A mis compañeras tesistas, porque el seminario es un espacio de trabajo donde pude dar forma a mi proyecto de investigación con ayuda de sus comentarios y sugerencias. A Julia, por sus buenas recomendaciones en la etapa temprana de mi trabajo y por sus buenos ánimos en la etapa tardía. A Ana Laura, por su compañía y su apoyo desde el servicio social hasta la terminación de mi tesis. A Omar, Andrea y Cristina, por permitirme conocerlos mejor a través de la exposición y discusión de sus proyectos.

A mis amigos de la carrera, con los que compartí materias, noches de estudio, mañanas de exámenes y finales de semestre. A Tetsuya, Leonardo, Sandra, Juan, Abraham, Jorge (Pelú) y Taracena. Mención honorífica para Hugo y Franco, a quienes no conocí en la facultad pero con quienes hice amistad durante el período en que elaboré mi tesis.

A mis amigos de la preparatoria, Aura, Abi, Víctor, Scarlet y a todo el quinteto. Gracias por todos estos años de amistad y por los que faltan.

A todos los científicos, sociólogos y filósofos cuyo trabajo fue inspiración para realizar este proyecto: Richard Lewontin, Richard Levins, Steven y Hilary Rose, Stephen Jay Gould, Eva Jablonka, Marion Lamb, Susan Oyama, Elliott Sober, Andrew Feenberg y Helena Sheehan. A Richard Dawkins, porque siempre se agradece tener un representante tan claro y explícito de aquello que se busca discutir.

A Rebecca Sugar, Amanda Palmer, Scott Bradlee y Toby Fox porque su música me acompañó y reconfortó durante el desarrollo de la tesis e hizo más ameno el viaje.

A los piratas rusos, sin los cuales no habría podido realizar una investigación de este tipo.

Y finalmente a mis queridos acompañantes felinos. A Ciro, por haber sido un excelente compañero en las noches de trabajo. A Kubrick y Sora, por sus cariños. A Venus, por hacerme reír con sus juegos.

## Índice

<b>RESUMEN</b> .....	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>El problema del desarrollo del fenotipo para la Biología actual</b> .....	<b>9</b>
<b>El determinismo genético y el genocentrismo</b> .....	<b>10</b>
<b>Hipótesis, objetivos y método</b> .....	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>18</b>
<b>Consecuencias problemáticas del genocentrismo</b> .....	<b>18</b>
<b>El determinismo y la sociedad</b> .....	<b>21</b>
<b>Vigencia del genocentrismo</b> .....	<b>24</b>
<b>Propuestas distintas del genocentrismo</b> .....	<b>26</b>
<b>La contradicción y coexistencia en ciencia</b> .....	<b>28</b>
<b>Perspectivismo científico y Dialéctica</b> .....	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>40</b>
<b>Epigénesis y Preformismo</b> .....	<b>40</b>
<b>Continuidad en el preformismo y la epigénesis</b> .....	<b>58</b>
<b>El llamado consenso moderno</b> .....	<b>62</b>
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>71</b>
<b>Causalidad en el preformismo</b> .....	<b>71</b>
<b>Causalidad en la epigénesis</b> .....	<b>78</b>
<b>Contraste entre las perspectivas teóricas</b> .....	<b>83</b>
<b>La matriz extra científica</b> .....	<b>86</b>
<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>99</b>

## RESUMEN

La epigénesis y el preformismo son dos visiones opuestas sobre la formación de los organismos que tuvieron su origen en el siglo XVII. Hay aspectos clave de estas visiones que pueden encontrarse en debates de la biología actual, particularmente en lo que respecta a la conformación del fenotipo.

Las explicaciones centradas en los genes asumen la existencia previa de información que guía el desarrollo de los seres vivos y poseen mucha similitud con la visión preformista de que los elementos que integran al organismo están presentes desde el momento en que es un cigoto. En cambio, las aproximaciones que dan mayor prioridad a los procesos que tienen lugar durante el desarrollo comparten con la epigénesis el rechazo a que los componentes iniciales de los organismos sean suficientes para determinar sus características a través del tiempo.

El presente trabajo se ocupa de explorar la posibilidad de que la prevalencia simultánea de estas dos perspectivas teóricas no se deba a que su poder explicativo sea equivalente sino a que una de ellas, el preformismo, recibe un gran apoyo de la matriz extra-científica en la que se realiza la ciencia como una actividad social.

Se realizó una investigación sobre las principales características del preformismo y la epigénesis a través de la historia que nos permiten observar su continuidad hasta nuestros días. Posteriormente se hizo un contraste entre defensas y críticas de estas dos visiones haciendo énfasis en el manejo que hacen de la causalidad al elaborar sus explicaciones. Después se discutió

la relevancia de conocer el contexto en el que se realiza la labor científica al momento de estudiar la vigencia de las perspectivas teóricas.

Se llegó a la conclusión de que la naturaleza lineal de la causalidad planteada por el preformismo hace que su capacidad para dar explicaciones satisfactorias, abrir nuevas áreas de estudio y rectificar su asignación de prioridades sea más limitada que la de la epigénesis, sin embargo, su compatibilidad con ciertos discursos sociales y su aparente simpleza integran un soporte extra-científico que podría explicar mejor su prevalencia.

El surgimiento reciente de trabajos alineados con la epigénesis demuestra un ímpetu por reconocer que el problema de la conformación del fenotipo posee una gran complejidad pero eso no lo vuelve incomprendible. Esto representa una ruptura con el discurso de que la realidad se tiene que estudiar siempre fragmentada o de otro modo se vuelve imposible de conocer.

## INTRODUCCIÓN

### **El problema del desarrollo del fenotipo para la Biología actual**

El desarrollo de los seres vivos ha sido una cuestión central para las ciencias biológicas desde hace siglos. Hoy en día entendemos al desarrollo biológico como la serie de etapas que llevan a la formación de un organismo adulto. Es el proceso de formación de un cuerpo organizado a partir de materia relativamente homogénea (Gilbert, 2010). Los mecanismos y procesos del desarrollo han sido estudiados de diversas maneras a través de la historia y han tenido impacto en otras áreas del conocimiento, como la fisiología, la ecología, la biotecnología, y la biología evolutiva.

Dado que la biología del desarrollo se ocupa de la conformación del fenotipo, entendiendo por fenotipo a los caracteres observables tanto en apariencia (morfológica, fisiológica, etc.) como en comportamiento de las células y los organismos<sup>1</sup> (Alberts *et al.*, 2008), y el estudio de la evolución está estrictamente relacionado con la presencia y características de lo que en conjunto forma el fenotipo, resulta de gran importancia para la biología evolutiva y la biología del desarrollo trabajar en concordancia la una con la otra.

Durante los siglos XX y XXI, el acuerdo entre las disciplinas a las que les concierne el desarrollo del fenotipo ha sido que éste es resultado de la acción

---

1 Otra definición de fenotipo es la proporcionada por Futuyma (2005) quien lo describe como “Las propiedades morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, conductuales, y otras de un organismo manifestadas a lo largo de su vida; o cualquier subconjunto de dichas propiedades, especialmente aquellas afectadas por un alelo particular u otra porción del genotipo.”

conjunta del genotipo<sup>2</sup> y el medio ambiente en el que existen, dando preferencia al genotipo como director del proceso.

### **El determinismo genético y el genocentrismo**

A la visión de que los distintos aspectos de las vidas humanas (y en general de los seres vivos) son consecuencia inevitable de propiedades bioquímicas de sus células, que a su vez se determinan por los genes que poseen los individuos, se le conoce como determinismo biológico (Lewontin, Rose & Kamin, 1996) y su enfoque más específicamente determinista genético se consolidó a mediados del siglo XX.

Este tipo de determinismo tiene origen parcial en la síntesis moderna de la biología evolutiva, pero no es exclusivo de ella, pues una de sus raíces más firmes puede observarse en el trabajo bioquímico de Beadle y Tatum (1941) cuyas primeras líneas se citan a continuación:

“DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA GENÉTICA FISIOLÓGICA, EL DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DE UN ORGANISMO CONSISTE ESENCIALMENTE EN UN SISTEMA INTEGRADO DE REACCIONES QUÍMICAS CONTROLADAS DE ALGUNA MANERA POR LOS GENES.” BEADLE, G. W. Y TATUM, E. L., *GENETIC CONTROL OF BIOCHEMICAL REACTIONS IN NEUROSPORA*. (1941)

---

<sup>2</sup> Entendido como el conjunto de genes de los organismos (Futuyma, 2005).

Sin embargo, como mencionan Eva Jablonka y Marion Lamb en *Evolution in four dimensions* (2014) hoy en día no hay ningún biólogo serio que le atribuya a los genes toda la responsabilidad sobre la conformación de los caracteres de los seres vivos. Actualmente se reconoce ampliamente la importancia del ambiente como parte fundamental para el desarrollo de los organismos; aunque siempre en segundo plano con respecto al genotipo.

Se trabaja con la premisa de que los genes construyen organismos bajo la influencia del medio ambiente, no que el medio ambiente construye organismos bajo la influencia de los genes, y es mucho menos frecuente que los organismos y el ambiente sean abordados en términos de una la relación de mutua determinación en la cual se construyan el uno al otro. Genes, organismo y ambiente se tratan como ejes independientes.

De este modo, la explicación de cómo los organismos son lo que son y cómo es que llegan a serlo se da en términos de activación génica, dándole a los genes una gran peso causal sobre el fenotipo, pero concediendo la acción del medio ambiente como factor que *influye* en el desarrollo. A esta perspectiva más moderada con respecto a la importancia de los elementos participantes en la construcción del fenotipo es a la que me referiré llamándola *genocentrismo*.

Se ha señalado que la preponderancia del genocentrismo en la biología actual tiene varias consecuencias problemáticas sobre el quehacer científico y sobre cómo repercute la ciencia en la sociedad. (Véase Lewontin, Rose, & Kamin (1996). *No está en los genes: crítica del racismo biológico*)

Comenzar a explorar ambos planos de dificultad resulta conveniente porque nos permitirá darle mayor profundidad a un problema de la biología que probablemente no es reducible a una discusión puramente epistemológica, esto se discutirá con más detalle en el capítulo siguiente.

### **Hipótesis, objetivos y método**

Uno de los argumentos que justifican la predilección por estudiar la evolución haciendo énfasis en la selección de genes es el de su generalidad de aplicación (Sterelny & Kitcher, 1988; Dawkins, 2016). Estos autores sostienen que es posible explicar en términos de selección génica fenómenos como la selección individual y de grupos, pero estas otras unidades no permiten hacer estimados de propiedades a niveles inferiores (la adecuación de grupos no puede expresar selección individual ni la selección individual puede representar los cambios en el DNA no codificante) (Gray, 2001). Y aunque se ha debatido que los cambios en los genes podrían ser interpretados como resultado de eventos ocurriendo en otros niveles y no como el origen causal de esos eventos (Sober & Lewontin, 1982), la visión de que el estudio de los genes tiene un mayor poder de explicación que el estudio de otros factores causales se mantiene hasta la fecha.

Sin embargo, mi hipótesis es que el preformismo –en su forma actual de genocentrismo– mantiene su vigencia por motivos que no estriban en su poder explicativo sino en el respaldo que recibe de la matriz extra-científica<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> De manera general empleo el término *matriz extra-científica* para referirme a aquellos elementos que por pertenecer al contexto en el que se hace la ciencia y no estrictamente a los que ella hace son considerados externos (factores como los económicos, ideológicos, psicológicos e históricos).

en la que se realiza la labor científica. En cambio, la forma como la epigénesis plantea las relaciones de causalidad le permite ofrecer respuestas más satisfactorias y abrir nuevas áreas de estudio.

Para poner a prueba esta hipótesis me propongo comparar aspectos metodológicos del preformismo y de la epigénesis que me permitan saber qué preguntas pueden responder y de qué manera lo hacen respectivamente.

Dado que la ciencia se ocupa de estudiar la realidad y explicarla, me referiré como poder explicativo a la capacidad de distintas perspectivas científicas de generar preguntas y ofrecer respuestas satisfactorias a esas preguntas. Es decir, que los modelos construidos para explicar la realidad sean lo suficientemente congruentes con la ella como para que exista la posibilidad de que nuevos fenómenos puedan incorporarse al estudio.

Nuestra forma de concebir el mundo, así como el modo en que consideramos que se le puede conocer van a moldear nuestro quehacer científico, así que distintas perspectivas de cómo se comporta la realidad darán lugar a distintos modelos que la expliquen. Considero que si la práctica científica incluye estudiar la relación causa-efecto que tiene lugar entre los fenómenos para poder explicarlos, entonces un análisis de cómo distintas perspectivas entienden las relaciones de causalidad en los procesos que les conciernen nos permitirá saber qué alcances y limitaciones tendrán sus modelos para explicar la realidad.

Si el preformismo o la epigénesis tienen un manejo de la relación entre causa y efecto para explicar la conformación del fenotipo que no les brinda

un mayor poder explicativo que el que posee la perspectiva opuesta, tendremos buenos motivos para sospechar que su permanencia como perspectivas teóricas tiene su fundamento en otro lugar, como en el apoyo que se recibe por parte de la matriz extra-científica en la que existe el trabajo científico.

El objetivo de este análisis es justamente comparar el poder explicativo del preformismo –en forma de genocentrismo– y de la epigénesis –como las aproximaciones que no se enfocan sólo en los genes– para poner a prueba el argumento de que el preformismo sigue vigente principalmente porque nos permite entender los procesos biológicos con al menos la misma capacidad que su contraparte, la epigénesis.

Dado que parte del trabajo de la biología consiste en la búsqueda de explicaciones para la ocurrencia de los fenómenos de los seres vivos, como el surgimiento de los caracteres y la conformación del fenotipo, resulta de gran importancia saber por qué el objeto de estudio es de una manera y no de otra, y a qué se debe que sea así. Las relaciones de causalidad quedan entonces como uno de los pilares explicativos de la ciencia que nos permiten plantearnos cómo ocurren los procesos biológicos más allá de hacer meras descripciones de ellos.

El primer capítulo de este trabajo se ocupa de explorar con más detalle los niveles en los que el determinismo biológico (específicamente el genético) resulta problemático, se exponen también las visiones de distintos biólogos acerca del genocentrismo y se discute la pertinencia de abordar el

conflicto entre el preformismo y la epigénesis desde la dialéctica y el perspectivismo científico.

El segundo capítulo consiste en un análisis de los cambios que han atravesado la epigénesis y el preformismo desde su origen hasta la fecha, esto con el objeto de hacer explícita la conexión entre sus versiones históricas y su uso moderno: esto es, trazar su genealogía.

En el tercer capítulo se hace la revisión de algunas críticas y defensas del manejo de la causalidad en el preformismo y la epigénesis actuales, así como trabajos empíricos representantes de dichas perspectivas. Esto permitirá contrastar con mayor claridad los alcances y limitaciones de las distintas visiones que existen sobre cómo se desarrolla el fenotipo en los seres vivos. A partir del trabajo de otros investigadores se ejemplifica la relación que existe entre el trabajo científico y la matriz extra-científica en la que está inmerso. Esto último es relevante porque permite agregar otro nivel al contexto del debate entre perspectivas teóricas, brindando respaldo a la hipótesis inicial de que bajo ciertas condiciones, el poder explicativo de una perspectiva teórica no es el elemento con mayor prioridad para explicar su éxito.

Para hacer el análisis de las relaciones de causalidad que se proponen y sus consecuencias me basaré en el trabajo de Karel Kosik (1979) y de Richard Levins junto con Richard Lewontin (Levins & Lewontin, 1985; Lewontin & Levins, 2007) donde se discute sobre la relación entre causa y efecto y la forma como se estudia dicha relación; desde el materialismo dialéctico en el

caso de Kosik, y más específicamente la Biología Dialéctica en Levins y Lewontin.

Como representantes del preformismo y críticos de la epigénesis elegí al genetista y biólogo evolutivo David Haig, así como al biólogo evolutivo Jerry Coyne; en ambos casos se trata de científicos que además de realizar investigación biológica, han manifestado de manera explícita su defensa del preformismo (Haig, 2007) y sus dudas sobre la capacidad explicativa de la epigénesis (Coyne, 2016). En cuanto a la representación teórico-práctica del preformismo escogí un trabajo de biología del desarrollo (Davidson *et al.*, 2002) por dos motivos: en primer lugar porque es un texto sobre el tema de mi investigación, el desarrollo del fenotipo; y en segundo lugar porque un trato que se ha dado al debate es el de que las visiones compatibles con el preformismo se ocupan de problemas genéticos y evolutivos, mientras que las compatibles con la epigénesis se ocupan de problemas a corto plazo como la ontogenia (Haig, 2012). Ejemplificar la persistencia de ambas perspectivas teóricas en áreas que se sobrepone es uno de los objetivos de mi trabajo.

Los representantes de la epigénesis actual y críticos del preformismo en los que me enfoco para fines de esta investigación son la psicóloga y filósofa de la biología Susan Oyama y a las genetistas y biólogas evolutivas Eva Jablonka y Marion Lamb. El artículo que seleccioné como representante teórico-práctico de la epigénesis actual se ocupa del desarrollo fenotípico en ratones (Freund, 2013) y como se verá más adelante, me pareció pertinente para hacer un contraste entre el trabajo empírico que se alinea con el preformismo o con la epigénesis.

Por último, los autores que tomo como referencia para el tema de la relación entre el quehacer científico y la matriz extra-científica son Levins & Lewontin en *The Dialectical Biologist* (1985), Lewontin en *Biology as Ideology: The doctrine of DNA* (1995), y Rose & Rose en *Genes, Cells, and Brains: The promethean promises of the new biology*. (2013).

## CAPÍTULO 1

### Consecuencias problemáticas del genocentrismo

En el plano del quehacer científico, la priorización ontológica de los genes frente a otros factores del desarrollo ha tenido como resultado el incumplimiento de promesas tecnológicas que habrían podido llevarse a cabo solamente si el contenido genético de los seres vivos fuera suficiente para determinar su fenotipo. Uno de los ejemplos más representativos de esta situación es lo ocurrido con el Proyecto del Genoma Humano, en el cual se invirtió una extraordinaria cantidad de dinero y recursos de investigación con la intención de secuenciar el genoma humano y así poder tratar enfermedades con mayor precisión, dado que conocer la secuencia de un organismo nos permitiría, en teoría, conocer todo lo importante para entender su desarrollo (Rose & Rose, 2013).

Richard Lewontin realizó una crítica a las promesas sobre las que descansó la legitimidad del proyecto para secuenciar el genoma de la humanidad en *El sueño del genoma humano* (2001b). Él se dio a la tarea de revisar las distintas suposiciones biológicas y tecnológicas que implicó dicho proyecto y sus dificultades (como lo problemático que es buscar alelos responsables del desarrollo de enfermedades cuando las más de las veces la enfermedad sólo se presenta cuando el alelo en cuestión se encuentra en las dos copias del gen portadas por el individuo y no sólo en una), y dio contexto social y económico a los eventos que se desprendieron de este proyecto (Lewontin, 2001b).

Los limitados resultados arrojados por esta búsqueda genética de las cualidades de la humanidad nos dirigen a otro escenario que no se discutirá en el presente trabajo pero que es una extensión de lo antes mencionado: Dado que el conocimiento de la secuencia de los genes humanos no ha dado luz sobre la solución a nuestros problemas médicos y sociales, tal vez un ambicioso proyecto en busca de todas las proteínas que el cuerpo humano puede producir sea lo que *realmente* nos abrirá las puertas al entendimiento. Así, la responsabilidad cae nuevamente en las moléculas producidas a partir de las secuencias de ADN y se extiende la vida útil del discurso de que la información genética es la clave de por qué somos como somos.

En el ensayo *Esquemas de causación lineales en biología postgenómica: la subliminal y conveniente suposición del mapeo uno a uno entre genotipo y fenotipo* (2015), Dávila-Velderrain, y Álvarez-Buylla escriben sobre cómo gran parte de la investigación biológica, particularmente la que está orientada al desarrollo tecnológico, como la que caracteriza a la biomedicina y la biotecnología, supone de manera implícita que la relación genotipo fenotipo es una relación uno a uno, con un flujo de información unidireccional que va del genotipo al fenotipo. Estas suposiciones preliminares resultan problemáticas en el estado actual de la investigación biológica porque entran en contradicción con la elaboración de una ciencia que reconozca a la complejidad y trabaje con ella.

Uno de los ejemplos que utilizan Dávila-Velderrain, y Álvarez-Buylla para evidenciar las dificultades empíricas que tiene la explicación lineal genotipo-fenotipo es el del escrito de Huang (2002) quien comienza su artículo sobre la complejidad de los estudios de biología enfocada a la

medicina criticando el Proyecto del Genoma Humano y su muy pequeño efecto sobre el tratamiento de enfermedades, problema que pretendía solucionar en cuanto se tuviera una enciclopedia de genes. Huang nos dice que tener esa enciclopedia no ha explicado cómo el genoma puede ser un mapa del fenotipo, ni tampoco provee un menú para elegir los blancos de los medicamentos prometidos. El mismo Huang en un texto del año 2000 habla del problema de considerar a los genes como los máximos responsables del fenotipo, dado que hay fenotipos celulares que se pueden desarrollar por mecanismos en los que no interviene la señal molecular que se considera específica para dicho fenotipo (Huang, 2000).

Gran parte de la labor al generar bases de datos genómicas consiste en asignar propiedades funcionales a los genes, como la función bioquímica, sus interactuantes, y el rol fisiológico que desempeñan (lo que se conoce como “anotado” del genoma); esto pareció funcionar con algunos organismos considerablemente simples, pero se volvió mucho más complicado en organismos complejos, donde se ha encontrado que muchas proteínas forman parte de redes reguladoras. Dada la complejidad de estas redes, hay genes que se asocian con procesos como la estimulación del crecimiento y supervivencia, y simultáneamente son inductores de apoptosis. Entonces, las funciones que se atribuyen a un gen serán siempre dependientes del contexto celular en el que estén ocurriendo (Huang, 2000).

Hace tiempo que la lógica “un gen una proteína” se ha enfrentado a serios cuestionamientos. Steven Rose (1997) describe el gran problema que surgió cuando el estimado de que (bajo el supuesto de que en promedio las proteínas consisten en 300 aminoácidos) el número de pares de bases del

genoma humano debiera rondar el millón, no fuera compatible con los miles de millones que resultó contener. Más aún, procesos como el *splicing* alternativo y la edición del ARN resultan en un desacoplamiento entre el número de genes (pares de bases) en una secuencia y el número y forma de las proteínas.

Finalmente, el descubrimiento realizado por Barbara McClintock de que algunas secuencias cambian de lugar (*saltan*) en los cromosomas, deja muy poco espacio para pensar en el genoma como un libro de instrucciones estables que tiene una forma constante y su relación con el fenotipo es lineal.

Dávila-Velderrain, y Álvarez-Buylla también hablan del trabajo de Costanzo *et al.* (2010) con *Saccharomyces cerevisiae*, donde estudiando con profundidad la relación entre los genes y sus productos se hizo evidente que con gran frecuencia el efecto de un gen sobre un fenotipo específico depende de la actividad o ausencia de actividad de muchos otros genes, resultando en que un mismo genotipo puede dar lugar a fenotipos muy distintos entre sí, y un mismo fenotipo se puede formar con diferentes genotipos.

### **El determinismo y la sociedad**

El segundo nivel de consecuencias problemáticas del pensamiento genocentrista corresponde a los efectos que tiene el trabajo científico sobre la sociedad. Promover una visión del desarrollo que le atribuye casi todo el poder de decisión a las condiciones iniciales, en este caso a los genes,

naturaliza a los eventos del presente como resultado obligatorio de decisiones que fueron tomadas en el pasado y sobre las cuales no se tiene poder de transformación. Una visión determinista de la construcción del fenotipo es fácilmente extrapolable a un determinismo social en el cual no se tiene ningún poder para cambiar la forma de vivir, pues todas las decisiones ya han sido tomadas. Este determinismo le retira al ser humano toda agencia sobre la realidad y no permite la existencia de la *praxis*<sup>4</sup> en el sentido de Adolfo Sánchez Vázquez (2003); esto implicaría que la capacidad del ser humano para imaginar y planear cambios en el mundo y realizar actividades con propósito a partir de lo que existe, no tiene manera alguna de llevar hacia su transformación. Se viviría en un mundo sobre el que no se tiene repercusión consciente.

El pensamiento moderno, que se inaugura en el Renacimiento y que se fue transformando hasta el siglo XX (Villoro, 2013), se caracteriza por una ruptura con la visión medieval de una organización natural en la cual el ser humano y todas las cosas tienen un lugar asignado en una jerarquía permanente. A partir de este momento, crece el interés por conocer las relaciones entre las cosas y sus funciones.

Es también el momento histórico en el que se consolida la burguesía. El comercio y los descubrimientos geográficos abren paso a una clase social cuyo poder no está dado por haber nacido en una posición, sino por la función que desempeña en la sociedad. La característica principal que se le reconoce al ser humano es su capacidad de transformar la naturaleza y la sociedad a través de sus acciones. Gradualmente, el estudio de la naturaleza

---

<sup>4</sup> Sánchez Vázquez, A. (2003). *Filosofía de la praxis*. México: Siglo XXI. p. 160.

se dirige hacia la búsqueda de leyes generales que la hagan explicable y que apliquen para toda ella (Villoro, 2013).

Las transiciones sociales suelen caracterizarse por sus luchas y conflictos. Y en el caso de la transformación de la sociedad feudal en una sociedad capitalista, tuvieron lugar sublevaciones campesinas y destrucciones de máquinas como parte de dichas luchas y conflictos antes de que se consumara con éxito la Revolución Francesa y comenzara el dominio del capitalismo en occidente. Los recursos ideológicos que permitieron a la burguesía justificar su transición y su poder actual hacen uso de promesas de libertad e igualdad que en la práctica son mucho más limitadas: la esclavitud no fue abolida hasta tiempo después del triunfo capitalista, el sufragio femenino en Europa y Estados Unidos no fue legal hasta el siglo XX. El discurso de la burguesía se basa en la posibilidad que tienen todas las personas de alcanzar su potencial social a partir de su trabajo. La sociedad capitalista permitiría la igualdad entre los ciudadanos, algo incompatible con una visión del mundo en la cual todos están atados a sus papeles en un orden establecido. Sin embargo, las sociedades capitalistas actuales distan mucho de haber terminado con la desigualdad entre la gente. Desde distintas partes del espectro político han surgido explicaciones de la pobreza, pero es innegable que sigue existiendo la desigualdad social (Lewontin, Rose & Kamin, 1996).

Las clases poseedoras de la riqueza hacen uso de fuerzas policíacas y militares para hacer frente a la violencia que ejercen contra el sistema aquellos que se encuentran oprimidos por él, pero estos encuentros resultan en la destrucción de propiedad, la interrupción de la producción y la

perturbación de la tranquilidad de quien normalmente se ve beneficiado por el sistema. Es por eso que quien tiene el poder suele evitar el conflicto violento tanto como sea posible, esto es posible haciendo uso de la ideología. Si se puede mantener entre la personas una visión general de que la organización social es justa e inevitable, la oposición pierde sentido además de no tener oportunidad de triunfar (Lewontin, Rose & Kamin, 1996).

El determinismo biológico resulta de mucha utilidad para la ideología del capitalismo porque al explicar todo aspecto de la vida humano en términos biológicos, cuando se busca explicar la desigualdad ésta se presenta como una consecuencia directa de las diferencias en habilidad y méritos que hay entre los individuos, que al estar codificadas en los genes son heredables y que naturalmente conducen a la formación de jerarquías en toda organización social. Pareciera entonces que la sociedad capitalista del presente es la única sociedad posible, pues es el resultado de nuestra naturaleza como seres vivos<sup>5</sup>.

### **Vigencia del genocentrismo**

Se ha discutido que una de las formas de genocentrismo, el seleccionismo genético o gen-seleccionismo es una perspectiva válida en la biología actual porque posee la capacidad de dar explicaciones a fenómenos con más precisión de lo que se podría con una visión que no priorice a los genes por sobre otros factores, por ejemplo la selección de individuos

---

<sup>5</sup> Esta visión de la sociedad como determinada biológicamente se discute y critica con mayor profundidad en el libro *Lifelines: Biology, freedom, determinism* (1997) de Steven Rose.

(Sterelny & Kitcher, 1988). Sin embargo, la priorización de los genes como objeto de estudio no se limita a la biología evolutiva, diversas disciplinas biológicas presentan investigación genocentrista en mayor o menor medida.

En autores como el biólogo evolutivo y genetista David Haig resulta hasta cierto punto sencillo identificar la orientación fundamentalmente genocentrista en que se coloca, principalmente por su defensa explícita de August Weismann y su teoría del plasma germinal (Haig, 2007) donde compara a la separación que hace Weismann entre *soma* y *germen* con la separación de la biología actual entre *fenotipo* y *genotipo* en el sentido de que las modificaciones fenotípicas (lo que en Weismann serían somáticas) no alteran el genotipo (o germen) y que la adaptación es resultado de la selección natural de variación aleatoria. De la misma manera, el biólogo evolutivo Jerry Coyne hace abierta su crítica a las posturas no gen-seleccionistas de la evolución como la biología evolutiva del desarrollo (Coyne, 2006; Hoekstra & Coyne, 2007) y considera que ninguna de estas propuestas explica fenómenos evolutivos de alguna manera válida que no pueda ajustarse a los límites de la síntesis moderna (Coyne, 2015). Esta misma posición con respecto a la evolución es fácil de encontrar en textos de Richard Dawkins, y que pertenecen fundamentalmente a la evolución del comportamiento (Dawkins, 2016). Sin embargo, incluso cuando no se haga de manera explícita, la preferencia por las explicaciones en términos genéticos también existen en la biología del desarrollo, un ejemplo es el trabajo de Eric H. Davidson (2002), en el cual se defiende de manera muy general la posibilidad de comprender las bases del desarrollo embrionario en

función de un mapa de regulación génica que incorpore la mayor cantidad de genes que se puedan considerar relevantes.

Por supuesto, no en todos los casos la base genocentrista es tan fácil de delimitar. Un ejemplo de filosofía de la ciencia enfocada a problemas de la biología es el de Philip Kitcher, quien siendo crítico del determinismo genético, por considerarlo el resultado de la preferencia natural por explicaciones *simples*, es también crítico de la Teoría de Sistemas en Desarrollo y la Biología Dialéctica, porque no considera que los problemas del determinismo genético vayan más allá de un uso descuidado de métodos y conceptos básicos (Oyama, 2001).

### **Propuestas distintas del genocentrismo**

También existe investigación de años recientes que propone alternativas al genocentrismo. Los ejemplos más claros son los planteamientos de Richard Levins y Richard Lewontin en los campos de la Ecología y Genética evolutiva, que se caracterizan porque además de explorar distintos enfoques para el papel de los genes en sus respectivas disciplinas, han escrito ampliamente sobre los problemas del determinismo genético y en particular la prioridad que recibe el ADN como molécula controladora de la vida (Levins & Lewontin, 1985; Lewontin, & Levins, 2007). Jablonka y Lamb (2014) por su parte trabajan con estudios de la evolución desde el enfoque de la Biología evolutiva del desarrollo. También en las ciencias cognitivas hay representantes de investigación no genocentrista: Rose (2013) promueve una visión de la mente humana no como una mera

expresión del genotipo, sino como parte de una compleja matriz que involucra y da peso al contexto social en el que están inmersos los seres humanos.

Esta discusión que se vive actualmente entre las visiones genocentristas del desarrollo y aquellas que no priorizan a los genes como el factor más importante para construir el fenotipo, tiene su origen en un debate de la biología pre-moderna. El debate en cuestión es el del preformismo y la epigénesis. El preformismo afirmaba que todos los organismos existen en miniatura al interior de las células reproductivas de uno de sus progenitores y el desarrollo era en realidad sólo un proceso de crecimiento; por su parte, la epigénesis consideraba que los seres vivos no están preformados de ninguna manera y que alcanzan su forma al atravesar diversos cambios durante el desarrollo embrionario (Speybroeck, Waele & Vijver, 2002).

Lewontin menciona en *The Triple Helix: Gene, Organism, and Environment* (2001a) que podría parecer que el preformismo fue superado después de que se estableciera que los organismos no están ya hechos desde el instante de su concepción, y el desarrollo es más que un proceso de “crecimiento” de las partes ya dadas. Sin embargo, el preformismo resultó vencedor a largo plazo.

Con el desarrollo de la genética que hubo en la segunda mitad del siglo XX, se hizo una separación de las áreas que a partir de ese momento estudiarían de manera independiente los fenómenos de la herencia y el desarrollo de los seres vivos, rompiendo con la tradición integradora

decimonónica que puede reconocerse en trabajos como el de Darwin y su teoría de la selección natural (Rose & Rose, 2013).

Los reflectores apuntaron hacia una explicación casi exclusivamente genética del desarrollo que le devolvió la vida al preformismo: los genes se convirtieron en el mapa de instrucciones que portan todos los organismos desde su origen y es en ese mapa donde ya está escrito todo lo que tiene que ocurrir para que el organismo sea como tiene que ser. La diferencia entre las explicaciones del preformismo del siglo XVIII y las del genocentrismo del siglo XX es simplemente de detalles técnicos (Lewontin, 2001a).

Como se verá a detalle más adelante, Oyama (2000) ha tratado el tema de la persistencia del preformismo en la actualidad, y es en su trabajo en el cual me baso para afirmar no sólo que el preformismo permanece en la biología contemporánea en forma de genocentrismo, sino que la epigénesis también ha evolucionado y es posible encontrarla en las propuestas de investigación que se oponen al preformismo/genocentrismo predominante.

### **La contradicción y coexistencia en ciencia**

Los cambios que atraviesa el quehacer científico se han estudiado e interpretado de diversas maneras. De acuerdo con Thomas Kuhn (1971), los cambios en la ciencia ocurren cuando después de un período de ciencia *normal*, las dificultades explicativas de la investigación científica que se realiza dentro de los parámetros de un *paradigma* pueden llevar a un período de crisis seguido de una revolución, en la cual ocurre un cambio de

paradigma y se regresa a un estado de ciencia normal hasta el siguiente período de crisis. Para Kuhn, los paradigmas tienen métodos y términos que son inconmensurables, por lo que muchos de los que se emplean en un momento dado no son homologables con los que pertenezcan al nuevo paradigma.

De acuerdo con Imre Lakatos (1981), la ciencia se desarrolla a través de *programas de investigación* dentro de los cuales, los científicos realizan investigación que apoya o que defiende los principios del programa de investigación, su núcleo duro, a través de hipótesis auxiliares que tienen capacidad de ser acumulativas hasta que el programa de investigación se vuelva obsoleto y sea sustituido por otro.

Tanto Kuhn como Lakatos consideran que los motivos por los cuales el científico como persona o la comunidad científica como gremio tienen predilección por un paradigma o por un programa de investigación no se limitan a sus características científicas.

Existen motivos no científicos, o *externos* en términos de Kuhn (1971), los cuales están asociados con aspectos de la vida social y personal de quienes desarrollan la ciencia, ejemplos de estos elementos podrían ser el origen del financiamiento de la investigación científica, el tiempo que se lleva trabajando con un mismo paradigma, o el efecto que tiene sobre el trabajo de una persona el no conocer las bases filosóficas sobre las que se desarrolla su labor de investigación.

Pero como menciona Levins (1998), siempre han habido disidentes con respecto a las ideas dominantes en ciencia. Siempre ha habido insatisfacción

entre varios sectores de las disciplinas y la ciencia jamás se ha elaborado por grupos homogéneos. La crítica desde el “holismo” ha coexistido con el reduccionismo dominante. Un ejemplo es el planteamiento hecho por Lovelock y Margulis (1974), quienes brindan una perspectiva de la biósfera como un todo que se regula, un sistema con propiedades químicas que no se pueden estudiar a partir de entender en aislamiento las partes que lo conforman.

Lo anterior representa un escenario en el cual es posible que más de una corriente científica exista simultáneamente y resulta interesante estudiar en qué casos su coexistencia implica una contradicción al interior de una disciplina y cuándo no.

Giere (2010a) propone que el trabajo científico se realiza dentro de los parámetros de perspectivas científicas, las cuales determinan el grado de aceptabilidad de las hipótesis científicas en función de principios teóricos aplicados a casos específicos, como se detallará más adelante. Giere ejemplifica un caso en el cual, dos perspectivas teóricas coexisten en una disciplina trabajando con premisas diferentes:

“[...] LOS DOS CONJUNTOS DE PRINCIPIOS FÍSICOS MÁS FUNDAMENTALES, AQUELLOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA Y LA RELATIVIDAD GENERAL, SON INCOMPATIBLES. LOS PRINCIPIOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA ASUMEN UN ESPACIO-TIEMPO PLANO QUE ES NEGADO POR LA RELATIVIDAD GENERAL. PERO INCLUSO SI ALGUIEN PRODUJERA EXITOSAMENTE PRINCIPIOS UNIFICADOS DE GRAVEDAD

CUÁNTICAS, ES DUDOSO QUE LOS MODELOS RESULTANTES PUEDAN EMPATARSE CON ALGUNA PORCIÓN SIGNIFICATIVA DE LA REALIDAD.” (GIERE, 2010. P. 66)

En este caso, la mecánica cuántica y la relatividad general resuelven problemas diferentes, y aunque se basen en supuestos sobre la realidad incompatibles, coexisten como pilares de la física actual. Sin embargo, hay ocasiones en las cuales la incompatibilidad entre las formas de funcionamiento de la realidad que se suponen o plantean desde una y otra perspectiva científica (p. ej. entre el genocentrismo y la epigenética) puede llevar a un conflicto, por ejemplo, cuando el aspecto del mundo que se está tratando de conocer desde las perspectivas en conflicto es la misma.

Ejemplos de esto ha habido muchos a través de la historia. El caso del estudio de la variación observable en los seres vivos es uno. Se trata de un mismo fenómeno: los seres vivos al interior de las especies no son idénticos unos de otros.

Distintos enfoques que suponían aspectos contrarios de la realidad entraron en conflicto. Aquellos cuya perspectiva del mundo era fijista y consideraban que la vida era una creación divina hecha de una vez y para siempre (como Linneo y Cuvier) estaban dispuestos a aceptar que los organismos eran distintos entre sí sólo en la medida de que eran ejecuciones imperfectas de un plan o esquema ideal del animal o planta en cuestión. Por otra parte, aquellos que aceptaban un mundo cambiante y que las especies observables no eran las mismas que habían existido siempre (como Buffon y Lamarck) estaban dispuestos a considerar que las diferencias entre los

organismos tenían alguna relación con la transformación de las especies (Bowler, 1992).

En la biología actual es posible encontrar situaciones en las cuales un mismo fenómeno es explicado con bases teóricas que difieren en aspectos relevantes. Un ejemplo revisado por Richard Burian (2015) es el de la homología y la analogía cuando se habla de genes homeóticos y los segmentos del cuerpo a los que están asociados. Desde un punto de vista más cercano a la genética es posible considerar que dado que los genes que participan en la formación de los ojos de los ratones y los que participan en la formación de los ojos de las moscas son homólogos, las estructuras resultantes son homólogas. Esto sólo es posible si se considera que los “genes controladores maestros” son el elemento básico de mayor relevancia para determinar la homología entre estructuras. En cambio, desde una aproximación más cercana a la embriología es posible considerar homólogos a estos genes, pero análogas a las estructuras resultantes (los ojos), pues los procesos que les dan origen son muy diferentes y tanto las moléculas involucradas como los eventos que ocurren en distintas etapas resultan en que los órganos oculares tengan un desarrollo y una forma resultante suficientemente distintos entre ratones y moscas como para considerarlos análogos (Burian, 2005).

Nos encontramos entonces con que asignar mayor prioridad a los llamados “genes controles maestros” o asignarle prioridad a los procesos que ocurren durante la formación de los ojos pueden resultar en que un mismo fenómeno sea interpretado de dos maneras diferentes al interior de la biología del desarrollo.

Considero que el problema que me interesa estudiar, el de la coexistencia entre el preformismo y la epigénesis, pertenece a la misma categoría que los ejemplos mencionados en los párrafos anteriores. Tanto la epigénesis como el preformismo se ocupan de estudiar cómo el fenotipo de los seres vivos llega a ser, pero como se verá más adelante, las bases desde las que parten –y no sólo las conclusiones a las que llegan– están en conflicto.

### **Perspectivismo científico y Dialéctica**

Como se mencionó anteriormente, distintos filósofos de la ciencia han elaborado modelos sobre cómo se desarrolla la investigación científica, Thomas Kuhn e Imre Lakatos se encuentran entre los más populares. La propuesta de Kuhn es que la práctica científica se lleva a cabo dentro de las normas dictadas por los *paradigmas* vigentes en un momento dado (1971). Los paradigmas se caracterizan porque pueden dejar de ser funcionales a partir de que dejan de generar descubrimientos nuevos verificables, o modelos que se acoplen a nuevos fenómenos. Entonces son desplazados por paradigmas nuevos y más exitosos. Sin embargo, Giere (2006) señala que hay un problema con el uso ambiguo del término “paradigma” en Kuhn. Por un lado, los paradigmas son considerados la matriz disciplinaria en la que se desarrolla la ciencia –los valores, creencias y técnicas compartidas por la comunidad científica–; y por otro lado, los paradigmas son las soluciones que se emplean como modelos o ejemplos y brindan reglas base para resolver el resto de las preguntas durante los períodos de ciencia normal.

Independientemente de que el término de paradigma pueda llegar a resultar ambiguo en algunas ocasiones, considero que el modelo de la evolución de los paradigmas que propone Kuhn no es útil para el debate que estoy analizando. De acuerdo con Kuhn, durante los períodos de ciencia normal se realiza investigación compatible con el paradigma vigente y una vez que el paradigma deja de ser explicativo frente a nuevos fenómenos estudiados es sustituido por un nuevo paradigma que sí los pueda explicar. *“La evolución científica ocurre mediante revoluciones, que son aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en que un antiguo paradigma es reemplazado, completamente o en parte, por otro nuevo e incompatible.”* (Kuhn, 1971, p. 148)

Este modelo de sustitución de paradigmas no me resulta de utilidad para estudiar el debate que me interesa. En términos de Kuhn *“la transición sucesiva de un paradigma a otro por medio de una revolución es el patrón usual de desarrollo de una ciencia madura.”* (Kuhn, 1971, página 35) pero el comportamiento de la epigénesis y el preformismo a través de la historia ha sido tal que, a pesar de tener mayor o menor fuerza en distintos momentos, ninguno ha sido realmente remplazado por el otro.

Massimo Pigliucci (2009) hace una recapitulación muy clara de cómo los cambios en la biología evolutiva desde Darwin hasta la fecha no se han comportado como paradigmas en sustitución constante, sino como ampliaciones de un núcleo teórico duro. Pigliucci no habla en términos de Lakatos, sino de Popper, pero el modelo que presenta recuerda mucho más al primero que al segundo. La biología del desarrollo no formó parte de la ampliación del núcleo duro que sí pareció haber ocurrido en la biología

evolutiva que incorporó áreas como la historia natural, la genética mendeliana, la genética de poblaciones y la paleontología. Una consecuencia de lo anterior es que el avance de algunas áreas de la biología haya sido casi independiente de las demás y que en última instancia, la incorporación de la biología del desarrollo a la teoría evolutiva haya sido difícil y durante mucho tiempo fueran pocos los esfuerzos por estudiarlas en relación mutua que un fuera de subordinación la una a la otra.

Aunque pueda haber una lectura del preformismo y la epigénesis como parte de programas de investigación con algunas regresiones y recuperaciones, es problemático entender los cambios históricos que ha habido entre el preformismo y la epigénesis como modificaciones en las hipótesis auxiliares de un núcleo teórico sólido. Si se les considera tradiciones de investigación, estudiar sus modificaciones sólo como ampliaciones en las hipótesis auxiliares implicaría simplificarlas dejar fuera de la discusión a los factores extra científicos que forman parte de la evolución del debate. Lakatos (1981) está dispuesto a aceptar que los científicos son agentes capaces de tomar decisiones personales que afectan el quehacer científico, sin embargo, cuando se trata de factores a un nivel social más amplio rechaza que factores como los intereses políticos o las condiciones económicas de una sociedad o un grupo social puedan ser realmente determinantes para el éxito o abandono de un programa de investigación científica.

He decidido en cambio hablar del preformismo y la epigénesis en los términos que el perspectivismo científico de Ronald Giere (2006) propone que se lleva a cabo la labor científica. De acuerdo con él, los científicos elaboran modelos para situaciones concretas del mundo, estos modelos se

construyen aplicando principios generales a condiciones específicas y los científicos pueden generar hipótesis sobre el grado de acoplamiento que tendrán los modelos con la realidad. Para Giere, el proceso de evaluar el ajuste de los modelos al mundo se hace dentro de los límites de *perspectivas teóricas* científicas, las cuales están compuestas por los métodos, instrumentos, categorías y análisis que una comunidad científica considera aceptables para estudiar un fenómeno. La principal ventaja de considerar a la epigénesis y al preformismo perspectivas teóricas en términos de Giere es que su propuesta acepta que –sin dejar de ser científicas y tener valor para el conocimiento del mundo– las perspectivas teóricas están sometidas a la influencia del conocimiento previo a su existencia, así como a las ideas e intereses sociales del presente. Aunque Giere considere que el estudio de las influencias sociales sobre el quehacer científico se puede realizar con mucha más facilidad en retrospectiva que hacia el presente, valora la importancia del contexto en que ocurre la ciencia y deja espacio para que la influencia del contexto sea estudiada.

El perspectivismo científico que propone Giere (2006) es una visión del funcionamiento de la ciencia que media entre el objetivismo científico –que defiende la existencia de una realidad que se puede conocer– y el constructivismo de las ciencias sociales –que critica a la objetividad como substracción del sujeto observante–. Giere se encuentra dentro de un marco naturalista que rechaza explicaciones sobrenaturales y que le da prioridad a las afirmaciones hechas a partir de experimentación y medición antes que a cualquier otro tipo de afirmaciones. Sin embargo, no pierde de vista que

todas las afirmaciones son falibles incluso cuando éstas estén bien fundamentadas empíricamente.

Los seres humanos tenemos la capacidad de interactuar con el mundo del que formamos parte y percibir distintos aspectos de él, nuestras capacidades sensoriales son las que dan la gama de aspectos que podemos percibir de entrada, como nuestra capacidad de distinguir ciertas frecuencias de onda a través del sentido de la vista, y las características físicas de los instrumentos que creamos les dan a su vez la capacidad de interactuar con otros aspectos del mundo.

El perspectivismo científico ofrece además la ventaja de tener bases ontológicas y metodológicas muy compatibles, desde mi punto de vista, con el materialismo dialéctico, desde el cual parto para hacer el análisis de la causalidad manejada por el preformismo y la epigénesis.

En primer lugar, tanto el perspectivismo científico como la dialéctica son teorías materialistas. Giere menciona que una de las máximas metodológicas del perspectivismo científico es la unicidad del mundo. Y tanto para el perspectivismo científico como para el materialismo dialéctico, el mundo existe fuera de la conciencia de los seres humanos y que es un mundo que se puede conocer y entender. Es la unicidad del mundo la que permite que distintas perspectivas encuentren cierto grado de compatibilidad, como ha ocurrido históricamente en aspectos como el uso de plantas medicinales en distintas partes del mundo o el considerable acuerdo sobre la duración de los años para distintas culturas (Levins, 1996).

La búsqueda científica no supone la acumulación progresiva de verdades. La verdad –el conocimiento sobre la realidad– no es inaccesible, pero tampoco es alcanzable de una vez y para siempre, pues la verdad se desarrolla y se realiza a través de actuar sobre el mundo; por lo tanto, la contemplación es insuficiente, ni el materialismo dialéctico ni el perspectivismo científico consideran que la labor de conocer el mundo sea puramente descriptiva ni que sea deseable la supuesta extirpación del sujeto para lograr una visión más pura de la realidad.

Aunque se acepte que el mundo existe independientemente del observador, el observador es parte del mundo que estudia, y la forma como lo conoce depende tanto de las características del observador como de las del mundo. No es posible extirparnos a nosotros mismos del estudio del mundo y no es deseable tampoco.

Karek Kosik (1979) menciona que los distintos acercamientos a la realidad tienen distinta intencionalidad, así que un enfoque matemático, uno religioso, uno artístico, o cualquier otro, no corresponden a la realidad de los otros enfoques. El ser humano tiene propósitos para conocer distintos aspectos del mundo y los aspectos de las cosas pueden ser captados si el ser humano crea un sentido correspondiente para dichos aspectos. Estos sentidos mediante los cuales el humano descubre la realidad y su propio sentido, son un producto histórico social (Kosik, 1979). Para el perspectivismo científico, la distinta intencionalidad es la base de por qué se elige interactuar con aspectos específicos del mundo para conocerlo, nuestras capacidades sensoriales y las propiedades físicas de nuestros instrumentos delimitan con lo que podemos interactuar.

Finalmente, el trato que se da a los modelos elaborados por los científicos es el de ser herramientas representacionales estructuralmente inferiores a la realidad. La esfera de la realidad es más compleja y sólo es comprendida de modo aproximado. Para elaborar modelos no se puede tomar en cuenta *todo*, todo el tiempo y eso no significa que los modelos sean incorrectos. Un científico tiene la capacidad de elaborar hipótesis sobre qué tan bien se acoplarán los modelos a la realidad y esas hipótesis son las que pueden cumplirse o no.

El preformismo y la epigénesis se comportan como perspectivas teóricas porque a través de su historia han establecido los parámetros que respectivamente consideran pertinentes para el estudio del desarrollo de los seres vivos.

Durante el siglo XVII, la epigénesis consideró que la fuerza motriz que impulsa la transformación de los seres vivos era de naturaleza inmaterial, y los modelos propuestos para describir el desarrollo embrionario aplicaban ese principio general a casos específicos, como el desarrollo del pollo al interior de un huevo. Como se verá más adelante, este principio general de que existía una fuerza inmaterial guía para la materia viva dejó de ser aceptable para elaborar modelos, y hubo un cambio en lo que la epigénesis consideraba que era congruente con la realidad observable. La pertinencia del uso de ciertos instrumentos y métodos, o la relevancia de diversos factores para explicar el desarrollo está delimitada por lo que la epigénesis y el preformismo como perspectivas teóricas científicas han considerado que nos permitirá conocer mejor dicho proceso.

## CAPÍTULO 2

### Epigénesis y Preformismo

Como se ha mencionado anteriormente, durante el siglo XVII surgieron en Europa dos perspectivas opuestas sobre desarrollo de los seres vivos. El preformismo afirmaba que el desarrollo de los organismos era sólo aparente, pues las partes que los integran están previamente formadas en las células del padre o la madre. La epigénesis defendía que los seres vivos adquieren su forma cuando estructuras simples de la célula inicial sufren cambios, de manera que los organismos atraviesan distintas etapas de transformación durante el desarrollo (Callebaut, 2008).

El trabajo de anatomía y embriología realizado por Aristóteles (384-322 a. C.) y plasmado en su texto *De Generatione Animalium* es considerado uno de los principales antecedentes de la epigénesis, pues su meticulosa observación del desarrollo embrionario del pollo lo llevó a la conclusión de que los cuerpos de los seres vivos se van formando por partes y no existen partes pre-formadas. Los organismos adquieren complejidad al irse desarrollando, y este proceso de adquirir complejidad tiene un objetivo (Speybroeck, Waele, & Vijver, 2002). Para Aristóteles, la naturaleza impone forma a la materia a través de poderes organizadores y al ser un poder natural el que guía los cambios materiales hacia una forma organizada, estos cambios poseen un propósito (Bowler, 1992).

Epicuro (341-270 a. C.), por su parte, no compartía con Aristóteles la visión idealista de los propósitos en la naturaleza. Epicuro sostuvo un materialismo no determinista que brinda un primer referente de propiedades

emergentes, las cuales implicarían que en tanto que la materia adquiere complejidad, no es posible que todas las propiedades de un nivel de la materia se desprendan de manera directa de un nivel inferior. (Foster, 2000) Esto resulta relevante para las discusiones sobre el desarrollo porque en algún punto se debatirá si aquellos materiales presentes durante la formación del embrión son capaces de determinar el destino del organismo. Sin embargo, como el atomismo se opone a un “principio formativo” que dirige la embriogénesis, se le reconoce como origen de modelos preformistas donde las partes del embrión existen como átomos en los fluidos de los progenitores (Rieppel, 2001).

La epigénesis como perspectiva teórica para el estudio del desarrollo se inicia en el siglo XVI. William Harvey (1578-1657) no sólo es recordado por su estudio del sistema circulatorio, sino también por su interés en la Embriología. Harvey consideraba que los órganos se formaban en una cascada de cambios graduales a partir de una materia indiferenciada que se convierte en el embrión, proceso que describe en su obra de 1651: *Exercitationes de generatione animalium*. Para él, lo que detonaba el inicio de la transformación de la materia indiferenciada que la convertiría en un embrión no era un evento de naturaleza material, sino una *fuerza* que lleva a la materia viva a cumplir su propósito (Speybroeck, Waele & Vijver, 2002).

En *Exercitationes de generatione animalium*, Harvey explica que la materia a partir de la cual se forma el embrión es el *germen* (germ), que es materia potencialmente viva y con tendencia a adquirir una forma viva definida (Huxley, 1894).

La explicación del desarrollo en función de fuerzas no materiales le da un carácter vitalista a la epigénesis en sus inicios. Entendemos por *vitalismo* a la hipótesis de que los fenómenos que caracterizan a los seres vivos y los distinguen de la materia no viva se deben a una fuerza de distinta naturaleza a los materiales que conforman al organismo (Oyama, 2010). A partir de esto, uno de los ejes en torno a los que se puede leer la corriente epigenetista contemporánea es justamente la historia del deslinde respecto a posiciones vitalistas en aras de una integración con una visión materialista y evolutiva (y por ende histórica).

Sin embargo, el siglo XVII traería consigo el éxito de una filosofía incompatible con las fuerzas vitalistas de la epigénesis de Harvey: el mecanicismo reduccionista.

El mecanicismo reduccionista es la visión que sostiene que el mundo está compuesto por objetos independientes que se pueden y deben estudiar en aislamiento. Estos objetos suelen ser pasivos y sólo entran en movimiento cuando interviene una fuerza externa. Lo más importante que se puede saber de ellos al estudiarlos es cómo difieren cuantitativamente, y después de ser descritos y medidos, se les puede combinar en estructuras mayores cuyo comportamiento está guiado por las propiedades de las partes que fueron estudiadas por separado. Esta visión está asociada con René Descartes (1596-1650) y ha sido fundamental desde el siglo XVII como parte del pensamiento occidental (Lewontin & Levins, 2007)<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> “Aspects of Wholes and Parts in Population Biology” en Lewontin, R., & Levins, R. (2007). *Biology under the influence: Dialectical essays on the coevolution of nature and society*. NYU Press.

El éxito del mecanicismo reduccionista favoreció la consolidación del preformismo. Aparecieron trabajos como los de Malpilghi en el desarrollo embrionario del pollo que ilustró en su obra de 1673 *Dissertatio epistolica de formatione pulli in ovo*, y las cartas que Anton van Leeuwenhoeck envió en 1677 a la Royal Society of London detallando sus observaciones sobre los organismos microscópicos.

En ese momento, la discusión central sobre cómo se forman los organismos no ocurre entre el preformismo y sus críticos, sino al interior del preformismo. El debate se daba alrededor de si la sustancia germinal en la que los seres vivos existían preformados tenía su origen en la madre o el padre, los ovistas eran defensores de que el germen es portado por la madre, mientras que los espermistas o animalculistas lo atribuían al padre (Callebaut, 2008).

La rivalidad entre epigénesis y preformismo toma relevancia cuando, por un lado, la predominancia de las visiones mecanicistas de la naturaleza lleva a una búsqueda de leyes universales como las propuestas por Isaac Newton (1643-1727) en la física; y por otro, ese ímpetu por transportar la física al estudio de los seres vivos promueve la incorporación de principios activos o fuerzas que organizan a la materia viva.

Newton establece leyes generales para el movimiento de la materia por influencia de fuerzas físicas, proponiendo que el funcionamiento del mundo y la causalidad de los fenómenos son de naturaleza mecánica y por tanto deben estudiarse en términos mecanicistas. La materia es fundamentalmente inerte, pues aunque tiene la capacidad de estar inmóvil o

en movimiento, depende de impulsos externos para que su movimiento empiece, se altere o se termine. Y aunque para Newton el cambio en la posición de los cuerpos era algo que ocurría en la naturaleza, no estaba dispuesto a aceptar que la materia se encontrara en proceso de desarrollo constante, simplemente estaba sujeta a cambios generados por el exterior (Hessen, 2009).

La búsqueda por explicar la realidad dentro de leyes físicas y en última instancia expresarla en términos matemáticos no es únicamente herencia del trabajo de Newton. Galileo y su interpretación de la ciencia como una labor enfocada a expresar matemáticamente a los objetos de estudio fue una gran influencia para los científicos de los siglos posteriores. Como señala Ernst Mayr en *What makes biology unique?: considerations on the autonomy of a scientific discipline* (2007) los siglos XVII y XVIII, todavía dentro de una tradición fisicalista, abrirían paso a que entre el siglo XIX y el XX la biología tuviera suficiente independencia con respecto a la física como para considerar que algunos fenómenos de la física no son relevantes para la biología y que algunos fenómenos de la biología sólo aplican a los seres vivos y no a la materia inerte (Mayr, 2007).

Para la filosofía mecanicista, la naturaleza no es un todo orgánico indivisible, se le podía partir en elementos aislados para su estudio, por lo que se le debe separar en partes para estudiarla y es posible enfocarse en un solo elemento del sistema que se está estudiando. Los seres vivos son comparados con máquinas complejas y el mundo con un sistema de partículas en movimiento. Es en este momento de la historia (el siglo XVII) que el mundo es considerado por primera vez como un reloj con partes

altamente especializadas que por su actividad individual le daban sentido a la máquina completa de la que forman parte (Bowler, 1992).

El efecto del reduccionismo mecanicista sobre la actividad científica lleva a la principal diferencia entre las explicaciones del preformismo y la epigénesis durante el siglo XVII. Para el primero, las transformaciones que llega a sufrir la materia viva están dadas por procesos estrictamente físicos, mientras que para la segunda existen fuerzas internas inherentes a la materia viva que la organizan y garantizan su reproducción, por lo tanto, la materia posee una tendencia a organizarse y moldearse.

Por supuesto, es muy fácil calificar de animistas a todos los intentos por explicar la complejidad de la vida en función de un impulso interior característico de la materia viva. Lamarck es un ejemplo de ello, pues históricamente se le recuerda porque su teoría evolutiva incluía la existencia de una fuerza natural que lleva a la vida de menor a mayor complejidad. Sin embargo, siempre se consideró a sí mismo como un materialista y negó que el impulso hacia la complejidad fuera de naturaleza esotérica. A eso se suma el hecho de que en las fases más maduras de su trabajo, le atribuyera más peso a las circunstancias físicas en las que existen los organismos para generar cambios sobre ellos y le restó importancia a la fuerza transformadora *vertical* (Gould, 2001).

Los preformistas del siglo XVIII como Bonnet (*Considérations sur les corps organisés*, 1762) y von Haller (*Sur La Formation Du Coeur Dans Le Poulet: Sur L'oeil...*, 1758) rebasan la idea del encapsulamiento de los organismos y aceptan que éstos sufren transformaciones durante su

desarrollo. Este tipo de preformismo tiene su origen en la imposibilidad de encontrar cuerpos completamente formados en las primeras etapas del embrión y se caracteriza por considerar que lo que preexiste en el cigoto son partes diminutas del organismo que con el paso del tiempo crecen, se solidifican y se organizan, dando lugar a tejidos, órganos y finalmente el cuerpo entero del ser vivo (Van Speybroeck *et al.*, 2002; Pinto-Correia, 1997).

Thomas Huxley en su ensayo *Evolution in Biology* (1894) expone la visión de Charles Bonnet como sigue: “*Un individuo organizado es un cuerpo que consiste en los elementos y partes originales junto con los materiales que se han asociado a ellas a través de la nutrición*” así que el desarrollo es la expansión hacia la visibilidad de aquello que antes existía invisible. De acuerdo con Huxley, Bonnet modificó en sus últimos trabajos varias de sus afirmaciones, de modo que llegó a aceptar que la sustancia germinal no era realmente un organismo en miniatura, sino algo preformado que daba lugar al embrión futuro.

C. O. Whitman, (1895) Bonnet y von Haller, conocidos por sus trabajos alineados con el preformismo, jamás estuvieron dispuestos a admitir la *generación* –entendida como formación de vida donde antes no la había– porque eso entraba en contradicción con el milagro de la creación como algo que ocurrió una sola vez. Esto podía aplicarse tanto a la formación de órganos como a la generación espontánea. Bonnet no se refería al germen, o sustancia germinal, como una miniatura exacta del adulto, en su lugar, consideraba que la pre-existencia del organismo estaba dada porque sus partes existían todas antes de ser distinguibles, aunque no tuvieran

exactamente su forma final. Es lo que podría llamarse un preformismo de las estructuras y no de un todo perfectamente moldeado desde el inicio.

Entonces, los cambios que pueda travesar un organismo son realmente variaciones superficiales de estructuras *base*, pero estas partes esenciales no sufrirían realmente un cambio significativo jamás. Whitman (1895) cita el trabajo *Considérations sur les corps organisés* (p. 90) de Bonnet donde dice que:

“La naturaleza es con certeza admirable en la conservación de los individuos; pero lo es especialmente en la conservación de las especies... no hay cambio, no hay alteración, la identidad es perfecta. Las especies se mantienen a ellas mismas victoriosas por encima de los elementos, el tiempo, la muerte, y el período de su duración es desconocido.” (Charles Bonnet en Whitman, C. O., 1895. p. 424)

El principio de que las transformaciones son meramente superficiales y no hay modificaciones sustanciales resulta de mucha importancia cuando la evolución se incorpora a la discusión, pues la negación de la capacidad de los seres vivos para cambiar a través de su tiempo individual y del tiempo de las especies es incompatible con ideas evolutivas que vayan más allá de las apariencias de los organismos.

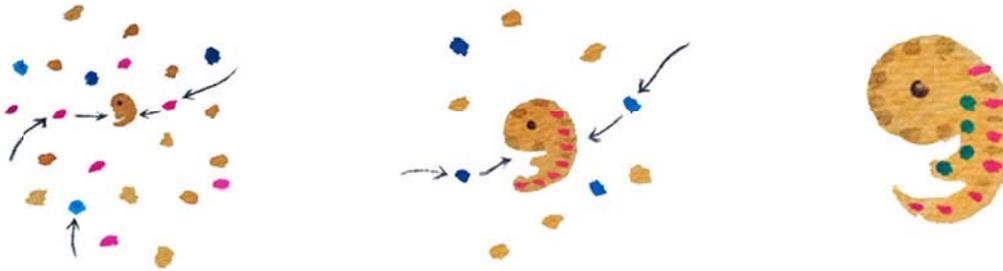
Conceptos como *arquetipo*, que hace referencia a una forma *tipo* ideal característica de cada especie y conservada a través del tiempo pese a cambios durante el desarrollo, fueron adoptados y defendidos por el preformismo (Speybroeck, Waele, & Vijver, 2002).

El pensamiento tipológico que se enfocó en la búsqueda de arquetipos ideales más que en la búsqueda de patrones y generalidades entre los seres vivos fue durante un tiempo un lastre para el pensamiento evolutivo. El trato a las diferencias entre los organismos como desviaciones de un tipo ideal le resta importancia a los gradientes que se observan en las poblaciones. En estos términos, la evolución sería un fenómeno capaz de provocar únicamente saltos discretos a través de los cuales un tipo se convierte en otro, sin que las gradaciones tengan algún papel significativo (Mayr, 2006).

En el caso de la epigénesis, la posibilidad de un pensamiento evolutivo se deriva de la consideración de que las variaciones en las formas de los seres vivos existen y en caso de ocurrir al final de ciertos estadios de desarrollo podrían implicar la transmutación de una especie en otra. La epigénesis fue la base sobre la cual fue posible dar consideración a teorías evolutivas como las de Lamarck y eventualmente a la de Darwin (Speybroeck, Waele, & Vijver, 2002).

La principal diferencia entre el preformismo y la epigénesis durante el siglo XVII es que para el primero, las transformaciones que llega a sufrir la materia viva están dadas por procesos físicos que actúan desde el exterior del organismo, mientras que para la segunda existen fuerzas internas a la materia viva que la organizan y garantizan su reproducción, por lo tanto, la materia posee una tendencia a organizarse y moldearse. Esto persiste hasta entrado el siglo XVIII.

**Figura 1. Principios del preformismo y la epigénesis (*ilustración de elaboración propia*).**



Preformismo: Todos los elementos que conformarán al embrión están presentes desde el inicio y lo integran por acción de fuerzas físicas externas.



Epigénesis: El embrión se forma a partir de materia indiferenciada y adquiere su forma por acción de fuerzas organizadoras internas.

El médico alemán Caspar Friedrich Wolff (1733-1794) en *Theoria Generationis* (1759) explica el desarrollo y organización de los seres vivos dentro de los parámetros del mecanicismo pero que a su vez le concedía a la materia viva un poder generador que la hacía distinta de la de la materia no viva. Lo cual es contrario al mecanicismo del preformismo, que trataba a toda la materia como inerte y a merced de fuerzas mecánicas externas.

La epigénesis que proponía Wolff incluía la formación de materia inorgánica que se transformaba y organizaba en materia viva. Eso era posible gracias a una *vis essentialis* –un tipo de fuerza vital– que movía los nutrientes

y guiaba el desarrollo. En contraste con la embriología preformista, él defendía que las estructuras no sólo crecen durante el desarrollo, sino que también cambian. Dada la naturaleza ambigua de esta fuerza vital se le ha llamado vitalista a Wolff, pero no está completamente claro si el tipo de fuerza al que se refiere es realmente una fuerza inmaterial distinta de la materia viva o si es un concepto que engloba los procesos fisiológicos exclusivos de los seres vivos sin recurrir a la metafísica. (Speybroeck, Waele, & Vijver, 2002)

Johann Friedrich Blumenbach (1752–1840) es otro representante de la epigénesis del siglo XVIII. De acuerdo con él, la materia desorganizada no tiene el poder de auto organizarse, lo que permite a la materia viva hacerlo es que posee “*Bildungstrieb*” –un impulso formativo– que dicta la formación de estructuras anatómicas y procesos fisiológicos de modo que las partes de un organismo adquieran forma y función (Callebaut, 2008). Blumenbach presenta a este impulso formativo como una fuerza Newtoniana con carácter de principio causal que sólo se puede estudiar a través de los efectos que tiene. Blumenbach defendía la búsqueda de leyes generales para la biología como Newton lo había hecho para la física.

El vitalismo del siglo XVII suele identificarse como animista y muy dispuesto a aceptar esencias inmateriales como guías para el desarrollo y funcionamiento de los seres vivos, sin embargo, en el siglo XVIII surge en Francia un vitalismo diferente del animista, al cual por su origen y representantes se le puede llamar vitalismo de Montpellier (Wolfe & Terada, 2008). Este vitalismo rechaza la existencia del alma en términos religiosos y

en su lugar supone la existencia de fuerzas que nacen de la organización de los seres vivos.

El vitalismo de Montpellier está en desacuerdo con el mecanicismo en que éste último toma al organismo como una máquina con relaciones causa-efecto lineales; y a la vez difiere con el animismo que considera a los organismos controlados por un alma. Tanto el mecanicismo como el animismo tratan a los seres vivos como dependientes de fuerzas ajenas a ellos. Ya sea por impulsos físicos ejercidos siempre desde el exterior y no desde la materia que compone al organismo, o bien, por la intención de un alma inmaterial, la materia viva no tiene agencia sobre su funcionamiento y transformación.

El concepto de *economía animal* expresa el esfuerzo del vitalismo de Montpellier por integrar propiedades dinámicas a los modelos estructurales asociados con una visión mecanicista de los seres vivos, es decir, propone que los sistemas vivos están organizados de una manera y que sus partes desempeñan funciones en momentos específicos, pero la existencia de esta estructura con funciones concretas no obliga a que la organización sea inmutable o *esté dada*. La organización y relación entre estructuras es compatible con la posibilidad de transformación.

La economía animal es el orden, mecanismo y conjunto de funciones y movimientos que sustentan la vida, durante mucho tiempo fue empleada como sinónimo de fisiología (Wolfe & Terada, 2008).

El vitalismo tiene necesidad de este término porque la existencia de un cuerpo orgánico no es suficiente para explicar la diferencia entre lo vivo y lo

no vivo, ya que un cadáver está compuesto de lo mismo que un cuerpo vivo y sin embargo no se comporta igual. En un cuerpo vivo las partes tienen su vida, acción, sensibilidad y movimiento pero siempre se encuentran interactuando unas con otras y correspondiéndose entre sí.

Como en todo análisis de perspectivas diferentes en conflicto, es difícil ubicar una delimitación exacta que separe los modelos de esta época como puramente mecanicistas o vitalistas. Esto se debe a que los términos asociados con una u otra perspectiva se comparten, y se podía hablar de fuerzas, máquinas, organización y mecanismos entre los representantes del vitalismo tanto como entre defensores del mecanicismo.

La propuesta de Wolfe y Terada (2008) es que el vitalismo que da sustento a las perspectivas de la epigénesis durante el siglo XVIII no es anti-mecanicista, sino que es un *mecanicismo plus*. Esto significa que la búsqueda por estudiar los procesos de los seres vivos se hacía en términos de máquinas con partes cuyas existencias independientes se podían reconocer, pero las explicaciones no planteaban una causalidad lineal, como la esperada por el mecanicismo tradicional. Se buscan leyes generales del funcionamiento, pero esas leyes están dadas por la disposición y relación entre las partes, no por sus características individuales. Las fuerzas vitales de las que se habla en este vitalismo pueden ser entendidas como principios reguladores dada la naturaleza de lo vivo, más que como entidades materiales o espirituales que la guían materia pasiva. Se trata pues, de un esfuerzo paralelo al mecanicismo por estudiar a los seres vivos como entes materiales cuyo comportamiento tiene su explicación en el mundo físico y sin embargo es diferente del de la materia no viva.

El siglo XIX trajo un importante cambio para el preformismo. Wilhelm His (1831-1904) fue un embriólogo alemán que defendió la preexistencia de materiales al interior del cigoto, pues independientemente de que no estuvieran completamente formadas las estructuras que conforman un embrión, habría sustancias al interior del cigoto encargadas de conducir a la diferenciación la materia sin tener que recurrir a fuerzas ni principios organizadores inmateriales. El tipo de preformación que él proponía era de materiales y no de estructuras, algo dentro del cigoto y preexistente al embrión se encargaba de organizarlo y era preciso estudiar cómo lo hacía (Speybroeck, Waele & Vijver, 2002).

Por su parte, el biólogo alemán August Weismann rechazó la herencia de caracteres adquiridos, negando que los cambios que ocurran en los organismos por efecto de su esfuerzo se puedan transmitir a su descendencia (1891). Su visión del desarrollo y de la herencia se basa en una división del trabajo celular entre aquellas células que se ocupan de mantener el cuerpo del organismo (el soma), y aquellas que se dedican a la reproducción del mismo (el germen o línea germinal). Para él, la diferenciación celular se debía a que las células del soma recibían distintos *determinantes* o partículas guiadoras del desarrollo al momento de la división celular que forma al embrión, mientras que las células de la reproducción conservaban los determinantes y los transmitían a la siguiente generación. La única manera en que el ambiente podía afectar a la línea germinal era a través de las condiciones de vida, pero los posibles cambios en las partículas de la herencia eran generalmente por cambios aleatorios accidentales. (Jablonka, Lamb & Zeligowski, 2014)

Para finales del siglo XIX, el estudio de los cromosomas en las células reproductivas animales durante la formación de gametos era un campo de investigación que ya estaba desarrollándose. Eventualmente, la observación de que al final de la división meiótica, en cada gameto sólo se encontraba la mitad del número de cromosomas iniciales, junto con el descubrimiento de que el número de cromosomas se restablecía durante la fertilización, demostró que el padre y la madre aportaban la misma cantidad cromosomas durante la formación del cigoto (Callebaut, 2008).

Esto tomaría particular relevancia en 1902 cuando Walter Sutton (1877-1916) relacionó la disociación cromosómica durante la meiosis con la segregación de caracteres hereditarios descritos por Mendel; y cuando en 1910 Thomas Hunt Morgan localizó en los cromosomas de *Drosophila* las partículas de la herencia denominadas *genes* (Callebaut, 2008), quedando así abierto el campo para el estudio de la participación de los genes en las etapas tempranas del desarrollo.

A inicios del siglo XX nace el consenso de que el control del desarrollo de los organismos ocurría tanto por las interacciones celulares como por determinantes existentes dentro de la célula. La embriología se concentró en el estudio del citoplasma, mientras que para la genética se hizo crucial el estudio dichos determinantes en el contexto de la genética Mendeliana y la teoría Weismanniana de la herencia. Aquí, la noción preformista de unidades de herencia guiando la producción y transmisión de caracteres fenotípicos cobra importancia y se inicia la búsqueda por la base material de estas unidades (Speybroeck, Waele & Vijver, 2002).

Figura 2. La división entre la Genética y la Embriología (*ilustración de elaboración propia*).

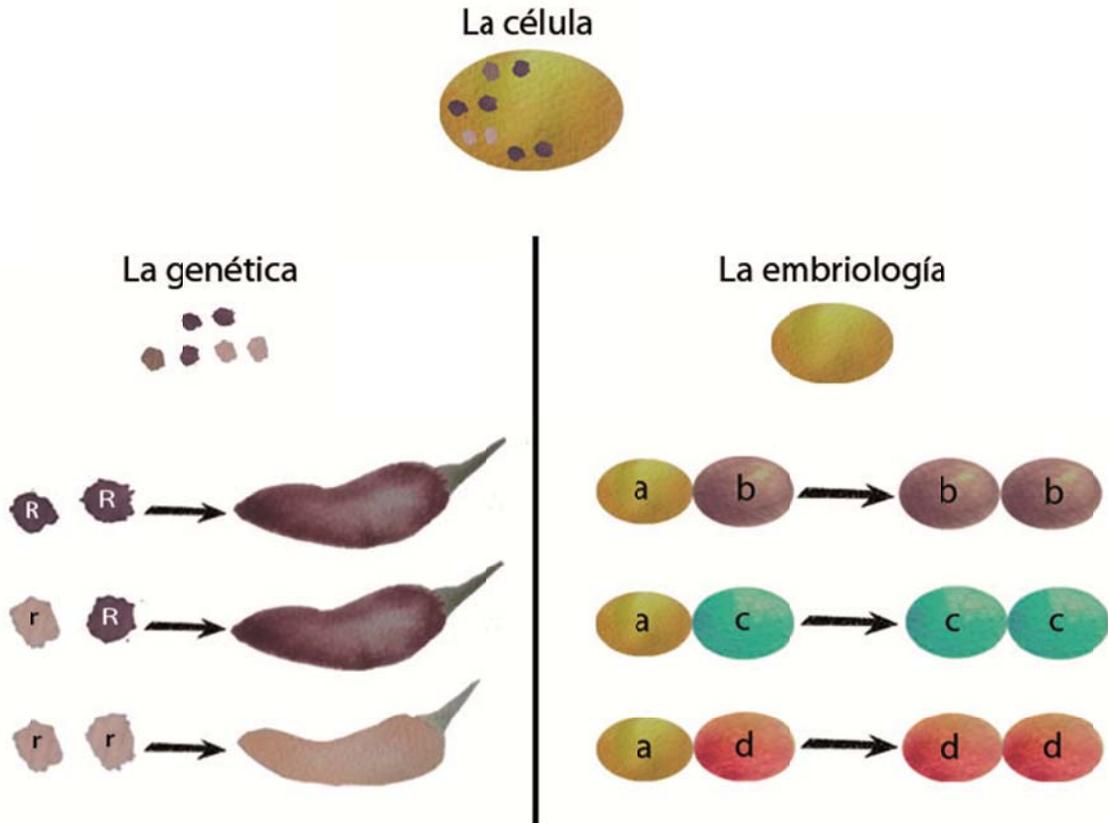


Figura 2. Del lado izquierdo se muestra el enfoque de la genética, orientado hacia la búsqueda y el estudio de las partículas de la herencia y su efecto sobre el fenotipo (partículas representadas en morado y rosa, exhibiendo una relación mendeliana de dominancia completa entre los alelos R y r). Del lado derecho se muestra el enfoque de la embriología, que se orientó hacia el estudio del citoplasma y las interacciones celulares durante el desarrollo, ilustrado en que la célula a tiene diferentes destinos celulares dependiendo de si está en contacto con las células b, c, o d.

La primera vez que se habla de manera explícita de la unión entre el preformismo y la epigénesis es cuando en 1916, Hertwig (cita en Callebaut, 2008) introduce el término “epigénesis preformada” dando a entender que el proceso de desarrollo de los organismos es un proceso de epigénesis –

comprendida como surgimiento de forma— que lleva un curso *determinado* por el material hereditario, el cual es la base para este proceso.

En 1942, el biólogo del desarrollo y genetista C. H. Waddington propone a la Epigenética como “el estudio de los procesos involucrados en el mecanismo mediante el cual los genes del genotipo tienen efectos fenotípicos” (Waddington, 2011), haciendo así un esfuerzo por conciliar el trabajo de la genética, estudiando el comportamiento de los genes, y el de la biología del desarrollo, dando contexto al comportamiento de los genes dentro de los procesos ya estudiados por la embriología.

En la década de 1950 culminó la búsqueda por la estructura física de los genes al proponerse el modelo de la doble hélice para el ADN, atribuido a Watson y Crick. El estudio de los genes desplazó el estudio citoplasmático y tuvo un gran impacto en la biología en general y la teoría evolutiva en particular. A partir de ese momento se aceleró la progresiva atribución a los genes de procesos como la herencia, el desarrollo, la evolución, la variación hereditaria, etc. (Speybroeck, Waele, & Vijver, 2002).

La epigenética se ha transformado desde la época de Waddington hasta la actualidad y hoy en día se ocupa principalmente de los mecanismos a través de los cuales las células se comprometen con una forma o función particular, y los estados en forma y función que se adquieren se transmiten a las células hijas en los linajes celulares (Jablonka & Lamb, 2002).

El principal reto que presenta la Epigenética a la doctrina de Weismann y por la cual es posible identificarla como heredera de las visiones de la epigénesis histórica es que se interesa por las situaciones en las que la

variación genética no lleva a variación fenotípica, y las diferencias fenotípicas no están asociadas con las diferencias genéticas. La existencia de estos fenómenos implica una ruptura con el principio de que hay un acoplamiento obligado y flujo de información lineal que va del germen al soma, o del genotipo al fenotipo.

**Tabla 1. Fases de preformismo y la epigénesis (adaptado de Speybroeck, Waele y Van de Vijver, 2002)**

Preformismo		
Siglos	Principios	Representantes
XVI y XVII	Los organismos preexisten en miniatura dentro del padre o la madre. El desarrollo sólo es crecimiento.	Malpilghi y van Leeuwenhoek
XVII y XVIII	La materia viva es modificada por fuerzas naturales mecanicistas, pero hay un <i>tipo</i> que se conserva a pesar de las modificaciones.	Von Haller y Bonnet
XVIII y XIX	El preformismo es de los materiales, no de las estructuras, y los cambios son puramente físicos y químicos.	Wilhelm His
XX	Hay partículas responsables de la herencia y el desarrollo de los caracteres que son portadas por los organismos desde que son cigotos: los Genes	Weismann

<b>Epigénesis</b>		
<b>Siglos</b>	<b>Principios con los que se trabajaba</b>	<b>Representantes</b>
XVII	Los órganos se forman en una cascada de cambios que organizan materia indiferenciada en un embrión.	Harvey
XVII y XVIII	Hay fuerzas interiores que dan forma la materia viva, la cual posee una tendencia a organizarse.	Needham, Maupertuis y Buffon
XVIII y XIX	El poder generativo de la materia viva la diferencia de la no viva. El vitalismo se va sustituyendo por fuerzas mecanicistas.	Wolff y Blumenbach
XX	Los genes no actúan por sí mismos, ni tienen toda la responsabilidad causal del fenotipo ni la herencia en los seres vivos, los procesos de desarrollo no son triviales.	Hertwig y Waddington

### **Continuidad en el preformismo y la epigénesis**

Como se muestra en los cuadros anteriores, ambas perspectivas sobre el desarrollo de los organismos han atravesado cambios en aspectos importantes. Sin embargo, Oyama (2002) nos ayuda a resaltar los aspectos que le dan al preformismo su carácter de tal, independientemente de las modificaciones que ha sufrido.

El preformismo se caracteriza por defender la transmisión de un germoplasma predeterminado (o pre-organizado) a través de las generaciones. El material requerido para la formación del organismo ya se encuentra de manera material o en forma de instrucciones dentro de las células parentales que dan origen a su descendencia. Por lo tanto, los cigotos al momento de formarse ya portan en su interior todo lo necesario para organizarse y dar como resultado un organismo desarrollado.

En las concepciones preformistas existe además una correlación entre las estructuras iniciales y las finales en un organismo. La idea inicial preformista de que los organismos estaban completamente formados en el interior de los progenitores fue reemplazada por la de un encapsulamiento que no incluía al organismo ya integrado pero sí a las estructuras que lo compondrían más adelante. Es decir, en el momento que un ser vivo es concebido, existen estructuras organizadas en cierto grado, mismas que conforme el organismo se desarrolle tendrán una estructura correspondiente en el organismo embrionario y post-embrionario.

Lo que para los preformistas del siglo XVII fuera una correspondencia entre estructuras organizadas iniciales y órganos completos, para los preformistas del siglo XX sería una correspondencia entre estructuras organizadas en cromosomas y partes específicas del fenotipo. El DNA es considerado una representación codificada del fenotipo.

La fuente última de indicaciones para que se lleve a cabo el desarrollo son los *determinantes* o genes, estas partículas son unidades de información<sup>7</sup> que contienen las instrucciones de cómo llegará a ser el organismo al desarrollarse. Estos *determinantes* no suelen verse alterados por las interacciones celulares o por efectos ambientales, es decir, no hay herencia de caracteres adquiridos. Las modificaciones que pueda sufrir un organismo a causa de su ambiente no repercuten en sus determinantes y no se transmiten a la siguiente generación.

Finalmente, algo que ha conservado el preformismo a lo largo de sus transformaciones es la premisa de que es posible y deseable encontrar una fuente última y fundamental del desarrollo sobre la cual recaiga la responsabilidad del mismo.

Uno de los principales aspectos que nos permiten reconocer una continuidad entre la epigénesis inicial y la de la actualidad es que ninguna considera que el organismo esté dado desde el momento de su concepción. Esto quiere decir que cuando se tiene un cigoto, no se tiene ya todo lo necesario para que dicho cigoto se convierta en un adulto. El fenotipo se va conformando por la interacción entre el organismo y lo que lo rodea, por lo tanto, no hay una fuente última para la información.

---

7 De acuerdo con Jablonka y Lamb (2014), para que algo se considere una fuente de información debe existir algún tipo de receptor que reaccione a la fuente de información y la interprete (lo cual es compatible con el planteamiento original de la teoría de la comunicación de Shannon y Weaver). El receptor puede ser un organismo, célula, o máquina elaborada por el ser humano. A través de su reacción e interpretación, el estado funcional del receptor cambia en una manera que tenga relación con la forma y organización de la fuente. Por lo general no hay nada intencional en la reacción e interpretación del receptor, aunque de cierta manera pueda beneficiarse de ella. De manera muy general, se podría decir que para Jablonka y Lamb la información es un estímulo que al ser interpretado por un receptor tiene efecto sobre su comportamiento.

El siguiente nivel de discusión sería el de hasta qué punto esta definición de *información* permite la existencia de *partículas* portadoras de información y hasta dónde se les puede atribuir poder causal sobre el desarrollo de los seres vivos.

Aunque durante los siglos XVII y XVIII la epigénesis fuera vitalista y considerase que el desarrollo era guiado por una fuerza interna inherente a la materia viva, nunca dejó de considerarse que el organismo siempre estuviera en un proceso de llegar a ser, los seres vivos no estaban atravesando un proceso de desdoblamiento sino de construcción de sí mismos.

Para la epigénesis, el fenotipo es algo construyéndose y no algo revelándose. Esto quiere decir que lo que ocurre durante la construcción es relevante para los procesos que ocurran después, y no sólo eso, los elementos que al interactuar dan lugar a un cambio pueden también cambiar a raíz de dicha interacción. Esto puede verse en la epigénesis del siglo XVIII con el vitalismo de Montpellier, que a pesar de estar mucho más orientado al estudio médico que al embriológico, reconoce una relación entre los órganos tal que la acción de unas partes produce efectos sobre otras partes, que a su vez pueden modificar a las primeras (Wolfe & Terada, 2008).

El ya mencionado trabajo de Costanzo *et al.* (2010) es un ejemplo de cómo en la actualidad hay investigación que en lugar de tratar a los genes como entidades independientes, separables y con un efecto definido, los maneja como factores que intervienen en los procesos fisiológicos a manera de *integrantes* de redes. Así, dependiendo de la actividad de otros genes y la presencia de otros factores, los genes pueden tener diferentes efectos o bien, los efectos pueden presentarse sin el gen gracias a la actividad de la matriz.

La importancia de los eventos que ocurren durante la vida de un organismo está presente en la epigénesis histórica tanto como en la actual. Y

es por eso que a pesar de las grandes diferencias en los mecanismos propuestos por una y otra, en ambos casos se contempla la posibilidad de que algunas de las modificaciones que sufra un organismo puedan pasar a la siguiente generación, y que aquello que pasa de progenitores a descendientes sea más que las partículas determinantes del preformismo. Este planteamiento Lamarckiano tiene su correspondencia en el estudio actual de herencia epigenética, conductual y simbólica (Jablonka, Lamb, & Zeligowski, 2014); así como en la búsqueda de una concepción de la relación organismo-ambiente en la que se considere que el organismo también modifica y selecciona a su ambiente, lo cual tiene efectos sobre el mismo organismo y sobre las generaciones que *heredan* ese ambiente (Lewontin, 2001a).

### **El llamado consenso moderno**

En el prefacio del libro *Embryology, epigenesis and evolution: Taking development seriously* (2004) Jason Scott Robert menciona que hoy en día no existen posturas que se empaten de manera completa y absoluta con el preformismo ni con la epigénesis, sino que las más de las veces, se busca reconciliar las perspectivas tomando elementos de ambas. Él se refiere a esta búsqueda de unir partes del preformismo y la epigénesis como el “consenso moderno” que busca explicar el desarrollo en función de una interacción de lo preformado con lo epigenético.

Según Robert el consenso moderno tiene tres fundamentos principales: el informacionismo genético, el animismo genético y la primacía genética.

El *informacionismo genético* afirma que los genes contienen preformada la información del desarrollo, es decir, que las características que poseerá un organismo están fundamentalmente codificadas en su material genético y en él se indica cómo debe ser el organismo en cuestión.

*El animismo genético* es la premisa de que hay un programa genético en el DNA que controla el desarrollo del organismo, por lo que no sólo se cuenta con un código que guarda la información sobre el futuro del organismo, sino que además, la misma molécula donde están codificadas las características potenciales están también las instrucciones de cómo llevarlas a cabo.

Por último, *la primacía genética* es la parte del consenso moderno que justifica el estudio de los genes como el elemento más importante para entender la conformación del fenotipo, pues considera que los genes son la unidad de la herencia y además de guiar la construcción del organismo según su plan, existen antes que cualquier otro factor del desarrollo; primero existen los genes y después todo lo demás.

Es así como el desarrollo se convierte en el desdoblamiento de lo que está escrito en el código genético. La epigénesis se vuelve entonces una activación ajena para la producción de un organismo. En el mejor de los casos, la epigénesis es contemplada como el detonante que en el contexto

adecuado permite que el potencial del desarrollo que reside en el genoma se pueda llevar a cabo en el tiempo que le corresponde.

Esta tesis del desarrollo como desdoblamiento puede presentarse como un tipo sofisticado de preformismo, uno capaz de integrar una explicación de los cambios observables durante el desarrollo y no una epigénesis genuina. Robert es partidario de que el consenso moderno es una mezcla entre las dos posturas debatientes y los llama también interaccionistas, pero Susan Oyama llama abiertamente preformista a este acuerdo (Oyama, 2000), pues siempre que se considere que la forma o la información existen antes que las interacciones que le dan lugar y tienen que ser transmitidas al organismo, se está hablando en términos preformistas.

Speybroeck, Waele, y Vijver mencionan en la conclusión de su texto de 2002 que a pesar de que la epigénesis haya tenido un gran peso vitalista durante muchos años –en su afán de darle a la materia viva cualidades distintivas y estudiar los cambios en ella durante el desarrollo– su búsqueda por conocer cómo se lleva a cabo la organización en los seres vivos la conecta con el estudio del desarrollo en la actualidad. Hoy ese estudio existe en un contexto diferente, uno que hace uso de la biología molecular, la diferenciación celular y la regulación génica, pero procurando enfocarse en aspectos dinámicos de los procesos embrionarios.

En el caso del preformismo, el enfoque constante que lo caracteriza es la búsqueda de los elementos estables, que permitan determinar el resultado final del proceso, ya sea cumpliendo con un plan divino o siguiendo un mapa de genes que dicten el desarrollo. El debate entre dar mayor prioridad a lo

que da robustez o a lo que trae transformación subyace en discusiones como la de la inmutabilidad de las especies vs. su evolución, o la del genocentrismo contra las visiones que no le asignan a los genes un rol causal privilegiado para la formación del fenotipo.

Dado que en la actualidad el estudio de la embriología busca entender los procesos de cambio a la par que la potencialidad de los resultados para esos procesos, las autoras mencionan que la brecha que separa los fundamentos de la epigénesis y del preformismo se está reduciendo, y conforme se le vaya dando una interpretación más dinámica a los sistemas que determinan la constitución de los seres vivos, estas dos visiones juntas podrán suponer una continuación de lo que Waddington tenía en mente cuando la epigenética tuvo su origen.

“PODEMOS SEÑALAR CON SATISFACCIÓN QUE EL ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS GENES HA PROGRESADO LO SUFICIENTE COMO PARA UNIRSE CON LA EMBRIOLOGÍA EXPERIMENTAL. LOS DOS MÉTODOS DE ANÁLISIS CUYA APROXIMACIÓN AL OTRO HA SIDO SÓLO UNA ESPERANZA PUEDEN AHORA VENIR JUNTOS EN LA PRÁCTICA PARA ABORDAR LOS PROBLEMAS NO RESUELTOS DEL *EPIGENOTIPO*<sup>8</sup>.” (WADDINGTON, C. H., 2011. P.13)

David Haig, en *Proximate and ultimate causes: how come? and what for?* (2013), escribe que gran parte del desacuerdo entre las visiones genocentristas de la biología y las visiones orientadas hacia el desarrollo está dado porque se ocupan de responder preguntas diferentes, recuperando la

---

8 Los procesos del desarrollo que median entre el genotipo y el fenotipo.

distinción que hace Mayr originalmente entre *causas próximas* y *causas últimas* (Mayr, 1993).

Haig considera que la elección de nombrar *últimas* (o *remotas*) a las causas históricas a largo plazo resulta problemático por asignar de antemano una prioridad a las explicaciones evolutivas de las características de los seres vivos, pero no descarta que la separación entre una biología que se ocupe de responder preguntas sobre procesos fisiológicos y una biología que se ocupe responder preguntas sobre la historia de los seres vivos sea pertinente, pues no considera que haya conflicto entre ambas perspectivas. Él mismo habla en *The strategic Gene* (2012) de cómo problemas de este mismo tipo que se presentan en el debate de las unidades de selección natural (genes, multinivel o de sistemas) son semánticos, y la incompatibilidad parece estar dada por las diferencias en definiciones de términos fundamentales para cada perspectiva:

“UNA RESOLUCIÓN SIMPLE A LAS DISPUTAS SERÍA PROPONER QUE AMBOS MARCOS TEÓRICOS SE OCUPAN DE DISTINTAS PREGUNTAS. ESTA PROPUESTA PODRÍA SER PERCIBIDA COMO PARTISANA PORQUE LA PREMISA DE QUE LAS PREGUNTAS ONTOGÉNICAS Y EVOLUTIVAS REQUIEREN DISTINTOS TIPOS DE RESPUESTA ES GENERALMENTE ACEPTADA POR UN LADO (DAWKINS 1982, P. 98; WILLIAMS 1986) PERO RECHAZADA POR EL OTRO (GRAY 1992, P. 187; OYAMA 2000, P. 45). LOS GEN-SELECCIONISTAS CONSIDERAMOS QUE UNA SEPARACIÓN CONCEPTUAL DE LAS EXPLICACIONES ADAPTATIVAS Y LAS DEL DESARROLLO BRINDA CLARIDAD DE PENSAMIENTO, MIENTRAS QUE LOS PARTIDARIOS DE LOS SISTEMAS EN DESARROLLO CREEN QUE ESA SEPARACIÓN OSCURECE MÁS DE LO QUE ILUMINA.” (HAIG, D., 2012. P. 475)

Considerar que la mayoría de las veces los problemas de incompatibilidad entre explicaciones vengan simplemente de diferencias en las definiciones que emplean las disciplinas resulta *práctico* pero hace a un lado un aspecto muy importante del debate sobre las divisiones entre áreas del conocimiento: las separaciones que se hacen para estudiar aspectos de la realidad no son arbitrarias. Si bien es cierto que delimitamos el área de estudio según nuestro interés, eso no implica que la materia no se encuentre organizada de alguna manera.

El reconocimiento de distintos niveles ontológicos diferenciados ha conducido frecuentemente a estudiarlos como si sus existencias fueran independientes o como si estuvieran supeditados los unos a los otros. Sin embargo, las diferencias en el trato que se da a estos niveles no son solamente disparidades terminológicas: un reduccionismo filosófico considerará que niveles de organización más basales son los que les dan sus propiedades a niveles superiores y construirá sus conceptos y métodos alrededor de eso, mientras que la interpretación del holismo de que los niveles superiores poseen propiedades que anulan la relevancia de los niveles basales dará origen a otros que sean incompatibles con los anteriores.

Si el problema es tratado como puramente semántico se puede perder de vista que las áreas y categorías con las que trabajamos llevan implícita una perspectiva sobre cómo funciona el mundo y en función de la cual la realidad se puede separar de una u otra manera para su estudio. Se corre el riesgo de que los distintos niveles de organización de la materia sean tratados como desarticulados en lugar de integrarlos como parte de un todo cuyos niveles ontológicos requieren estudios especializados pero jamás en aislamiento con

respecto a los demás niveles. En palabras de Steven Rose (1997) “Nuestro mundo es una unidad ontológica, pero para entenderla necesitamos la diversidad epistemológica que distintos niveles de explicación ofrecen”. Reconocer la existencia de la realidad como un todo y distinguir los niveles en que se organiza son dos labores que se abordan juntas desde la dialéctica pero que no tienen sentido desde un punto de vista mecanicista reduccionista ni desde uno holista extremo.

Caponi (2013) ha tratado en diversas ocasiones el tema de la separación de las causas en biología: ¿es la dicotomía entre causas próximas y causas remotas (o últimas) funcional para los problemas de la biología contemporánea? ¿Vale la pena mantener separadas esas dos categorías de causalidad? Caponi escribe:

“[...] el orden de las causas remotas no es un orden causal paralelo o anterior al orden de las causas próximas: aquél sólo existe en y por éste. Si las ontogenias individuales no estuviesen sometidas a exigencias organizacionales no habría constreñimientos ontogenéticos pautando la evolución de los linajes; y si los vivientes individuales no estuviesen sometidos a exigencias ecológicas, tampoco habría presiones selectivas.” (Caponi, G., 2013. p.203)

De acuerdo con Caponi, las causas próximas y las remotas son diferentes pero están relacionadas la una con la otra. Reconocer su existencia como categorías causales distintas no nos obliga a considerarlas fuerzas independientes.

Considero que como ocurre con muchas dicotomías (interno/externo, organismo/ambiente), lo que resulta más ilustrativo no es la desaparición de las categorías sino su caracterización como entidades dialécticas que dependen de la existencia de la otra para tener una identidad y que a su vez cambian a partir de la condición de interpenetración en la que existen con su contraparte.

Las causas próximas y las remotas no son las mismas, pero existen unidas y cambian conforme cambia la otra, por lo que incluso siendo distinguibles por separado, no existen de manera independiente y no deberían ser tratadas como si lo hicieran. Este tipo de trato donde se reconoce la identidad de las causas pero se les contextualiza en función de las demás es característico del pensamiento dialéctico y no es compatible con una aproximación reduccionista del desarrollo y de la evolución.

Comparto con Susan Oyama (2000) la posición de que el estado actual de la relación entre el preformismo y la epigénesis tiende mucho más a una versión estilizada de preformismo que a una verdadera síntesis entre ambas perspectivas. Así como a partir del siglo XIX el preformismo tuvo que descartar su afirmación de que las estructuras de los organismos estaban completamente formadas en miniatura en favor de una explicación más flexible con respecto a la capacidad del cigoto para atravesar cambios (Callebaut, 2008), en las últimas décadas, el heredero intelectual de preformismo histórico, el determinismo genético, se vio obligado también a tomar en cuenta la existencia de interacciones fundamentales durante el desarrollo de los seres vivos. Sin embargo, esto se trata simplemente de una concesión hecha por este tipo de determinismo para darle algún papel al

contexto en el que ocurren los eventos, partiendo siempre del supuesto de que los elementos responsables de la formación del fenotipo existen en su totalidad antes de que el desarrollo tenga lugar.

## **CAPÍTULO 3**

### **Causalidad en el preformismo**

David Haig (2007) hace una defensa de Weismann a través de una crítica al surgimiento de visiones Neo-Lamarckistas del desarrollo, pero sobre todo de la evolución. Haig considera que las modificaciones epigenéticas, como la metilación del ADN que cambia los patrones de expresión génica, son relevantes para el desarrollo de los organismos, es decir, su ontogenia, pero que su importancia para la evolución es mínima. En última instancia –y de ahí su rescate de Weismann– son los genes (lo que en Weismann es el germen) los que portan aquello que se hereda a través de las generaciones y que le da al organismo sus propiedades, modificadas marginalmente por marcas epigenéticas.

Esto se relaciona con algo que Haig detalla en trabajos posteriores (Haig, 2012). Se mencionó anteriormente que para él, las diferencias entre las perspectivas genocentristas y del desarrollo son principalmente semánticas y que realmente no deberían entrar en conflicto porque se ocupan de problemas distintos, sin embargo, cuando habla del fenotipo (un término relevante tanto para el desarrollo como para la evolución) lo define dentro del marco preformista que prioriza a la selección natural como fuerza evolutiva de mayor importancia, y que opera principalmente sobre los genes.

La relación entre genotipo y fenotipo que utiliza Haig es unidireccional: los fenotipos son los efectos de los genes. Estos efectos pueden variar dependiendo del ambiente en el que se encuentre el material genético, dando lugar a la norma de reacción del gen. Dado que el genotipo produce

fenotipos que serán sometidos a la presión de la selección natural, se puede suponer que la presencia de un gen –o varias copias suyas, si se quiere– se da en una población porque produce un fenotipo que ha sido seleccionado. Entonces, los genes son causa de los fenotipos al guiar su desarrollo, y son efecto de ellos mismos tras haber sido seleccionados, aumentando su número de copias en la población.

*En Terms in tension: What do you do when all the good words are taken* (2001) Susan Oyama elabora una respuesta al texto *Vaulting Ambition* de Philip Kitcher (1987) en el cual, entre otras cosas, afirma que la teoría de sistemas en desarrollo y la biología dialéctica hacen una crítica bienintencionada pero errada al genocentrismo. Según Kitcher, la teoría de sistemas en desarrollo (TSD) y la biología dialéctica rechazan que el fenotipo sea una cuestión de “interacción” entre genotipo y ambiente y los considera críticos de las normas de reacción, en las que se mide el efecto de uno de estos factores al mantener fijo al otro.

Susan Oyama matiza la aseveración de Kitcher diciendo que en realidad las explicaciones en términos de interacción muy pocas veces consideran que el fenotipo sea realmente el producto de varios factores teniendo efecto sobre los otros, sino que son vistas como la expresión de un plan escrito en los genes que dependiendo de las moléculas y condiciones físicas que integren a su ambiente llegará o no a ser de una forma determinada. Para Susan Oyama, las interacciones que propone el genocentrismo resultan siempre en que el fenotipo es el resultado de ciertos genes en un ambiente, pero nunca resultado de un ambiente al que se le presentan ciertos genes (Oyama, 2001).

En el mismo sentido que Oyama, Richard Lewontin en *The triple helix: Gene, organism, and environment* (2001a) hace una crítica al uso de las normas de reacción, poniendo ejemplos del tipo de conclusiones que se desprenden de ellas, haciendo énfasis en que cuando se habla del gen asociado con algún carácter, no suele especificarse el ambiente en el que se obtuvo el fenotipo, incluso si se dice que el fenotipo es resultado de la interacción entre genotipo y ambiente.

Por lo tanto las explicaciones que brinda el genocentrismo consisten en dos esquemas para el origen del fenotipo: los genes son la causa directa del fenotipo y sólo requieren un estímulo, o bien, los genes son las posibilidades de fenotipo que se pueden llevar a cabo o no dependiendo de si el ambiente es propicio.

Davidson, *et al.*, (2002) se propone caracterizar la mayor cantidad de genes involucrados en el desarrollo de las capas de endo-mesodermo en el erizo de mar y el tipo de interacción de regulación que existe entre ellos, es decir, modelar la manera como el estado de un gen regulador en un momento del desarrollo interviene en la transcripción de otro gen. La labor de ubicar la actividad de los genes en una red de interacción para estudiar el desarrollo no es por sí misma una afirmación de la primacía genética ante los demás elementos que intervienen en la construcción del fenotipo. Sin embargo, muchos aspectos de cómo se plantea el ejercicio portan la premisa de que la mejor forma de entender cómo los organismos adquieren su forma está en función de los genes.

“LA VISIÓN QUE SE TOMA AQUÍ ES QUE PARA “ENTENDER” POR QUÉ UN PROCESO DEL DESARROLLO OCURRE COMO LO HACE SE REQUIERE APRENDER CUÁLES CON LAS ENTRADAS Y SALIDAS CLAVE EN TODO EL SISTEMA REGULADORIO GENÓMICO QUE CONTROLA AL PROCESO CONFORME SE DESENVUELVE.” (DAVIDSON, E. H., *et al.*, 2002. P.1669)

Aunque no se diga de manera explícita, el método que se está empleando es el reduccionismo cartesiano: se busca entender las propiedades de un todo a partir del funcionamiento de las partes en las que se divide. En este caso las partes son los genes reguladores y los genes regulados, y el estudio detallado de sus interacciones tiene como objetivo entender el proceso de formación del embrión de erizo de mar que equivaldría al *todo*. Aunado a lo anterior está el que las relaciones que se consideran relevantes de estudio son fundamentalmente cuantitativas, el interés que subyace a este tipo de investigación es similar al que Britten (2003) propusiera en *Only details determine* de estudiar la mayor cantidad de genes posible, pues mientras más genes se tengan comprendidos y se conozca su papel en las complejas redes de regulación, mayor será nuestro conocimiento general del fenómeno del desarrollo.

El flujo causal iría de la siguiente manera:

Genes reguladores → Genes codificantes para factores de transcripción →  
Especificación del fenotipo

Donde el mayor poder causal está en los genes reguladores que en distintos momentos del desarrollo fomentan o reducen la actividad de los genes codificantes para factores de transcripción. Hay una gran complejidad en lo que respecta a qué combinaciones de genes encendidos y apagados se necesitan para que el fenotipo se desarrolle, ahí entran las posibilidades de que algunas combinaciones diferentes lleven al mismo resultado o que mínimas diferencias resulten en grandes cambios en el proceso, sin embargo, incluso cuando no se traten de relaciones forzosamente aditivas (donde un gen que se enciende o que se apague tenga un efecto de presencia o ausencia directa y acumulativa) sí son cuantitativas: la presencia-ausencia de la activación se cuantifica y se explica en forma de relaciones matemáticas. Aunque no se suponga una relación lineal sí es una relación cuantitativa. Esto no es necesariamente un defecto, la búsqueda y explicación de propiedades cuantitativas es una parte importante de entender los fenómenos biológicos, sin embargo, cuando se pierde de vista que existe una relación entre lo cuantitativo y lo cualitativo y que ambos son dos aspectos de lo mismo, la omisión de lo cualitativo en favor de lo cuantitativo resulta en que la expresión matemática pareciera lo único valioso de la investigación científica.

A diferencia de la lógica de “un gen, una proteína” (donde claramente hay un flujo unidireccional de causalidad que va de la presencia del gen que codifica para una proteína y la presencia de la proteína en cuestión), la base del artículo es que el desarrollo del erizo de mar depende fundamentalmente de que los genes reguladores *controlen* la transcripción de otros genes, lo que puede leerse como una atribución de poder causal mayor a los genes

reguladores, quedando los demás en segundo lugar en la cadena causal que por lo demás se mantiene lineal.

Darle gran peso causal a los genes que regulan factores de transcripción abre la puerta a que durante la discusión de la relevancia de los genes para la formación de los organismos se hable de que no todo el ADN se comporta igual y que su comportamiento depende de otras condiciones, que las más de las veces incluye al comportamiento de otras secciones de su secuencia, a veces de la vecindad inmediata, a veces de fragmentos distantes (lo que Haldane nombró como interacción *cis* y *trans*, hoy llamada *regulación cis* y *trans*). Permitir que la pregunta de *¿por qué las partes del erizo van adquiriendo esa forma en particular?* tenga una respuesta que no se reduzca a los genes cuyos productos dan lugar a las estructuras da un respiro. Sin embargo, se queda en el plano de lo genético: es la secuencia de ADN la que regula a otras partes de la secuencia, regresando entonces a que sea lo “innato” lo que guía el proceso de adquirir forma. Es a causa del ADN, la molécula que está presente desde que el cigoto se forma, que el cigoto logra convertirse en algo más. Aunque la importancia de distintas regiones del material genético varíe, como conjunto sigue teniendo mayor relevancia para explicar los procesos que otro tipo de factores que incluso cuando se mencionan, están subordinados a los genéticos y de ahí que su manejo del desarrollo del organismo y la construcción de su fenotipo sean fundamentalmente preformistas.

Considero que los análisis que buscan incrementar la cantidad de genes conocidos y su comportamiento en función de otros genes son de gran

utilidad para estudiar el desarrollo de una manera esquemática y nos brindan información sobre los eventos a nivel molecular. Sin embargo, este trato de los genes permite una extrapolación de su poder explicativo hasta el grado de que pareciera que con el número adecuado de genes estudiados se podrá entender el desarrollo más extensamente que si se busca entender a otros factores con el mismo entusiasmo.

Este tipo de trabajos exhiben una gran certeza de que la regulación génica que da lugar a la especificación de tejidos es responsabilidad de los genes cis-regulatorios más que ningún otro factor, como podrían ser la estructura de la cromatina, la metilación y otros que se mencionan casi al final del artículo.

“[...] ES SENCILLO DE VER QUE LA MAYOR PARTE DEL TRABAJO REGULADORIO DE ESPECIFICACIÓN ES REALIZADO POR LOS ELEMENTOS CIS-REGULATORIOS DE LOS GENES QUE CODIFICAN PARA FACTORES DE TRANSCRIPCIÓN. ESTE ES UN HECHO GENERAL DE LA VIDA QUE DEBE SER VERDAD PARA TODOS LOS GRANDES PROGRAMAS DE DESARROLLO.” (DAVIDSON, *et al.*, 2002. P. 167)

No es mi propósito negar que en este caso en particular los genes cis-regulatorios sean de gran importancia para la especificación celular, tampoco es mi interés negar que la mayoría de los reguladores que intervienen en la especificación celular sean los elementos cis-regulatorios que intervienen en la actividad de los factores de transcripción. Lo que pretendo hacer notar es

que este tipo de enfoque posee una confianza excesiva en que el tipo de factor que está interviniendo en el desarrollo, de una manera y en un contexto específico, es igual de relevante en todos los problemas similares.

### **Causalidad en la epigénesis**

La visión que tienen Eva Jablonka y Gal Raz sobre la causalidad en la construcción del fenotipo y su relación con la evolución se puede distinguir en *Transgenerational epigenetic inheritance: prevalence, mechanisms, and implications for the study of heredity and evolution* (2009), donde describen la importancia de las asas de retroalimentación durante el establecimiento, conservación y herencia de fenotipos celulares. Para Jablonka y Raz, es muy relevante el énfasis en cómo el contexto *intra* e *intercelular* puede generar distintos fenotipos estables.

La naturaleza de los estímulos puede llevar a distintas rutas de diferenciación en las cuales pueden ocurrir cambios en las células progenitoras y descendientes al mismo tiempo o por separado, y estos cambios pueden pasar a las siguientes generaciones celulares.

Sin embargo, los planteamientos sobre cómo la comunicación entre lo *externo* y lo *interno* moldea el fenotipo no se limitan a lo que correspondería a causas próximas en la distinción de Mayr. Jablonka y Raz consideran que el cambio evolutivo puede ocurrir a través de la selección natural de variantes epigenéticas (sin que se involucre la variación genética), la selección de variaciones genéticas correlacionadas con cambios epigenéticos, y de las restricciones y alcances que la herencia epigenética impone al desarrollo

(Jablonka & Raz, 2009). Sin hacer a un lado la relevancia de los factores genéticos, lo que buscan Jablonka y Raz es evaluar las posibilidades en las cuales factores de diferentes niveles y con distinta relación entre sí jueguen papeles con importancia evolutiva. Esta aproximación pone como sujeto de la evolución no a los genes, organismos o ambientes sino a las relaciones que existen entre ellos.

Es esto a lo que Susan Oyama se refiere cuando defiende a la epigénesis en el sentido de que las interacciones entre los seres vivos en desarrollo y su entorno tienen un papel relevante para la construcción de los organismos. De acuerdo con Oyama, muchas de las condiciones para los procesos biológicos han surgido en el tiempo evolutivo porque sus apariciones afectan la probabilidad de su propia reaparición (como el alelo que se ve favorecido por la selección natural), pero esa no es la única causa de su presencia. (Oyama, 2009).

Las explicaciones tradicionales de causa y efecto *uno a uno* no alcanzan cuando los eventos cambian las causas que les dieron origen. Para la epigénesis, existe la posibilidad de que las causas y los efectos se transformen conforme el sistema se desarrolla y las nuevas condiciones a su vez modifiquen las relaciones relevantes. Esta visión de una construcción gradual se opone al principio preformista de “todo estaba ahí” y valora las interacciones entre los elementos de un sistema (Oyama, 2009). Esto sugiere una relación de tensión entre dichos elementos, de manera que aquello que es condición para la existencia de su opuesto se transforma a partir de la tensión que existe entre ambos (Gortari, 1979). Los procesos necesarios para que una agrupación de células embrionarias de lugar a tejidos están en

oposición con los procesos de las células que ya forman parte de tejidos, y a partir de esta tensión entre los dos tipos de procesos, las condiciones iniciales del embrión se transforman y dejan de existir.

La principal diferencia con respecto al preformismo es que este manejo de las causas acepta que la capacidad de un factor para generar un cambio será siempre dependiente de la actividad de los demás factores, los cuales son agentes de cambio también y no son simplemente elementos que favorecen o dificultan el cumplimiento de la labor de *uno* de ellos.

Jerry Coyne y Hopi Hoekstra se encuentran entre los principales críticos de la epigenesis. En el texto *The locus of evolution: evo devo and the genetics of adaptation*, que tiene como propósito hacer objeciones a la propuesta de la evo devo de dar una mayor prioridad a los genes de la regulación y el desarrollo para el estudio de la evolución de los caracteres morfológicos, desarrollan una crítica que se ha aplicado a otros esfuerzos por cambiar el enfoque en que se estudian diversos procesos biológicos: no hay suficientes motivos para pensar que el fenómeno biológico en cuestión (la evolución en este caso) ocurre de manera distinta a diferente escala o para diferentes caracteres. Para Coyne y Hoekstra (2007), la evolución morfológica y la fisiológica tienen como base los mismos procesos genéticos, y si no fuera así, hace falta mucho respaldo empírico y teórico que lo demuestre.

Hopi Hoekstra junto con Gregory Wray y otros biólogos evolutivos han defendido el enfoque genocentrista de la evolución en diversas ocasiones, argumentando por un lado que dependiendo de las áreas de especialización de cada quien, se tiene distinta propensión a demandar una mayor atención

hacia ciertos procesos que no se tratan con la importancia que nosotros consideramos que tienen por tratarse de nuestra área de estudio.

Aunque consideran posibles algunas de las propuestas que pueden identificarse con la epigénesis, consideran que hace falta un mayor estudio antes de determinar si en realidad lo poco que se conoce de estos fenómenos es porque están poco estudiados o porque ocurren con muy poca frecuencia.

“NUEVAS MUTACIONES PUEDEN CONVERTIR A UN CARACTER CON CIERTA PLASTICIDAD EN UNO QUE SE DESARROLLE INCLUSO CUANDO NO ESTÉN LAS CONDICIONES QUE ORIGINALMENTE LO INDUJERON. PERO HAY POCOS CASOS DE ELLO DOCUMENTADOS FUERA DEL LABORATORIO. SI ESTO SE DEBE A UNA FALTA DE ATENCIÓN SERIA O SI REFLEJA GENUINA RAREZA EN LA NATURALEZA SÓLO SE PODRÁ SABER A TRAVÉS DE ESTUDIOS POSTERIORES.” (WRAY *ET AL.*, 2014. P. 64)

Las dudas con respecto a si lo que los defensores de una visión más cercana a la epigénesis consideran importante merece realmente la atención que ellos demandan tienen su origen en la aparente suficiencia explicativa de un tipo de factor por sobre los demás, algo a lo que la epigénesis se opone. Para Jerry Coyne (2010) los factores no genéticos que se heredan y que tienen alguna relevancia adaptativa, dependen en última instancia de los factores genéticos y están subordinados a ellos.

Un trabajo de investigación donde se refleja el criterio característico de la epigénesis sobre la relevancia de los factores causales en los procesos biológicos es el de Julia Freund *et al.* (2013) *Emergence of Individuality in Genetically Identical Mice*. Como el título sugiere, este trabajo consistió en

poner ratones genéticamente idénticos en un ambiente nominalmente idéntico y registrar las diferencias en su actividad física y de exploración, así como las diferencias en su plasticidad cerebral. El objetivo era el de estudiar el efecto de los eventos durante la vida de los organismos sobre aspectos concretos del desarrollo como la capacidad de dar origen a un mayor número de neuronas.

La hipótesis era que los ratones con un rango de experiencia mayor, reflejado en un comportamiento de mayor exploración correspondiente a una mayor y más intensiva cobertura del territorio mostrarían mayores niveles de neurogénesis en el hipocampo (Freund, *et al.*, 2013).

El estudio demostró que la neurogénesis adulta, como una instancia de plasticidad cerebral, está ligada a diferencias individuales en la experiencia entre individuos genéticamente idénticos que viven en el mismo ambiente.

El planteamiento de este artículo y por el cual se le puede asociar con la perspectiva teórica de la epigénesis es que existe una relación de causalidad tal que los eventos que ocurren en momentos posteriores a las condiciones iniciales del sistema son relevantes para llevar a distintos escenarios resultantes. La causalidad como se propone aquí no sólo incluye la importancia de varios niveles (el genético, el organísmico y el ambiental) sino que le atribuye valor también a los eventos contingentes que no estaban al inicio del sistema, es decir a la experiencia. Esto último implica que el organismo está teniendo un papel activo sobre su propio desarrollo al mismo tiempo que se encuentra limitado por las posibilidades del mundo exterior, algo que no cabe en una interpretación donde el organismo está sujeto a la

voluntad del ambiente o por el contrario, es guiado por una fuerza interna que lo lleva hacia su propósito.

Los cambios que ocurren a través de la interacción de los diversos factores que le dan forma al fenotipo son capaces de cambiar el estado del sistema. Los cambios que atraviesa el fenotipo de las ratas, en este caso, cambian las condiciones para los eventos futuros. La actividad de exploración que resultó en una mayor plasticidad cerebral tendrá como efecto que los eventos futuros de exploración se realicen en condiciones diferentes que la primera vez.

### **Contraste entre las perspectivas teóricas**

Como se ha visto hasta ahora, ni el preformismo ni la epigénesis han sido homogéneos a través de su historia. Incluso en la actualidad presentan flexibilidad y por momentos se aproximan y se alejan al resolver los problemas que se plantean desde el estudio de las disciplinas que conforman a la Biología.

El enfoque que tiene el preformismo para estudiar los procesos biológicos tiene ventajas evidentes. Al colocar todos los elementos relevantes para el desarrollo del sistema en las condiciones iniciales del mismo da la impresión de que el desarrollo es un proceso que se puede controlar haciendo modificaciones al inicio y luego dejarlo andando sin que las intervenciones posteriores sean importantes más allá de nutrir el sistema que funciona casi por su cuenta; al concentrar en partículas *de información* el poder de formar el fenotipo, que es el que interactúa con exterior, son estas

unidades sobre las cuales actúan en última instancia las fuerzas evolutivas. Si las partículas de información son lo necesario para que el organismo sea como es, los cambios en las partículas de información son los únicos relevantes para la evolución; su restricción o priorización de los factores genéticos como guías principales de los procesos biológicos genera la expectativa de que el control sobre ellos brindará control sobre los demás fenómenos. Parece mucho más realizable desarrollar tecnología que permita controlar las partículas que controlar todos los demás factores que se presentan como *ruido de fondo*.

Sin embargo, sus principales limitaciones se derivan de su estructura fundamentalmente reduccionista. Cuando la causalidad se presenta como un flujo unidireccional entre los niveles (o, en el mejor de los casos, un flujo unidireccional con excepciones para la auto-regulación en uno de los niveles de menor complejidad) se escapan muchas interacciones de otro tipo cuya existencia se reconoce pero que no se incorporan como objeto de estudio. El preformismo tiene dificultades para integrar en sus explicaciones la relevancia de los eventos que ocurren durante el desarrollo incluso cuando da cuenta de su existencia. Poner atención a las partículas más simples del sistema y después a los resultados sin que los procesos que median entre los factores y el resultado formen parte de la explicación dificulta la comprensión de eventos que pueden cambiar los resultados sin necesidad de que haya cambios en las partículas simples.

Los intentos por incorporar la complejidad de los sistemas en su estudio han desembocado en una visión de teoría de sistemas que permite relaciones más complejas entre los elementos que conforman a un sistema

pero que no logra superar limitaciones conceptuales tales como el hecho de que a veces las condiciones iniciales (por más complejidad que se les permita) no son suficientes para explicar las condiciones finales por sí mismas. A pesar de permitir una gran cantidad de interacciones posibles entre los elementos al interior no contempla la influencia de los elementos externos al sistema ni la naturaleza cambiante de los factores a través del tiempo. (Levins, 1998)

Es verdad que la epigénesis está en desventaja en tanto que se ha trabajado mucho menos que el preformismo y casi siempre se utiliza como referencia para realizar una crítica al preformismo y no tanto para realizar investigación práctica. Aunque sea una herramienta con presencia en la biología del desarrollo, su respaldo empírico para temas de evolución es más reducido que el del preformismo.

La reducida masa de trabajo orientado hacia la epigénesis en comparación con el preformismo tiene como antecedente el fuerte estigma que la epigénesis portó durante gran parte del siglo XX: la herencia no genética o *herencia suave* era considerada un remanente del trabajo de Lamarck que no tenía cabida en la biología evolutiva moderna basada en la genética y la *herencia dura*. Los intentos por reivindicar el trabajo de Lamarck eran inmediatamente asociados con el trabajo de Lysenko en la Unión Soviética, el cual hasta la fecha es en occidente un ejemplo de ciencia fraudulenta y que debe ser descartada de inmediato.

Aun así, y como se demuestra con la existencia de trabajos como el de Eva Jablonka y Marion Lamb, se están dando las condiciones para explorar las

ventajas que tiene el reconocimiento de la causalidad múltiple y la pertinencia de revisar los niveles de organización en los que operan los fenómenos, incluso cuando los defensores del preformismo inviten a realizar dicha exploración a la vez que consideran innecesaria la reevaluación de cómo se asignan las prioridades entre los factores de los procesos biológicos.

Un enfoque que sea más cercano a la epigénesis que al preformismo tendrá siempre la ventaja de considerar que aquello que no se desprende directamente de las condiciones iniciales de un sistema no es *ruido*, la epigénesis tiene la capacidad de darle lugar a la contingencia y las propiedades emergentes como procesos naturales y no como interferencia.

La separación más clara entre estas dos perspectivas teóricas se encuentra en su forma de hacer frente a la pregunta de *¿qué es lo más importante?* Considero que aunque ambas puedan llegar a acertar dependiendo de la forma como se plantee el problema, sólo una de ellas tiene la capacidad de rectificar cuando el contraste con la realidad indique que quizá la interacción que se privilegió durante el estudio no era la más importante después de todo.

### **La matriz extra científica**

Independientemente de cuánto poder sobre la labor científica se le reconozca al contexto en el que ocurre dicha labor, es innegable que el momento histórico y las condiciones sociales en que se realicen forman parte de todas las actividades humanas y son influencias constantes sobre ellas.

Hay estudios históricos y sociológicos que han buscado identificar los elementos sociales que han repercutido sobre la ciencia de manera concreta. Tal es el caso del trabajo de Boris Hessen en *The Social and Economic Roots of Newton's Principia* (1974), donde analiza las prioridades sociales de la Inglaterra del siglo XVII que permitieron que la mecánica de Newton surgiera como la base teórica sobre la cual se buscaría resolver problemas prácticos relacionados con la guerra y el comercio.

Entre los ejemplos claramente documentados de la fuerza del contexto para el surgimiento y éxito de una teoría en las ciencias biológicas se encuentra el trabajo sobre la influencia de la economía política en el trabajo de Charles Darwin al desarrollar su teoría de la Selección Natural, realizado por Schweber (1977, 1980).

En *The Origin of the Origin revisited* (1977), Schweber hace un análisis sobre el trabajo de Darwin en el Origen de las Especies y sobre las influencias intelectuales que fueron parte importante del desarrollo de dicho trabajo. Entre las principales influencias que Schweber marca se encuentran Malthus, Lyell, Smith, Comte, Laplace y Quetelet.

Es en *Darwin and the Political Economists* (1980) donde Schweber detalla aspectos importantes de las influencias sobre Darwin que no vienen de las ciencias naturales, sino de las ciencias sociales, particularmente de los economistas políticos de la época victoriana. Darwin menciona que su mayor influencia fue Malthus con su Ensayo sobre la población, ya que la premisa general de la escasez de los recursos aunada a un crecimiento poblacional que rebasa el crecimiento de los recursos es la base de la lucha por la

existencia. Sin embargo, Schweber considera mucho más probable que la influencia central para la elaboración del Origen de las Especies fuera Adam Smith. Smith maneja al individuo como la unidad motriz para los procesos económicos tal como para Darwin fuera el individuo el que se enfrenta a la selección natural. Darwin emplea para la biología el método reduccionista de explicar el todo en función de las partes tal como Smith lo hiciera para la economía.

Tanto el trabajo de Malthus como el de Smith representan una defensa del capitalismo proponiendo principios explicativos para su funcionalidad, sin embargo, la teoría de Smith propone muchos más elementos optimistas, que apuntan hacia un progreso y bienestar dentro del sistema económico gracias a la división del trabajo, en tanto que la de Malthus tiende mucho más hacia una postura de oposición a la idea del bienestar común, exponiendo al crecimiento diferencial de recursos y población como un evento inevitable que vuelve inútiles a los esfuerzos por cambiar las condiciones de vida.

La teoría de Darwin tiene gran parte del optimismo de Smith, pues el escenario que plantea es el de perfeccionamiento y mejora proveniente de la capacidad de especialización que libra de competencia. Aunque la superfecundidad tomada de Malthus sea indudablemente un pilar para construir la teoría de la selección natural, el mundo que representa Malthus en su trabajo es uno en que la inevitable extinción de las poblaciones vuelve a la existencia una lucha permanente; mientras que para Darwin, la inevitabilidad de la extinción lleva también de la mano la construcción constante de especies cada vez más adecuadas y cuyos descendientes

puedan tener una mejor vida gracias a las ventajas heredadas que harán menos difícil la lucha por la supervivencia.

Otro ejemplo de la Biología es el que brindan Lewontin & Levins al hablar sobre el Lysenkismo soviético en su texto *The problem of Lysenkoism* (1985), donde detallan cómo durante la época del Lysenkismo (entre las décadas de 1930 y 1960) se buscó hacer frente a los problemas de la agricultura soviética utilizando principios Lamarckianos de herencia de caracteres adquiridos a la vez que se rechazaba por completo el estudio genético de los cultivos, el cual era característico de la ciencia occidental. El trabajo de Lysenko es recordado actualmente como fraudulento, sin embargo, como se ilustra en uno de los puntos clave del texto, la producción agrícola de trigo y centeno de los Estados Unidos haciendo uso de la Genética y de la Unión Soviética con el Lysenkismo en el período de 1930 a 1935 es muy similar (Levins & Lewontin, 1985). Si este fenómeno se estudiara separando a la ciencia de la matriz extra-científica podría parecer que el aumento en la producción agrícola es resultado de un buen trabajo científico: *gracias al Lysenkismo se incrementó la cantidad de trigo y centeno, la razón por la se convirtió en la ciencia aceptada en la Unión Soviética fue su amplio poder explicativo ejemplificado en estos resultados empíricos.*

Sin embargo, cuando se toman en cuenta las condiciones en que se realizaba la agricultura (especialmente el reducido número de días con condiciones adecuadas para el cultivo), la forma y disponibilidad de los materiales para la experimentación, el estado de las teorías rivales y sus implicaciones sociales, el origen socio-económico de los científicos y el cambio en las políticas de trabajo comunitario en el campo, resulta que la

prevalencia del Lysenkismo durante tantos años no se puede explicar simplemente en términos de que la ciencia más compatible con la realidad se convertirá de manera automática en la ciencia hegemónica o bien, que una ciencia fraudulenta será descartada de inmediato. La vigencia que mantuvo el Lysenkismo pese a su poca compatibilidad con la realidad es un ejemplo claro de cómo a veces la matriz extra-científica puede resultar más importante que el contenido científico de las teorías.

Tenemos entonces ejemplos de cómo las circunstancias socio-políticas pueden llegar a ser más relevantes para el éxito de algunas perspectivas teóricas que su mismo contenido científico. Esto no significa que *carezcan* de poder explicativo, lo que significa es que dicho poder explicativo no es siempre el aspecto de mayor importancia para la prevalencia de algunas formas de ciencia.

Lewontin menciona en *Biology as Ideology* (1995) que la ciencia requiere tiempo y requiere dinero, así que quien disponga del tiempo y el dinero decidirá la dirección que tome la investigación científica. Aunque esté claro que la ciencia (a través de lo que nos permite saber sobre cómo transformar el mundo) ha mejorado diversos aspectos de nuestra vida, también cumple con un papel ideológico.

La ciencia es una fuente de legitimación, pues generalmente se le presenta como una institución apolítica, cuyas afirmaciones vienen de una fuente absoluta y cuyo funcionamiento es tan complejo que se tiene que confiar en expertos para explicarla, tiene intermediarios en los que uno está obligado a confiar.

En particular la biología ha sido utilizada para legitimar las condiciones de desigualdad entre los seres humanos proponiendo que la fuente de esas desigualdades tiene su base en nuestra naturaleza biológica, y de este modo se presenta como justa o cuando menos inevitable.

El preformismo es una perspectiva teórica altamente compatible con esta visión ideologizada de la desigualdad entre los seres humanos. Si las diferencias entre los seres vivos están determinadas desde antes de que el organismo exista y el desarrollo es una manifestación de lo que de manera natural e inamovible ya estaba escrito en el cigoto, el organismo es un resultado inevitable de decisiones que ya estaban tomadas.

Una perspectiva teórica que le asigne carácter de inevitabilidad al estado actual de un sistema, vivo o social, merece que se haga una evaluación de hasta qué punto realmente proporciona respuestas sobre el mundo y hasta qué punto puede estar siendo favorecida independientemente de su poder explicativo.

Stephen Jay Gould escribe que incluso si los eventos evolutivos de la humanidad hubieran desembocado en la formación de razas, la diferencia biológica no debería ser justificación para la desigualdad social (Jardón Barbolla, 2009). Sin embargo, dicha separación en razas no ocurrió, y la insistencia en que las razas humanas son un hecho biológico tiene un trasfondo ideológico compartido con el determinismo (genético y otros) cuya búsqueda de respaldo y justificación en la ciencia debe ser expuesta y cuestionada.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La actividad científica tiene distintos tipos de compromisos que son tomados en distintos momentos se tenga o no noción de ellos. Los compromisos de tipo ontológico guían las consideraciones sobre que la realidad es *de una forma*, mientras que los compromisos metodológicos establecen la manera en que la realidad se puede estudiar. De acuerdo con esos compromisos se juzga el nivel de acoplamiento de los modelos a la realidad en cierto grado (Griesemer, 2002). Un ejemplo de compromiso intelectual ontológico es la suposición que existe entre algunos científicos de que el desarrollo se guía principalmente por fuerzas internas y la evolución por fuerzas externas. Uno de tipo epistemológico es que el estudio de la evolución es mucho más ilustrativo cuando su unidad de trabajo son los genes.

Si se asumen una serie de compromisos ontológicos entre los que podemos enumerar: que la realidad tiene niveles de organización con distintos aspectos relevantes correspondientes a cada nivel; que las relaciones causales entre los niveles de organización no son unidireccionales; que los sistemas están sujetos a cambio constante que depende tanto de factores *externos* como de factores *internos*; y que los factores mismos están sujetos a cambios conforme el sistema se desarrolla, entonces el compromiso epistemológico correspondiente no puede limitarse al reduccionismo y la linealidad causal que los métodos del preformismo ofrecen de manera pragmática pero que renuncian a la complejidad en aras de una comprensión más centralizada. El preformismo ha sabido convertir las preguntas de la Biología del Desarrollo y la Biología Evolutiva en preguntas que puede responder en función de partículas esenciales y condiciones iniciales. La

epigénesis ha sabido reconocer la relevancia de la contingencia y la diversidad de causas que desembocan en los fenómenos evolutivos y del desarrollo que observamos.

El preformismo como perspectiva teórica ha gozado mayor legitimidad entre la comunidad científica que la epigénesis, lo cual ha llevado a que en los últimos cien años se haya trabajado ampliamente con principios preformistas y se haya desarrollado la tecnología para hacerlo. Lo reducida que es la bibliografía de la epigénesis en comparación puede tener que ver con haber sido una perspectiva teórica descalificada que hasta años recientes ha resurgido. Si bien es cierto que hace falta respaldo empírico para engrosar las referencias de uso exitoso de la epigénesis, tampoco podemos decir que el preformismo sea la herramienta idónea porque sea de uso común y sea “con la que trabajan todos”.

El poder explicativo del preformismo puede justificar algunas preferencias particulares en el momento en que las personas se comprometen con una forma de estudio, pero las decisiones de cómo se hace la ciencia no recaen únicamente en el científico como individuo ni se limitan a los aspectos metodológicos de la misma. Históricamente, la posibilidad de hacer ciencia de distintas maneras ha estado sujeta a la disponibilidad de material, tiempo, recursos económicos, instituciones que permitan la formación de científicos favoreciendo ciertas perspectivas y la existencia de grupos de trabajo de las áreas de especialización.

La capacidad de la perspectiva preformista para responder algunas preguntas de manera satisfactoria y abrir ciertos planteamientos puede

explicar de dónde viene su respaldo empírico, pero si la vigencia de las formas de ciencia dependiera únicamente de esta cualidad, hace tiempo que se le habría desplazado en favor de perspectivas que se empaten mejor con la realidad.

Cuando dos perspectivas teóricas como el preformismo y la epigénesis se encuentran en tensión, los científicos que tienden hacia una u otra se enfrentarán a los sesgos que surgen de sus compromisos. Un científico preferirá que uno de los modelos sea aceptado más que el otro, o temerá cometer un tipo de error más que otro. Esto nos habla de que los científicos tienen otro tipo de intereses al hacer su trabajo que no se reducen a “estar en lo correcto” como si su labor fuese puramente una búsqueda por el conocimiento y nada más (Giere, 2010b).

Uno de los compromisos del reduccionismo (y por lo tanto, del preformismo) es que los fenómenos complejos son realmente consecuencia de una determinación por procesos de niveles “inferiores”. Sin embargo, este compromiso ontológico no va incorporado obligatoriamente a un *área de estudio*, pues se pueden estudiar niveles inferiores de organización de la materia reconociendo su importancia para conocer el mundo sin tener una visión reduccionista de la naturaleza (Levins y Lewontin, 2007; Rose, 1997).

Por supuesto, no todos los compromisos son intelectuales (como podrían considerarse a los ontológicos y epistemológicos), existen también conflictos de interés que se expresan en las suposiciones y reglas sobre qué preguntas son legítimas y cuáles respuestas son aceptables. Esto es particularmente claro en los debates sobre salud y alimentación en los cuales

los parámetros de lo aceptable y lo deseable se proponen de manera u otra dependiendo de si se está en el lugar de los afectados o de quienes están afectando (Levins y Lewontin, 2007; Rose, 1997). Aunque no suela hacerse de manera explícita, cuando el fruto del trabajo científico tiene repercusión en la vida de las personas suele haber un compromiso político que sustente la legitimidad del trabajo que se realice.

Tomando en cuenta las limitaciones de los seres humanos (que van desde lo físico y biológico hasta lo social y económico) hay demandas poco realistas al momento de exigir que se busque y asimile información sobre el mundo. De la misma manera se debe evitar hacer demandas poco realistas sobre las capacidades de los científicos para distinguir todas las influencias sobre sus valores e intereses que tienen efecto sobre su ejercicio científico (Giere, 2010b). Sin embargo, así como la actividad científica no se vuelve irrealizable a raíz de nuestras limitaciones, tampoco el ejercicio de reconocimiento del contexto es hueco frente a las dificultades para distinguir toda influencia existente.

Distintas teorías biológicas han representado enormes avances en la comprensión del mundo natural, sin embargo, toda teoría científica fue hecha por humanos y por tanto está impregnada de la sociedad en la que se desarrolló. La construcción de teorías científicas no es una labor neutral. No existe la “ciencia limpia”. Todos los científicos son personas con prejuicios, sentimientos, con una formación intelectual, un entorno político, con expectativas sobre su trabajo y sobre el mundo.

La afinidad por el preformismo puede entenderse desde el punto de vista de que cuando uno quiere estudiar un problema, resulta agobiante pensar que tiene que estudiar todos los aspectos y factores que tienen *algo* que ver con dicho problema. La posibilidad de tratar como “iguales” a los factores, en el sentido de que todos son igual de relevantes, es abrumador.

Un holismo homogéneo en el cual todos los factores que dan lugar a un fenómeno tienen el mismo poder y son indistinguibles no sólo es indeseable sino que es también una contraposición dicotómica falsa que excusa la frecuente predilección por asignarle un poder causal desmedido a uno sólo de los factores o a un único tipo de factores. Pareciera que las únicas opciones son a) tener un factor predilecto como base para todas las explicaciones o b) no tener ninguna posibilidad de atribuir causalidad a los factores y homogeneizar las causas como indivisibles.

Considero que lo anterior es una falsa dicotomía porque existen otras aproximaciones al estudio de la realidad que llevan implícitas distintas visiones de la misma. Es posible reconocer la complejidad del mundo y nuestras limitaciones para conocerlo sin que ello implique una renuncia a su entendimiento ni una resignación a estudiarlo con un reduccionismo epistemológico que lleve por bandera “sabemos que la realidad no funciona así pero esta es la única forma de estudiarla”.

Reconocer la complejidad de la realidad es un buen paso pero si se hace sólo nominalmente estaremos caminando en círculos con un reduccionismo *extendido* que asegura tomar en cuenta *otros factores* mientras su método invita en principio a no hacerlo. Así como hay

aproximaciones a la Biología para las cuales es suficiente un único nivel de factores (las más de las veces en el nivel genético) para explicar los fenómenos biológicos como el desarrollo y la evolución, también hay aproximaciones a la ciencia para las cuales los fenómenos científicos, como la preferencia de una comunidad científica por una perspectiva teórica en un momento dado, se puede estudiar plenamente en términos de cambios al interior de la ciencia, relegando el contexto en el que ocurre el quehacer científico a un segundo plano.

Dar espacio a factores de la matriz extra-científica no es forzosamente una renuncia a la racionalidad. Cuando se reconoce que la existencia de teorías económicas como las de Malthus y Smith fue crucial para la construcción de la teoría de la selección natural de Darwin, no se está demeritando su poder de explicación para los problemas biológicos que abarcó ni se revoca su carácter científico. Las limitaciones de la teoría de Darwin a partir de los modelos de economía en los que se basó se deben a las limitaciones propias de estos modelos, no a que pertenezcan a la economía y sean por tanto ajenos a la labor de la biología. Es posible hacer una crítica al trabajo de Darwin que haga énfasis en las suposiciones sobre el mundo que hizo a raíz de los principios económicos erróneos que incorporó, sin embargo, haber tomado principios económicos no implica que su método y su teoría hayan dejado de ser científicas.

No considero que la influencia del contexto sobre una teoría científica sea necesariamente una desventaja, creo que saber cuáles son los componentes no científicos de una teoría nos permite saber qué tipo de problemas resuelve, qué tipo de problemas podría resolver y cuáles no, nos

permite saber por qué una teoría tiene éxito en un momento dado y otra no. Saber de dónde sale la ciencia nos permite conocer el pensamiento tanto como la ciencia nos permite conocer el mundo. Lo que podría parecer una imperfección en un sistema “objetivo” es realmente una herramienta que nos ayuda a pulirlo.

La dinámica entre lo *estrictamente* científico y su matriz *extra* científica no es una relación de dominancia en la que de manera permanente lo uno esté supeditado a lo otro. Hay momentos de la historia en la que algunos aspectos tienen más peso que otros y la tensión los transforma. Hay momentos en los que existe una clara diferencia de poder causal entre unos y otros factores y hay momentos en los que no es tan claro. El propósito de revisar las diferencias en poder explicativo entre las perspectivas del preformismo y la epigénesis fue un esfuerzo por darle valor a los principios sostenidos por una y otra al mismo tiempo que se hacía evidente que por sí mismo el poder explicativo no puede ser el único factor relevante para la permanencia de estas perspectivas teóricas. Caracterizar al poder explicativo y ponerlo a prueba sólo es posible si se le observa en contraste con los demás factores que intervienen en la cambiante red de factores que moldean a la ciencia.

Considero que tanto en la biología como en el estudio de la misma, una aproximación que no suponga a un factor como el que es *siempre* más importante nos brindará la libertad de descubrir en el camino las varias dimensiones que tienen los problemas que se estudian. La complejidad de la realidad nos obliga a valernos de diversas herramientas para conocerla pero no la vuelve imposible de abordar.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Alberts, B., *et al.* (2008). *Molecular Biology of the Cell*. New York: Garland Science.

Beadle, G. W., & Tatum, E. L. (1941). Genetic control of biochemical reactions in *Neurospora*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 27(11): 499-506.

Bonnet, C. (1762). *Considérations sur les corps organisés*.

Bowler, P. (1992). *The Fontana History of the Environmental Sciences*. London: Fontana Press.

Britten, R. J. (2003). Only details determine. *Origination of organismal form: beyond the gene in developmental and evolutionary biology*. Cambridge, Mass: MIT Press, 75-81.

Burian, R. (2005). On conflicts between genetic and developmental viewpoints—and their attempted resolution in molecular biology. En *The epistemology of development, evolution, and genetics*. USA: Cambridge University Press, 210-233.

Callebaut, M. (2008). A review. Historical evolution of preformistic versus neoformistic (epigenetic) thinking in embryology. *Belgian Journal of Zoology*, 138(1): 20.

Caponi, G. (2013). El concepto de presión selectiva y la dicotomía próximo-remoto. *Revista de filosofía Aurora*, 25(36): 197-216.

Costanzo, M., *et al.* (2010). The genetic landscape of a cell. *Science*, 327(5964): 425-431.

Coyne, J. A. (2006). Comment on "Gene regulatory networks and the evolution of animal body plans". *Science*, 313(5788): 761b.

Coyne, J. A. (2015). Should there be a "Third Way" of evolution? I think not [Mensaje en un blog]. Why Evolution Is True. Recuperado de <https://whyevolutionistrue.wordpress.com/2015/01/30/a-third-way-of-evolution-i-think-not/>

Coyne, J. A. (2016). Templeton wastes \$11 million in attempt to change evolutionary biology [Mensaje en un blog]. Why Evolution Is True. Recuperado de <https://whyevolutionistrue.wordpress.com/2016/04/08/templeton-wastes-11-million-in-attempt-to-corrupt-evolutionary-biology/>

Davidson, E. H., *et al.* (2002). A genomic regulatory network for development. *Science*, 295(5560): 1669-1678.

Dávila-Velderrain, J. y Álvarez-Buylla, E. (2015). Esquemas de causación lineales en biología postgenómica: la subliminal y conveniente suposición del mapeo uno a uno entre genotipo y fenotipo. *Interdisciplina*, 3(5): 61-76.

Dawkins, R. (2016). *The Selfish Gene*. New York: Oxford university press.

De Gortari, E. (1979). *Introducción a la lógica dialéctica*. México: Grijalbo.

Dröscher, A. (2002). Edmund B. Wilson's "The Cell" and Cell Theory between 1896 and 1925. *History and philosophy of the life sciences*, 24(3/4): 357-389.

Foster, J. B. (2000). *Marx's ecology: Materialism and nature*. New York: NYU Press.

Freund, J., *et al.* (2013). Emergence of individuality in genetically identical mice. *Science*, 340(6133): 756-759.

Futuyma, D. J. (2005). *Evolution*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.

Giere, R. N. (2010a). *Scientific perspectivism*. Chicago: University of Chicago Press.

Giere, R. N. (2010b). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago: University of Chicago Press.

Gilbert, S. F. (2010). *Developmental Biology*. Sunderland (MA): Sinauer Associates.

Gould, S. J. (2001). *Las piedras falaces de Marrakech: penúltimas reflexiones sobre historia natural*. Grupo Planeta (GBS).

Gray, R. D. (2001). Selfish genes or developmental systems. *Thinking about evolution: Historical, philosophical and political perspectives*, New York: Cambridge University Press, 184-207.

Griesemer, J. (2002). What Is "Epi" about Epigenetics?. *New York Academy of Sciences*. 981(1): 97-110.

Haig, D. (2007). Weismann rules! OK? Epigenetics and the Lamarckian temptation. *Biology & Philosophy*, 22(3): 415-428.

Haig, D. (2012). The strategic gene. *Biology & Philosophy*, 27(4): 461-479.

Haig, D. (2013). Proximate and ultimate causes: how come? and what for?. *Biology & Philosophy*, 28(5): 781-786.

Haller, A. (1758). *Sur La Formation Du Coeur Dans Le Poulet: Sur L'oeil...*

Harvey, W. (1651). *Exercitationes de generatione animalium*.

Hessen, B. (2009). The social and economic roots of Newton's Principia. *The social and economic roots of the scientific revolution*. Dordrecht: Springer Netherlands.

Hoekstra, H. E., & Coyne, J. A. (2007). The locus of evolution: evo devo and the genetics of adaptation. *Evolution*, 61(5): 995-1016.

Huang, S. (2002). Rational drug discovery: what can we learn from regulatory networks?. *Drug discovery today* 7(20): 163-169.

Huang, S. (2000). The practical problems of post-genomic biology. *Nature Biotechnology* 18(5): 471-472.

Huxley, T. H. (1894). *Darwiniana: essays*. (Vol. 2). D. Appleton.

Jablonka, E., & Lamb, M. J. (2002). The Changing Concept of Epigenetics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 981(1): 82-96.

Jablonka, E., & Raz, G. (2009). Transgenerational epigenetic inheritance: prevalence, mechanisms, and implications for the study of heredity and evolution. *The Quarterly review of biology*, 84(2): 131-176.

Jablonka, E., & Lamb, M. J. (2014). *Evolution in four dimensions, revised edition: Genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life*. Massachusetts: MIT press.

Jardón Barbolla, L., (2009). La evolución y la historia humana. En Muñoz-Rubio, J. (2009). *Contra el oscurantismo: defensa de la laicidad, la educación sexual y el evolucionismo*. México: UNAM-CEIICH.

Kitcher, P. (1987). Précis of Vaulting ambition: Sociobiology and the quest for human nature. *Behavioral and Brain Sciences*, 10(1): 61-71.

Kosik, K. (1979). *Dialéctica de lo concreto: Estudio sobre los problemas del hombre y el mundo*. México: Grijalbo.

Kuhn, T. S. (2011). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de cultura económica.

Lakatos, I. (1981). Metodología de la investigación científica. *Cuadernos de educación matemática* SERIE: Historia y Filosofía.

Leeuwenhoek, A. van (1677). *Cartas a la Royal Society of London for Improving Natural Knowledge*.

Levins, R. (1998). Dialectics and systems theory. *Science & Society*, 62(3): 375-399.

Levins, R. (1996). Ten propositions on science and antiscience. *Social text*, 14(46/47): 101-111.

Levins, R., & Lewontin, R. C. (1985). *The dialectical biologist*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Lewontin, R. (1995). *Biology as ideology: The doctrine of DNA*. Toronto: House of Anansi.

Lewontin, R. C. (2001a). *The triple helix: Gene, organism, and environment*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Lewontin, R. C. (2001b). *It ain't necessarily so: The dream of the human genome and other illusions*. New York Review of Books.

Lewontin, R. C., Rose, S., & Kamin, L. J. (1996). *No está en los genes: crítica del racismo biológico*. México: Grijalbo.

Lewontin, R., & Levins, R. (2007). *Biology under the influence: Dialectical essays on the coevolution of nature and society*. New York: NYU Press.

Lovelock, J. E., & Margulis, L. (1974). Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis. *Tellus*, 26(1-2): 2-10.

Malpighii, M. (1673). *Dissertatio epistolica de formatione pulli in ovo*.

Mayr, E. (1993). Proximate and ultimate causations. *Biology and Philosophy*, 8(1): 93-94.

Mayr, E. (2007). *What makes biology unique?: considerations on the autonomy of a scientific discipline*. New York: Cambridge University Press.

Mayr, E. (1994). Typological versus population thinking. En E. Sober (ed.) (1994). *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*. Cambridge, MA: MIT Press.

Oyama, S. (2000). *The ontogeny of information: Developmental systems and evolution*. Durham, NC: Duke University Press.

Oyama, S. (2001). Terms in tension: What do you do when all the good words are taken. *Cycles of contingency: Developmental systems and evolution*, Cambridge, MA: MIT Press, 177-193.

Oyama, S. (2010). Biologists behaving badly: Vitalism and the language of language. *History and philosophy of the life sciences*, 32(2–3): 401-423.

Pigliucci, M. (2009). An extended synthesis for evolutionary biology. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1168(1): 218-228.

Pinto-Correia, C. (1997). *The ovary of Eve: egg and sperm and preformation*. Chicago: University of Chicago Press.

Rieppel, O. (2001). Preformationist and epigenetic biases in the history of the morphological character concept. En Wagner, G. P. (Ed.). (2000). *The character concept in evolutionary biology*. USA: Academic Press.

Robert, J. S. (2004). *Embryology, epigenesis and evolution: Taking development seriously*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.

Rose, H., & Rose, S. (2013). *Genes, cells and brains: The promethean promises of the new biology*. UK: Verso Books.

Rose, S. (1997). *Lifelines: Biology, freedom, determinism*. London: Allen Lane

Sánchez Vázquez, A. (2003). *Filosofía de la praxis*. México: Siglo XXI.

Smith, J. M. (2000). The concept of information in biology. *Philosophy of science*, 67(2): 177-194.

Sober, E. (Ed.). (1994). *Conceptual issues in evolutionary biology*. Cambridge, MA: MIT Press.

Sober, E., & Lewontin, R. C. (1982). Artifact, cause and genic selection. *Philosophy of science*, 49(2): 157-180.

Speybroeck, L., Waele, D., & Vijver, G. (2002). Theories in Early Embryology. Close Connections between Epigenesis, Preformationism, and Self-Organization. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 981: 7–49.

Sterelny, K., & Kitcher, P. (1988). The return of the gene. *The Journal of Philosophy*, 85(7): 339-361.

Szathmairy, E. and J. Maynard Smith (1995). The Major Evolutionary Transitions. *Nature* 374: 227-232.

Villoro, L. (2013). *El pensamiento moderno: filosofía del Renacimiento*. México: Fondo de Cultura Económica.

Waddington, C. H. (2011). The Epigenotype. *International journal of epidemiology*, 41(1): 10-13.

Weismann, A., Poulton, E. B., & Shipley, A. E. (1891). *Essays upon heredity and kindred biological problems* (Vol. 1). Clarendon press.

Whitman, C. O. (1895). Bonnet's Theory of Evolution. *The Monist*, 412-426.

Wolfe, C. T., & Terada, M. (2008). The Animal Economy as Object and Program in Montpellier Vitalism. *Science in Context*, 21(4): 537-579.

Wray, G. A., *et al.* (2014). Does evolutionary theory need a rethink?- COUNTERPOINT No, all is well. *Nature*, 514 (7521): 161.