

Investigaciones en complejidad y salud

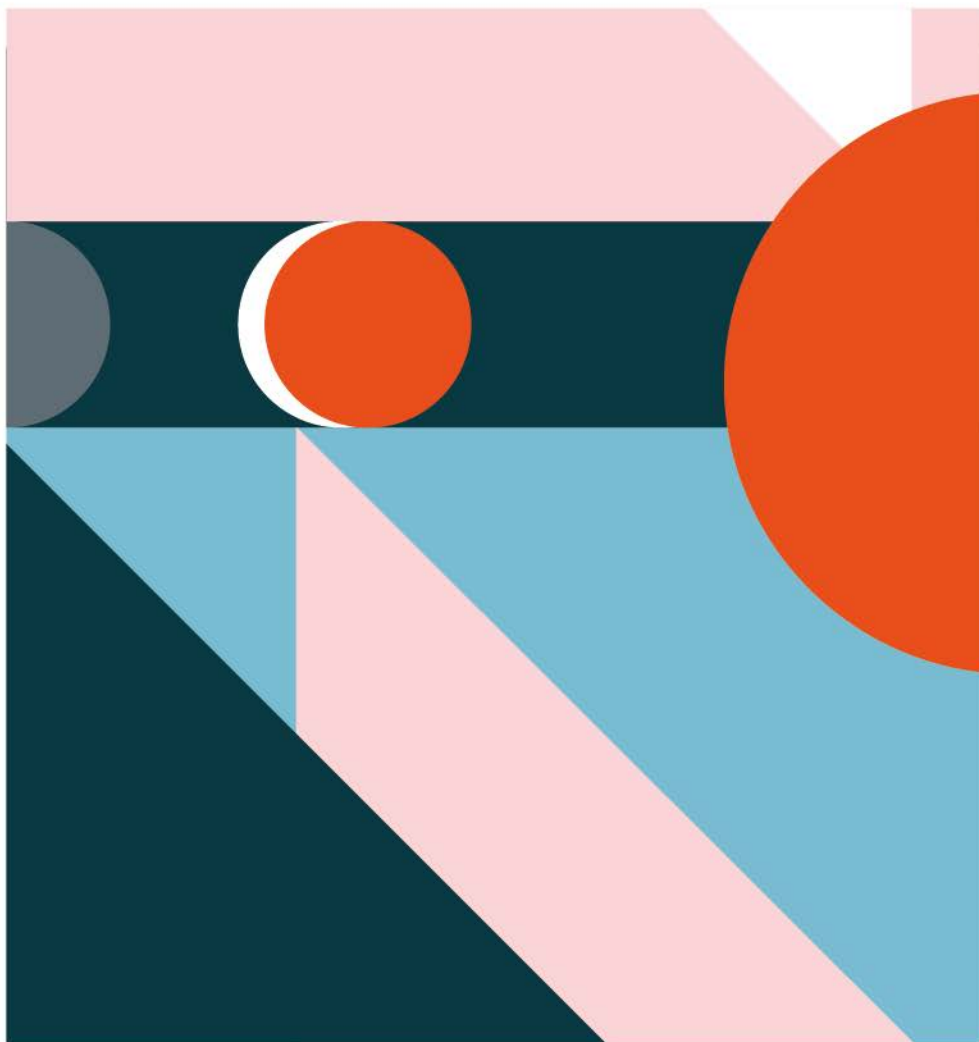
Facultad de Medicina

Grupo de Investigación Complejidad y Salud Pública

n.º 2

Año 1, abril-junio 2019
ISSN: 2665-1564

**La epigenética
y la transformación
radical de la biología**



Editor académico

Carlos Eduardo Maldonado, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9262-8879>

Autores

José Vicente Bonilla, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7110-0274>

Hugo Cárdenas López, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2777-2997>

Santiago Galvis Villamizar, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2015-7107>

Ana Camila García López, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6370-6906>

Luis Alejandro Gómez Barrera, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4054-9527>

Carlos Eduardo Maldonado, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9262-8879>

Jorge Sandoval París, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3350-1795>

Chantal Aristizábal Tobler, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8546-0628>

Año 1, n.º 2, abril-junio 2019 | issn: 2665-1564

Investigaciones en complejidad y salud

Facultad de Medicina

Grupo de Investigación Complejidad y Salud Pública

n.º 2

La epigenética y la transformación radical de la biología

Chantal Aristizábal Tobler

José Vicente Bonilla

Hugo Cárdenas López

Santiago Galvis Villamizar

Luis Alejandro Gómez

Carlos Eduardo Maldonado

Ana Camila García López

Jorge Sandoval Paris

INVESTIGACIONES EN COMPLEJIDAD Y SALUD
No. 2. La epigenética y la transformación radical de la biología

Año 1, n.º 2, , abril-junio 2019 | ISSN: 2665-1564
DOI: <http://dx.doi.org/10.18270/wp.n1.2>

© Universidad El Bosque
© Editorial Universidad El Bosque
© Carlos Eduardo Maldonado
Editor académico

Rectora: María Clara Rangel Galvis

Hecho en Bogotá D.C., Colombia
Vicerrectoría de Investigaciones
Editorial Universidad El Bosque
Av. Cra 9 n.º 131A-02, Bloque O, 4.º piso
+57 (1) 648 9000, ext. 1395
editorial@unbosque.edu.co
www.uelbosque.edu.co/investigaciones/editorial

Editor: Miller Alejandro Gallego C.
Dirección gráfica y diseño: María Camila Prieto A.
Corrección de estilo: Leidy De Ávila
Impresión: LB Impresos
Abril 2019
Bogotá, Colombia

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

Universidad El Bosque | Vigilada Mineducación. Reconocimiento como universidad: Resolución 327 del 5 de febrero de 1997, MEN. Reconocimiento de personería jurídica: Resolución 11153 del 4 de agosto de 1978, MEN. Acreditación institucional de alta calidad: Resolución 11373 del 10 de junio de 2016, MEN.

304.5 A74e

Aristizábal Tobler, Chantal

La epigenética y la transformación radical de la biología / Chantal Aristizábal Tobler, José Vicente Bonilla, Hugo Cárdenas López, Santiago Galvis Villamizar, Luis Alejandro Gómez Barrera, Carlos Eduardo Maldonado, Ana Camila García López y Jorge Sandoval Paris -- Bogotá: Universidad El Bosque. Facultad de Medicina. Grupo de Investigación Complejidad y Salud Pública, 2019.

56 p.; gráficas -- (Investigaciones en complejidad y salud / Grupo de Investigación Complejidad y Salud Pública, ISSN: 2665-1564 ; No. 2)
Incluye referencias bibliográficas.

1. Evolución (Biología) 2. Genética humana -- Herencia
3. Genética humana -- Aspectos culturales 4. Genética humana -- Aspectos sociales I. Bonilla, José Vicente II. Cárdenas López, Hugo III. Galvis Villamizar, Santiago IV. Gómez Barrera, Luis Alejandro V. Maldonado, Carlos Eduardo VI. García López, Ana Camila VII. Sandoval Paris, Jorge VIII. Universidad El Bosque. Facultad de Medicina. Grupo de Investigación Complejidad y Salud Pública.

NLM: QU450

Fuente. SCDD 23ª ed y NLM. -- Universidad El Bosque. Biblioteca Juan Roa Vásquez (Mayo de 2019).

Contenido

	Introducción	Pág. 6
1	Sistemas simbólicos como mecanismos de la herencia: un cuestionamiento del antropocentrismo	Pág. 9
2	Reconsiderando las interacciones entre genética y epigenética	Pág. 15
3	La coevolución entre genes y cultura es un argumento de esperanza	Pág. 21
4	La transmisión de la herencia biológica a nivel epigenético y comportamental	Pág. 27
5	Integración genética, epigenética y salto lingüístico	Pág. 35
6	Elementos finales para una síntesis	Pág. 43
	Conclusiones	Pág. 52
	Bibliografía	Pág. 54

Introducción

La epigenética ha llegado para transformar radicalmente el estatuto de la biología, así como el panorama científico en general. La anterior es la tesis de este documento de investigación. Los argumentos se despliegan a través de seis pasos: se consideran los sistemas simbólicos como mecanismos de la herencia. Sobre esta base, se hace una reconsideración sobre genética y epigenética, la cual permite, seguidamente, la coevolución entre genes y cultura. El siguiente argumento es, por tanto, la integración entre genética y epigenética, con una mirada especial a lo que se llamará aquí el salto lingüístico. Al final se elabora una síntesis que lanza al lector hacia unas conclusiones innovadoras y fuertes.

Es imposible hacer buena ciencia sin una base material. Para la ciencia clásica esa ciencia era la física, y en el contexto de las ciencias sociales, la economía. Pues bien, la revolución que implica la epigenética conduce la mirada en otra dirección totalmente inopinada a la luz de la tradición científica y filosófica. Para ello, hay que entender que la epigenética es uno de los nombres o aristas, si cabe la expresión, mediante los cuales la biología incorpora en una sola unidad lo que anteriormente era disyunto: la naturaleza y la cultura. El modo como opera la epigenética es ya suficientemente conocido, a saber, a través de procesos de metilización, el papel de las histonas y la importancia de la cromática (Cfr. WP No. 1, xyz). Esta tríada constituye el polo a tierra de la forma como se integran la evolución y el desarrollo. Sin ambages, hay muchas más formas como la herencia y la variación, que son posibles en la naturaleza y no solamente por vía genética o molecular.

Heredamos alegrías y tristezas, experiencias y aprendizajes. La epigenética admite una dimensión fundamental que es la epigenética comportamental. De este modo, las ciencias del comportamiento, la evolución y las ciencias de la cultura quedan entrelazadas de una forma que no cabía imaginar a la luz de la tradición. Como consecuencia, la propia imagen de la perspectiva clásicamente antropocéntrica, antropológica y antropomórfica del mundo y de la realidad, se ve radicalmente cuestionada. Estos son los argumentos, temas y problemas de este documento: una invitación a la reflexión y a la investigación.

1.

**Sistemas simbólicos
como mecanismos
de la herencia:
un cuestionamiento
del antropocentrismo**

La epigenética nace alrededor de 2005 con un texto central: *Evolution in four dimensions. Genetics, epigenetics, behavioral, and symbolic variation in the history of life*, de Jablonka y Lamb (2005). Sin embargo, en los ejes que constituyen este texto encontramos que hay dos problemas principales. Si se toma como punto de referencia el lugar, el papel, el significado y la relevancia de los seres humanos en la evolución.

El primero consiste en caracterizar la naturaleza de los sistemas simbólicos y definir hasta qué punto pueden considerarse mecanismos exclusivamente humanos. El segundo se desprende del intento por comprender los procesos que permiten transmitir esos símbolos y, en consecuencia, que resultan fundamentales para comprender el desarrollo de la evolución cultural. Ambos problemas, a su vez, delinear los ámbitos de una controversia que parece aún más sugerente: definir el lugar que ocupan los seres humanos en la naturaleza y discutir los alcances de las perspectivas que los ubican en el centro de esta. A continuación, quisiéramos señalar con mayor precisión los alcances de estas ideas y proponer algunos temas adicionales para mantener el debate.

Para comprender por qué Jablonka y Lamb se detienen en los sistemas simbólicos y la evolución cultural es conveniente revisar sus argumentos previos. En términos muy generales, vale la pena señalar que las autoras hacen una descripción de los distintos mecanismos a través de los cuales los organismos vivos transmiten información a su descendencia; en particular, se refieren a cuatro mecanismos que consideran principales: el genético, el comportamental, el epigenético y el simbólico. Según señalan, detenerse en los pormenores de estos mecanismos resulta central para entender los procesos de evolución de la naturaleza, en la medida en que se resuelven preguntas sustanciales sobre la adquisición, organización y transferencia de la información que hace posible el desarrollo y la adaptación de la vida a un medio que es dinámico e impredecible.

Su propósito, sin embargo, no se limita a describir en detalle los cuatro mecanismos mencionados. Entre líneas Jablonka y Lamb también llaman la atención sobre las enormes similitudes que existen entre ellos, y sobre cómo es posible asociarlos con los procesos orgánicos de los sistemas vivos en general y no solo con los seres humanos. Esto es especialmente sensible, en particular cuando nos referimos a los sistemas simbólicos y a la evolución cultural.

En efecto, tradicionalmente, la producción e interpretación de símbolos han sido vistas como capacidades exclusivas de los seres humanos, y se las reconoce como cualidades que nos distinguen como especie en tanto se asocian a la inteligencia, el ingenio y la razón. Si nos atenemos a la tradición, señalar que otros organismos vivos tienen la capacidad de construir sistemas simbólicos equivale a desestabilizar el lugar de privilegio en el que se suele situar a los seres humanos, por ello la discusión en torno a sus características y procesos de transmisión resulta pertinente.

Y es probablemente esa pertinencia la que admite algunas explicaciones adicionales. La aproximación propuesta por Jablonka y Lamb se enfoca en describir los símbolos como mecanismos arbitrarios, referenciales y convencionales que sirven para transmitir información cultural; hasta allí no se percibe una gran diferencia con la lectura que pueden aportar la lingüística y la antropología. Sin embargo, a continuación, sugieren que los sistemas simbólicos operan de forma similar y simultánea a los otros sistemas encargados de transmitir la herencia, garantizando así la evolución y el desarrollo de los organismos vivos. Lo llamativo de esta postura es que no asume que los sistemas simbólicos de la herencia sean exclusivos de los seres humanos: “el desarrollo de la evolución cultural es especialmente significativo en los humanos, pero no es único de ellos” (Jablonka & Lamb, 2005, p. 220).

Aunque cabe reconocer que los seres humanos son singularmente hábiles para adquirir, organizar y transferir

la información que les permite mantenerse vivos, lo cierto es que estas afirmaciones de Jablonka y Lamb cuestionan su lugar privilegiado dentro del orden natural. Encontrar más similitudes que diferencias en los diversos mecanismos que le permiten a los organismos vivos evolucionar, supone un llamado de atención a las perspectivas antropocentristas acostumbradas a pensar al ser humano como el principal y único domador de la naturaleza. Esta doctrina, cuya versión moderna se consolidó en Occidente a raíz del surgimiento de la burguesía, de la llamada revolución científica y de la influencia que alcanzó la Ilustración, se acostumbró a pensar al ser humano como el único con la capacidad de domesticar las fuerzas de la naturaleza, sus organismos y sus vicisitudes. En consecuencia, también era el único con los medios para brindarle un orden y una taxonomía clara, y para comprender sus estructuras y mecanismos más ocultos. Esto, desde luego, era el resultado de un desarrollo biológico inédito y superior, que se expresaba en características extraordinarias como el lenguaje, la inteligencia y la razón.

Pues bien, tal parece que eso es justamente lo que se encuentra en cuestionamiento gracias a la epigenética. La interpretación de la epigenética, por parte de Jablonka y Lamb, de los sistemas de herencia no parte de reconocer esa fractura radical que distancia a los seres humanos de la naturaleza, por el contrario, asume la existencia de una compleja red de interacciones en la que los organismos vivos y su entorno están estrechamente vinculados, y en la que la evolución y desarrollo de alguno de ellos depende enormemente de los demás.

Este argumento aparece con mayor claridad en el cuestionamiento que hacen a las teorías del cambio cultural a partir de los memes y los módulos mentales. Su principal crítica se ancla en la idea de que es imposible comprender la transferencia de información cultural a partir de unidades y, por tanto, que resulta inconveniente asumir que el me-

canismo de transmisión es independiente del producto que se transmite. No se puede separar la información de sus interacciones. Por esta razón, pensar que los medios a través de los cuales los seres humanos adquieren, ordenan y transfieren la información, operan en una esfera independiente a la del resto de la naturaleza resulta, al menos, discutible.

Desde luego, no cabe desconocer que Jablonka y Lamb ignoren la particular habilidad que tienen los seres humanos para constituir y transmitir símbolos. Sus argumentos parecen reafirmar la idea de su capacidad singular para planear el futuro, diseñar sofisticados artefactos y concebir complicados sistemas religiosos. Sin embargo, en lo que parecen insistir es en el hecho de que esas habilidades no son exclusivas de estos, y que deben entenderse en el escenario de interacciones constantes con el resto de sistemas vivos. Asimismo, creemos que la intención de las autoras al mostrar las similitudes entre los cuatro sistemas de la herencia y señalarlos como mecanismos de adquisición, organización y transferencia de información, es justamente la de resaltar más los vínculos que las rupturas. Es como si quisieran insistir en que aquello que nos mantiene con vida es, finalmente, la capacidad de adquirir y transferir la información necesaria para adecuarnos a las condiciones que impone un contexto dinámico e impredecible, y esa capacidad no es exclusiva ni particularmente excepcional en los seres humanos, simplemente es distinta y ha resultado exitosa en tanto estrategia singular de adaptación.

Desde esta perspectiva, la cultura no sería aquel componente adicional que nos distingue y separa de la naturaleza en tanto especie humana, ni tampoco el instrumento que nos permite someterla a las proporciones que demanda la civilización y el progreso. Resulta más conveniente concebirla como un complejo sistema que nos permite transmitir la información que garantiza nuestra adaptación al medio, sistema que se articula e interactúa con los otros que hacen posible la vida y que son resultado de su constante evolución.

2.

Reconsiderando las interacciones entre genética y epigenética

En las primeras décadas del siglo xx se han integrado la física y la química, particularmente gracias a los trabajos de N. Bohr y de P. Jordan. Más exactamente, la física atómica, nuclear y cuántica sustentan la química, pero con ello mismo se unifican física y química. En este mismo sentido, la química cuántica habrá de sustentar el nacimiento de la biología molecular. Los nombres en torno a los cuales gira esta historia son M. Wilkins, Watson y Crick.

La biología molecular constituye al mismo tiempo la consolidación de la síntesis entre Darwin y Mendel, y el desarrollo sin par de la genética como un campo propio, determinante a la hora de explicar los sistemas vivos y la salud. Esta constituye, sin más a la biología normal, análogamente a la idea de ciencia normal de Th. Kuhn.

Unos años antes de esta historia, distintos investigadores habían abierto otros caminos de indagación, anticipando la epigenética. Notablemente, se trata de los trabajos de Belyaev y su grupo, Waddington y Schmalhausen, el grupo de Lindquist, el trabajo del grupo de Ruden y más recientemente los trabajos en torno a los priones. Esta historia abarca desde 1940 hasta hace unos pocos lustros, y va desde EE.UU. e Inglaterra hasta la URSS.

A esta historia habría que agregar el trabajo de D'A. Thompson en torno a las matemáticas y la biología, particularmente sobre la morfología. Pero no es este el lugar para ocuparnos de Thompson, por razones de espacio (Watson, 2017). Las reflexiones anteriores bien podrían admitir una nota más amplia desde el punto de vista de la historia y la filosofía de la ciencia.

Sin ambages, la epigenética habría podido nacer hacia la mitad del siglo xx o antes, pero el nacimiento de la biología molecular, con todo lo que ello implicó, retrasó el nacimiento de la epigenética. Con ello, queremos decir una comprensión de los sistemas vivos en términos de com-

plejidad, superando la escisión entre genética (biología) y aprendizaje (cultura aprendizaje y adaptación).

En términos puntuales, la epigenética nace, paradójicamente, gracias a los estudios sobre la metilización del ADN y el papel de la cromatina. Más exactamente, el control epigenético de la expresión de los genes fue reconocido inicialmente en relación con el problema de la diferenciación, esto es, cómo las células (de un nuevo embrión) pueden cambiar en otros tipos de células. Digamos que las células pueden dividirse casi indefinidamente (renovación de las células y de los tejidos), pero la verdad es que existe un límite del número de veces que se divide una célula. La razón estriba en los telómeros, que cuando son ya demasiado cortos imponen el límite de vida de un cuerpo vivo. Los telómeros no pueden ser metilados. La metilación por sí misma no es buena ni mala; todo depende de cuáles segmentos del ADN son metilados.

La clave de la epigenética se encuentra, ampliamente, en el estudio del desarrollo, y desde aquí, en la forma como el desarrollo afecta la evolución de las especies. Los cambios epigenéticos se deben a una doble circunstancia, así: el papel del estrés sobre el organismo, generando así cambios indirectos enormes y de gran alcance (transmisión vertical y horizontal), y la existencia de genes durmientes (inactivos) o la existencia de paisajes epigenéticos.

En ambos casos, la interacción entre genética y epigenética permite entender mejor que existen procesos acelerados en la evolución, y que esta transcurre más rápidamente de lo que antes se creía (en el esquema darwiniano). Esta comprensión es posible, en un plano, gracias al estudio de la *Drosophila melanogaster*, y en otro plano, gracias a los trabajos con la *Arabidopsis thaliana*.

El organismo está constituido por amplias redes de cooperación celular, antes que por procesos de competen-

cia (y diferenciación sin más). Estas redes de cooperación permiten quebrar las divisiones entre sistemas bióticos y abióticos en un contexto, y en otro, en las divisiones entre el primeado de la biología y el aprendizaje resultante de las adaptaciones al medioambiente.

Cabe decir que la mayoría de los estados epigenéticos difícilmente son reversibles. Así, la epigenética incide en la flecha del tiempo, un aspecto determinante en la complejidad de los sistemas vivos y del mundo.

De esta suerte, la relación entre genes y epigenética es del siguiente tipo: los cambios epigenéticos revelan una variación genética oculta, que a su vez produce nuevos fenotipos. En otras palabras, cuando se ven enfrentados con retos provenientes del entorno, los cambios en el desarrollo desenmascaran una variación ya existente en el plano genético, la cual puede entonces ser capturada por la selección natural.

De esta suerte, si se la mira desde el punto de vista genético, la adaptación es un proceso verdaderamente lento, pero cuando se la ve desde el ángulo de la epigenética, un linaje puede adaptar y conservar cambios genéticos y transmitirlos. En otras palabras, la selección epigenética sienta las bases o abre el camino para variaciones más estables en el plano genético que suceden consecuentemente.

Si Darwin logra explicar la lógica de los sistemas vivos introduciendo una visión de largo alcance (en el tiempo), la perspectiva lamarckiana puede ser vista como las bisagras que articulan las inflexiones en el largo plazo por parte de la evolución. Los sistemas epigenéticos llevan a cabo y permiten ajustes temporales en el proceso de la evolución y son estos ajustes, permanentes o incesantes, los que permiten la ventaja selectiva de unos organismos sobre otros, en fin, de unas especies sobre otras.

En una palabra, las redes o sistemas genéticos y los epigenéticos constituyen una sólida unidad, se trata de la

unidad que permite articular una visión de largo alcance - evolución- con los momentos, discretos por definición -el desarrollo-.

Las dimensiones genética y epigenética, y lo mismo cabe decir de las dimensiones comportamental y simbólica, constituyen un sistema integrado. Este sistema puede ser llamado como Gaia (Lovelock, Margulis) o la biósfera (Vernadsky), esto es, un todo indivisible, sin jerarquías, dinámico y no-lineal.

Así, a modo de conclusión, formar gente feliz y sana o saludable es una tarea que toma años. Es, al fin y al cabo, el resultado de la imbricación entre evolución y desarrollo en toda la línea de la palabra. En fin, la herencia epigenética recae sobre fenotipos. Se puede modificar la situación de estrés y llegar a la normalidad, pero el fenotipo sigue actuando como si hubiera estrés.

3.

**La coevolución
entre genes y cultura
es un argumento
de esperanza**

Las teorías que describen la evolución biológica y cultural pueden sintetizarse de la siguiente manera: el neodarwinismo o síntesis de genética y darwinismo, la nueva síntesis entre darwinismo y lamarquismo que reconoce la herencia epigenética transgeneracional y una nueva síntesis evolutiva ampliada, que incluye la herencia genética, epigenética, fisiológica, de transmisión social y cultural (Portin, 2015; Jablonka and Lamb, 2005; Whitehead, 2017).

Darwin consideró en 1871 que algunos caracteres intelectuales morales de los humanos también habían emergido por selección natural, sentando bases biológicas de la cultura. A comienzos del siglo xx, Lewontin sugirió que la evolución biológica de las especies y el desarrollo de los individuos resulta de las interacciones complejas de una hélice triple: genes, individuos y ambiente. Actualmente se podría hablar metafóricamente de una hélice cuádruple: interacciones complejas entre redes genéticas, individuos, ambiente tanto biótico como abiótico y cultura construida por el ser humano (Portin, 2015).

Esta idea de asimilación genética del comportamiento en la cual el aprendizaje de una respuesta al entorno se convierte en un comportamiento innato, hace parte de lo que se ha llamado la construcción del nicho (Jablonka and Lamb, 2015). Esta teoría se basa en la biología evolutiva y fue propuesta por Lewontin en los ochenta al referirse a los procesos a través de metabolismo, actividades y decisiones que los organismos ejercen para modificar sus entornos y los de otros, y de esta manera participan en su propia evolución. Se observa, por ejemplo, en la construcción hecha por animales de nidos, cavernas y madrigueras, y en los humanos alcanza una mayor complejidad en construcciones de tipo material, cultural y simbólica (Jablonka and Lamb, 2005; Whitehead, 2017; Hünemeier *et al.*, 2012).

Ante un nuevo reto los individuos se adaptan por aprendizaje, pero si la presión selectiva permanece, el

aprendizaje le permite a la población sobrevivir lo suficiente como para que aparezcan cambios innatos hereditarios. La cultura y la organización social compleja del *Homo sapiens* han influido en la evolución y el éxito de la especie: las aptitudes individuales dependen de la estructura de la vida social. Además, la cultura es restringida y promovida por el genoma humano, las capacidades cognitivas, afectivas y morales humanas son el producto de una dinámica evolutiva de la interacción entre biología y cultura: coevolución gen-cultura. Existen varios ejemplos de la interacción compleja entre genes y cultura, mediante la cual las prácticas culturales humanas han modificado los nichos y los comportamientos, y han promovido cambios genómicos importantes y rápidos a través de la selección positiva y la adaptación. Entre los más conocidos se encuentran la aparición de un alelo del gen de la lactasa que permite la digestión de la lactosa por los adultos en sociedades que se han dedicado a la producción y consumo de lácteos y la frecuencia del gen de la hemoglobina S en África asociado a prácticas de deforestación que aumentaban la población de mosquitos y la transmisión de la malaria y que en su forma heterocigota protege de la infestación por *Plamodium*, pero que en homocigotos causa la anemia de células falciformes (Gintis, 2011). Otro menos conocido es la selección del alelo 230 Cys con ventaja evolutiva en los pueblos mesoamericanos dependientes del maíz en épocas de escasez, al aumentar la absorción de grasas (Ibidem).

La coevolución gen-cultura también se considera responsable de la importancia de valores como el gusto por la cooperación, la justicia y la retribución, la capacidad para empatizar y de virtudes del carácter como honestidad, compasión y lealtad. Esta coevolución gen-cultura consiste en la aplicación de la sociobiología a los humanos por considerarse un caso especial de construcción de nicho. La transmisión de información eficiente a cambios sostenidos

a través de la codificación en el genoma, permitirá también que la plasticidad fenotípica en capacidad de aprender responda a condiciones ambientales con cambios rápidos. La construcción de nicho es una forma de transmisión epigenética e incluye una coevolución entre gen y ambiente. El ambiente social de los humanos ha llevado al desarrollo de rasgos prosociales y del altruismo que puede considerarse una propiedad emergente de esta dinámica evolutiva entre gen y cultura. La predisposición a cooperar en un dilema social en la medida en que otros también cooperan se ha modelado en el dilema del prisionero y la contribución voluntaria frente a objetivos comunes en el juego de bienes comunes. La coevolución gen-cultura consiste en aplicar el razonamiento de la construcción de nicho a la especie humana y reconocer que genes y cultura están sujetos a dinámicas similares. La sociedad humana es una construcción biocultural que proporciona el ambiente para cambios genéticos que mejoran la aptitud en individuos y su descendencia. El sistema social resultante es complejo, no lineal y dinámico, y surgen propiedades emergentes como las normas sociales, la moralidad y su internalización (Bull, 2004).

La evolución del lenguaje puede verse como el resultado de interacciones dinámicas entre la herencia cultural y la genética, con participación de la construcción del nicho y la asimilación genética. El lenguaje cambia el nicho social que las personas ocupan y estas tienen que adaptarse a él. El lenguaje evoluciona a través de cambios culturales y de asimilación genética por selección.

Si bien algunos autores restringen esta coevolución biológica-cultural a los humanos, muchos aceptan que también existe en animales no humanos. Por ejemplo, se ha demostrado la transmisión cultural de comportamientos como el canto de las aves, los comportamientos para buscar comida, las asociaciones cooperativas y el juego de los

cetáceos con los humanos. Whitehead encontró genomas nucleares y mitocondriales distintos en tres ecotipos diferentes de cetáceos, con prácticas alimentarias específicas y sugirió la selección de genes funcionales por diferentes prácticas culturales.

En lugar de confrontar diversas teorías sobre la evolución, el desarrollo humano y los seres vivos, pareciera que la síntesis de estas permite una mayor comprensión de los procesos complejos involucrados. Para el ser humano, antropológicamente ambivalente, estas aproximaciones le dejan un nuevo argumento de esperanza en la posibilidad de identificar, adquirir y difundir aprendizajes en torno al predominio de la cooperación y el altruismo incluyente.

4.

**La transmisión de
la herencia biológica
a nivel epigenético
y comportamental**

Puede decirse que en los orígenes de la biología la discusión se planteó alrededor de los mecanismos no genéticos que intervienen en la transmisión de la herencia biológica. El principal interés era examinar su arquitectura interna para comprender con más claridad cómo intervienen en la evolución de los organismos vivos. Inicialmente, un panorama amplio de los sistemas de la herencia que operan a nivel genético apareció de manera muy clara, dicho nivel es la primera dimensión de la evolución. A esta se agregan dos dimensiones adicionales que trascienden ese nivel inicial: la epigenética y la comportamental. Los motivos de reflexión, por tanto, se enfocan en revisar ambas dimensiones, sus sistemas de herencia específicos y algunas de las implicaciones que estas tienen en la comprensión de los fenómenos propios a la naturaleza y la cultura.

Los sistemas epigenéticos de la herencia (EISS) pueden clasificarse en cuatro tipos: de bucles autosostenibles, de herencia estructural, de marcación de cromatina y de interferencia del ARN. Cada uno de ellos está soportado en procesos puntuales que reafirman la existencia de fuentes adicionales de variación y evolución que ocurren más allá de la dimensión genética, lo cual no implica negar lo que hoy sabemos sobre los genes y sus mecanismos de transmisión.

A partir del reconocimiento de esta idea, la discusión se centra en aportar elementos para comprender mejor sus pormenores. El sistema de bucles autosostenibles, ilustra cómo un estímulo temporal puede activar determinado gen, cuyo resultado se convierte en el mecanismo que asegura la expresión de ese mismo gen en sus linajes. Para Jablonka y Lamb (2005), “la escancia de un sistema autosostenible es que A causa B y B causa A” y, de ese modo, “las células que heredan el producto también heredan el estado activado por el estímulo temporal” (pp. 119-120). El sistema de herencia estructural, entretanto, revela que no toda la información necesaria para el desarrollo y

evolución de la vida proviene de los genes, debido a que existen mecanismos que actúan sobre los patrones de organización y no sobre sus componentes. En el curso de las investigaciones, esto se ilustró recurriendo al caso de los priones y la enfermedad Creutzfeldt-Jakob entre el pueblo *Fore* de Nueva Guinea. Sin entrar en demasiados detalles, varias investigaciones médicas y biológicas demostraron una relación entre la enfermedad y las prácticas funerarias de este pueblo, originada en la presencia de una partícula infecciosa que, ingerida durante los rituales, era capaz de generar pliegues anormales en las proteínas que luego se heredaban. La conclusión arrojó que algunas versiones alternativas de estructuras celulares pueden heredarse porque las estructuras existentes guían la formación de unas similares sin afectar la información genética (Jablonka & Lamb 2005, p. 121).

El sistema de marcación de cromatina muestra cómo el proceso de transcripción genética está constantemente sometido a factores epigenéticos. La cromatina tiene características que se transmiten a través del linaje, las cuales habilitan estados de actividad e inactividad del gen que se manifiestan en la reproducción celular; a estas características se les conoce como marcadores de cromatina y, según estudios, su transformación puede estar asociada a la influencia de estímulos externos, como los agentes químicos. Finalmente, el sistema epigenético denominado de interferencia, consiste en la producción anormal de ARN, el cual es identificado y fragmentado por una enzima llamada *Dicer*, estos fragmentos tienen la capacidad de silenciar genes, asociarse con proteínas para eliminar las copias anormales de ARN o migrar hacia otras células.

Ahora bien, a fin de explicar los EISS, cabe observar la ausencia de una base experimental fuerte que les permita ser más contundentes en sus argumentos, quizás por ello cabe el recurso a experimentos mentales, como en el caso

del planeta *Jaynus* y sus organismos con la complejidad de una medusa. Estos ejercicios deben ser entendidos en el contexto de la investigación hacia el año 2005, cuando la epigenética no tenía los desarrollos que hoy conocemos con apuestas creativas que buscan explicaciones a problemas emergentes.

Dos ideas resultan, así, esenciales. La primera reafirma que las variaciones epigenéticas se generan en mayor cantidad que las genéticas, particularmente porque “diversas variaciones epigénéticas pueden ocurrir simultáneamente” y, su ocurrencia, está asociada a unas condiciones medioambientales en constante cambio (Jablonka & Lamb 2005, p. 157). La segunda, reitera que para entender mejor estos mecanismos puede apelarse a la metáfora de la música, donde lo fundamental no es la partitura y su código escrito, sino las múltiples interpretaciones que de ella pueden hacerse.

Una revisión cuidadosa de los sistemas de transmisión de la herencia biológica muestra que estos están sustentados en mecanismos comportamentales (BISs), como consecuencia, nuestra comprensión de la distinción tradicional entre naturaleza y cultura sufre serias modificaciones. Estos mecanismos no operan exclusivamente en humanos, sino que resultan comunes a otras especies de seres vivos, como los mamíferos y las aves. A continuación, se presenta una descripción breve de las tres rutas de transmisión comportamentales y luego se señalan algunas de las reflexiones.

Jablonka y Lamb reconocen tres grandes rutas de herencia comportamental: a través de la transferencia de sustancias que influyen la conducta, del aprendizaje social no imitativo y del aprendizaje por imitación. La primera consiste en la información transmitida en sustancias como la placenta, la leche y las heces, que es capaz de influir en las decisiones y gustos que más adelante eligen las descendencias. La segunda, describe la manera en que ciertas

especies obtienen información observando y aprendiendo de las actividades que realizan sus entornos sociales, para luego heredarla a su linaje o a cualquier individuo ingenuo. Finalmente, la tercera ruta consiste en copiar las acciones de otros miembros de la especie, pero con la expectativa que se alteren de acuerdo a la función y significado que estas adquieren, aunque similar al aprendizaje social no imitativo. Las autoras insisten en que esta ruta de la herencia permite variaciones de los patrones de comportamiento.

Esta mirada a los planteamientos alrededor de los mecanismos no genéticos que intervienen en la transmisión de la herencia biológica, produce un conjunto de cuestionamientos e inquietudes que pueden sintetizarse de la siguiente manera. En primer lugar, aparece una problematización acerca de los límites del concepto de cultura, en tanto se la define como un proceso de transmisión de información que, al interpretarse, genera determinados comportamientos y prácticas. Manifiestamente, esta definición riñe con una perspectiva clásica de cultura, que se entiende como aquellos “conocimientos, creencias, leyes, reglas morales y costumbres” que adquiere el ser humano una vez “culmina su evolución biológica” (Geertz 2006, p. 53). En la perspectiva de la epigenética, la cultura puede ser comprendida como un “sistema de patrones de comportamiento, preferencias y productos de actividades animales que caracterizan a un grupo de animales sociales” (Jablonka & Lamb 2005, p. 160). Esos patrones obedecen a unidades de información que se heredan y transmiten de una generación a otra, y no tienen mayores diferencias con aquellas moléculas y sustancias que también influyen en el comportamiento.

Reconocer que la cultura es ese proceso de transmisión de información implica negarle su condición eminentemente humana, pues al mostrar que los EISs y los BISs operan en diversas especies, la cultura, cabe decir, es

una característica de los sistemas vivos. Como se observa sin dificultad, esta serie de argumentos implica un desafío a la concepción antropocéntrica del mundo que sitúa al ser humano en un lugar privilegiado y único, pues le otorga a las plantas y a los animales la capacidad de generar y transmitir información que no necesariamente reposa en su acervo genético. Supone, de alguna manera, admitir que la evolución cultural se refiere a esa transformación que sufren los comportamientos de las poblaciones vivas, la cual se origina en procesos que, como vimos, son de naturalezas múltiples (e.g. mecanismos de transmisión de la herencia biológica epigenéticos y comportamentales).

Desde luego, esta aproximación puede generar ciertas suspicacias, en tanto contraría perspectivas arraigadas que ven en la cultura una condición que precisamente nos diferencia como seres humanos. Una suspicacia semejante sirve para enfocar el interrogante en otra dirección, a saber: qué es lo que realmente compartimos con las demás especies vivas. Ciertamente, es un enfoque innovador y sugerente que presenta un panorama con varios desafíos.

Podemos introducir tres comentarios. Primero, es necesario construir aproximaciones conceptuales y teóricas que superen la distinción radical entre naturaleza y cultura, la discusión sobre los EISS y BISS revela que esos límites son mucho más frágiles y borrosos de lo que tradicionalmente se asume. Segundo, esas aproximaciones deben llevarnos a formular interrogantes que indaguen menos por las excepcionalidades de los seres humanos y más por sus similitudes con los sistemas vivos. Tercero, requerimos marcos explicativos que ilustren la complejidad de la vida y de sus fenómenos: revisar los mecanismos aquí discutidos deja claro que no existen causas singulares ni leyes universales que sinteticen el funcionamiento del mundo biológico, en ese sentido, discusiones como la que aquí se recoge constituyen un esfuerzo significativo de confeccionar esos marcos.

5.

Integración genética, epigenética y salto lingüístico

La biología molecular introdujo la noción de información para explicar el fundamento y la historia de la vida: la molécula de ADN porta la información genética del organismo que se conserva a través de las generaciones, y como en últimas lo que se hereda es esta información genética, se entiende que las especies evolucionan en la medida en que se heredan cambios en esta información. Así se construyó un nuevo concepto de herencia vinculado a la evolución: conservación, retransmisión y cambio de la información genética. Por muchas décadas este paradigma de pensamiento fue base para grandes desarrollos y descubrimientos en todos los campos de la investigación biológica.

Sin embargo, la crítica al reduccionismo del concepto de información a lo genético, empezó en el momento en que el concepto de epigenética logró un rango fundamental en la investigación (entre los años 1980 y 1990), como consecuencia de la evidencia de la transmisión por divisiones celulares, incluso a nivel de generaciones de ciertos cambios en la expresión de los genes sin que implicaran cambios en la información contenida en el ADN. Se trata de modificaciones de señales e información, con funciones de regulación que se heredan, agregándose a la información contenida en el ADN. La epigenética explicará fenómenos observados anteriormente que no se acomodaban a las leyes de la genética, cambios del fenotipo sin su consecuente cambio genético.

Pero la noción de información en biología no para de diversificarse cuando se trata de herencia y evolución, pues, los estudios sobre el comportamiento animal mostrarán cuánta información se hereda a través del aprendizaje social, pero también mediante sustancias presentes en la leche materna, huevos y heces que determinan una herencia en la conducta. Finalmente, la información contenida en el sistema de signos lingüísticos propio de la especie humana (el lenguaje), será otro sistema de transmisión de

información heredable. Se tiene, entonces, una concepción multinivel de la información biológica, que según sus modos de transmisión a las siguientes generaciones, su primer efecto es la comprensión multinivel de la evolución misma, evolución en cuatro dimensiones. Su segundo efecto es la evidencia de evolución lamarckiana junto a la darwiniana en la historia de los sistemas vivientes, pues la investigación encuentra que los procesos de cambio epigenético son dirigidos, mutaciones interpretativas que responden a condiciones precisas de vida y medio ambiente. Estos sistemas de información, herencia y evolución, si bien ocurren en niveles diferentes, son interdependientes relacionándose unos a otros en la fisiología, desarrollo y reproducción de los organismos, y por supuesto en la herencia y evolución de estos y de las especies.

Lo interesante de esta apertura sobre el concepto de información en la herencia biológica, no son solo los alcances experimentales en los distintos campos del conocimiento biológico y lo que le aportan a la comprensión de lo vivo, sino también, el replanteamiento que implica en el conocimiento de la evolución como hecho natural y de la selección natural como su mecanismo. El origen de estos procesos no genéticos de herencia, confirma que las variaciones sobre las que actúa la selección natural no siempre han sido en su origen producto del azar, sino que afectan funciones o actividades que hacen que los organismos se adapten mejor al entorno en el que viven, es decir, que en muchos casos se trata de variaciones heredables que surgen como repuestas a las condiciones de vida, configurando claramente procesos instructivos en la evolución. Por otra parte, se sabe desde tiempo atrás que muchas adaptaciones en los organismos comienzan como subproductos o modificaciones de caracteres seleccionados inicialmente para funciones muy distintas, son los casos de cambios evolutivos en la función, por ejemplo, en la mosca *drosophila* las

alas seleccionadas inicialmente para el vuelo, cumplen después una función de cortejo mediante la emisión de ciertas sonoridades; el pelo que cubre el cuerpo de los mamíferos seleccionado originalmente para la regulación de la temperatura, adquiere una función sensorial táctil en los bigotes del hocico de muchos mamíferos; o la mano humana seleccionada para la manipulación de objetos, cumple posteriormente un papel en la comunicación simbólica.

Las funciones seleccionadas originalmente no se pierden, pero dan origen a su vez a nuevas funciones. Este aspecto es muy relevante en el caso de las mutaciones interpretativas que le aportan el carácter lamarckiano a la evolución, como es el caso, por ejemplo, del aumento en la frecuencia de mutación masiva de todo el genoma cuando una bacteria se encuentra en condiciones de estrés severo, y por selección alguna mutación tiene éxito y logra responder a las condiciones que generaron el estrés genético. Es conocido que una de las propiedades del genoma celular es la diferenciación de sistemas de reparación génica, como el sistema SOS que se activa cuando en la replicación del ADN se presentan fallas que comprometen la reproducción celular. Este sistema ha podido ser seleccionado a su vez como origen de la respuesta a condiciones no ya de fallas en la replicación, sino de estrés que compromete a la célula a un colapso total. Esto explica claramente la relación de un organismo patógeno en relación de mutabilidad masiva frente al sistema inmunitario de su huésped.

Las variaciones epigenéticas podrían haber tenido su origen en el concurso de las relaciones celulares con las cambiantes condiciones ambientales en las que se encuentran permanentemente. La permanencia de ciertos estados fisiológicos en el momento de la reproducción celular se garantiza mejor mediante cambios epigenéticos que por mutaciones que demandan más energía y más tiempo para ser seleccionadas. Un factor de marcación genética como la

metilación, que puede ser reversible si las condiciones metabólicas cambian, es más directo y perfectamente puede ser seleccionado en lugar de una mutación. La metilación cumple un papel relevante en la defensa genética ante la presencia de ADN extraño, pero anteriormente interviene en la regulación de la actividad genética de la célula. Ambas funciones son cumplidas por este sistema epigenético.

En el caso de la herencia ligada al comportamiento, en aves y mamíferos, es posible que su evolución siga la pauta del aprendizaje social en la cual los animales jóvenes en la convivencia con los adultos, adquieren los hábitos de comportamiento de estos, y sus cambios en función de las condiciones ecológicas y sociales pueden seleccionarse según su estabilidad y utilidad. Las relaciones sociales en animales superiores dependen del reconocimiento individual, y en ese sentido, el comportamiento de un individuo depende del grado de parentesco y de la capacidad de memoria de las interacciones previas con el grupo, o con individuos más cercanos. Es el tipo de cultura limitada, entendida como comportamientos y consecuencias de este, que se define en las especies animales. Entre los chimpancés puede existir poblaciones con diferencias en la conducta, estos pueden interactuar y una de esas poblaciones adquirir algunos rasgos de comportamiento de la otra, pero no puede adquirir nuevos hábitos de forma continuada, como es el caso en la especie humana. El chimpancé bonobo Kanzi aprendió el comportamiento humano correspondiente a la enunciación y lexigramas de diferentes frases en inglés que escuchaba y veía en un ambiente de entrenamiento sistemático. Fue el primer bonobo en manifestar una capacidad espontánea de comprender y comunicarse con símbolos durante el largo período del experimento.

Para la especie humana, dos condiciones fueron básicas para la aparición del lenguaje como forma de comunicación simbólica. En primer lugar, el cambio en el entorno

que se habita, pues según la paleontología, los primeros homínidos abandonan los bosques y árboles, creándose nuevas posibilidades de socialización y comunicación, y por otra parte, condiciones referentes a cambios en la anatomía y fisiología del cerebro, control de movimientos de las manos liberadas para manipular objetos, aumento en la capacidad de creación e imitación de gestos y sonidos vocales. Esta capacidad humana de construir sociedades basadas en la transmisión de información simbólica es genética. Es decir, la capacidad lingüística es innata, el hombre habla, los antropoides no, sencillamente en razón a que son especies genéticamente distintas.

En el origen del lenguaje, las facultades cognitivas ya desarrolladas genéticamente y la experiencia básica de acción fueron determinantes para que una vez la comunicación vocal o gestual controlada se pusiera en marcha, se dieran las condiciones para que un sistema primario de signos y reglas evolucionaran a través de la transmisión cultural. Con el tiempo se habría llegado a una etapa comparable a la de Kanzi para comunicarse mediante símbolos. Estas características de la comunicación en antropoides pudo ser más tarde asimilada genéticamente, y mediante las interacciones entre esta base genética adquirida y la labor cultural acumulativa se dieron las condiciones para la producción del lenguaje en el hombre.

6.

Elementos finales para una síntesis

La herencia es mucho más que los genes. Las variaciones genéticas no se explican únicamente, hoy en día, desde los cambios en la codificación del genoma o en las pequeñas alteraciones de los códigos que se encuentran en las células. No es posible comprender todos los cambios en la herencia a partir de variaciones aleatorias o de accidentes que ocurren, sin una explicación mejor que otra. Si ha existido debate recientemente alrededor de los mecanismos que inducen variaciones en la genética y la manera como estas variaciones se transmiten a las nuevas generaciones es porque no hay consenso sobre la forma como las variaciones adquiridas durante la vida, pueden ser transmitidas a la descendencia. En este asunto, persisten desacuerdos porque se acepta la posibilidad de heredar aquellos rasgos o características adquiridas, pero las dudas sobre los mecanismos y la falta de más evidencia científica hacen que el consenso no se consiga fácilmente.

Hay entonces una serie de interacciones entre diversos elementos que incluyen el azar y dispositivos biológicos, así como procesos simbólicos que se heredan genéticamente. El comportamiento también se incorpora y se transmite genéticamente. Estas interacciones ocurren en las células, pero también entre las células, entre los organismos y entre los grupos de organismos. Se trata de comprender que no todas las variaciones son aleatorias ni todas ocurren y se transmiten mediante copias “ciegas” de la información.

La forma y la velocidad con las cuales ocurren estos cambios se manifiestan en las variaciones fenotípicas y tienen, entonces, implicaciones muy sugestivas para los procesos de adaptación. Ante cambios drásticos en las condiciones de vida, se inducen grandes cantidades y tipos de variaciones heredables que impactan el genoma, el epigenoma y los sistemas simbólicos. Esto es lo que se conoce como procesos de instrucción. Las cuatro dimensiones:

genética, epigenética, comportamental y simbólica actúan en formas paralelas y simultáneas, y entonces amplían la visión restringida a lo puramente biológico y molecular.

Aunque en casos como la transmisión de las variaciones epigenéticas, en que la evidencia disponible sea todavía poca, es posible plantear que, algunas de estas variaciones que pueden expresarse en cambios a corto plazo, tendrían efectos en las siguientes generaciones.

Las implicaciones de estos cambios desde esta perspectiva explicativa, se expresan en diversos campos de interés. En la salud, la preocupación actual por el aumento en la resistencia de un número creciente de microorganismos y a las terapias con antimicrobianos, tiene explicaciones en la perspectiva epigenética. Las condiciones de un medio adverso, con amenaza para la supervivencia de la especie, promueven cambios que se observan en la modificación del curso clínico de las enfermedades infecciosas, es decir, en la resistencia a los medicamentos.

Lo que enfrentan los equipos de salud es una reducción significativa de la eficacia de los antimicrobianos para tratar infecciones. Una de las principales consecuencias de la respuesta epigenética de las bacterias a los antibióticos, es observable en las infecciones intrahospitalarias, que son un reto permanente para las instituciones de salud en todo el mundo. La comprensión de estos mecanismos debe sugerir modificaciones en las estrategias de tratamiento para considerar formas de eliminación de los mecanismos de mutación de los microorganismos y no solo un cambio en los agentes terapéuticos que es lo que más frecuentemente se ha hecho.

De igual manera, se han reportado algunos tipos de cáncer asociados con modificaciones epigenéticas que pueden ser heredables y que se presentan en asocio con los procesos de metilación y cambios en la organización de la cromatina. Si se logra identificar claramente cuáles com-

portamientos o factores ambientales pueden inducir estas mutaciones, estos hallazgos podrían guiar modificaciones en los métodos de prevención y tratamiento utilizados hasta el momento, y entonces, reducir la posibilidad de que sean transmitidas a las siguientes generaciones.

En este último caso, se requieren más estudios que hagan posible observar y analizar cuáles mutaciones son individuales, cuáles tienen efectos en grupos de población y cuáles son las que se transmiten a la descendencia de quienes las sufren. Hay conocimiento sobre medicamentos y agentes externos que tienen efectos de largo plazo en distintas generaciones, algunas mutaciones asociadas con el consumo de agentes teratógenos son conocidas desde hace algunas décadas.

Un aspecto interesante que se desprende de estas reflexiones está en el impacto que producen las deficiencias nutricionales en las siguientes generaciones. Se ha postulado, por ejemplo, que hay un retraso nutricional en comunidades de los países de bajos y medianos ingresos, que se observa en las diferencias de talla con respecto a las personas nativas de los países de más altos ingresos. La talla promedio es menor en regiones como centro y Suramérica, en comparación con la de las poblaciones del norte del continente americano y del norte de Europa.

De igual manera, las deficiencias nutricionales, un ambiente hostil y las condiciones adversas de la vivienda asociadas a la persistencia de necesidades básicas que no se satisfacen, pueden constatarse en poblaciones aisladas, en las cuales la expectativa de vida y la calidad de vida son comparativamente menores que en aquellas donde estos problemas no se presentan por largo tiempo.

Hay implicaciones políticas en estas condiciones que deberían enfrentarse con mecanismos de compensación de las desventajas heredadas que muchas poblaciones enfrentan durante toda su vida. No es suficiente con cam-

biar el entorno actual, sino que sería necesario fortalecer las capacidades biológicas de manera significativamente mayor si se espera que estos grupos de personas superen las debilidades que soportan, por lo que han heredado.

Dado que uno de los aspectos de estas debilidades heredadas en algunas poblaciones, está en las inadecuadas condiciones nutricionales, es oportuno señalar que el mejoramiento mediante intervenciones epigenéticas de la producción de alimentos, es uno de los campos de aplicación más llamativos de estos estudios. La cantidad y calidad de las cosechas puede tener mejores resultados, lo cual al menos en teoría, ayudaría precisamente a las comunidades más pobres y excluidas, si se actúa consecuentemente. Desde luego, que este es precisamente el problema mayor.

La clonación de órganos humanos se presenta como otra área de desarrollo que podría potencialmente, favorecer la salud de quienes requieren un trasplante para continuar su vida o mejorar sus condiciones de supervivencia. Surgen claramente, preocupaciones por lo que alrededor de este tipo de avance tecnológico puede generarse, dado el interés de compañías de biotecnología por conseguir tales “productos”. Las inversiones requeridas y entonces, el interés económico por recuperarlas y obtener ganancias, llevan a tomar con cautela lo prometedor de esta idea. Esto sin considerar aún, las implicaciones éticas.

En el otro extremo, están las implicaciones que los procesos de urbanización, por ejemplo, han generado en los ecosistemas. Los cambios son conocidos ampliamente. La deforestación de extensas zonas ha afectado especies animales y vegetales que han sido extintas o que han tenido que moverse a lugares donde tradicionalmente no se habían asentado. El cambio climático está directamente relacionado con las alteraciones a los ecosistemas y es tanto causa como consecuencia de la migración de especies de insectos que han colonizado pisos térmicos de mayor

altitud, cambiando también estos nuevos espacios y generando nuevas preocupaciones por las enfermedades transmitidas por vectores en lugares donde no se tenía reporte previo de ellas.

Todas estas alteraciones son irreversibles. Afectan las cuatro dimensiones de la evolución y entonces, no es posible regresar a las condiciones previas. No es solo que una especie desaparezca por acción humana, es que todo su ecosistema se afecta y se altera por su desaparición. La dimensión simbólica y la dimensión comportamental no pueden ser reconstruidas, aunque se cuente con un “reemplazo” para el organismo biológico afectado. La red cambia y no vuelve a su estado inicial.

No hay en todo caso, un camino expedito y claro para que estos avances científicos y tecnológicos se aprovechen y sean dirigidos a mejorar las condiciones de vida de los que más problemas tienen. La controversia con las empresas y sus intereses comerciales persiste y seguirá siendo un asunto de interés político y de salud pública. Se debe reconocer que un mayor conocimiento permite mayor conciencia de las problemáticas y que esto fortalece la posición de quienes buscan que esas situaciones se modifiquen. Para que existan cambios y para que la ciencia y la tecnología amplíen su aplicación en lugares apartados y en contextos deprimidos, la aproximación requiere múltiples saberes y nuevas formas de comprensión de las situaciones problemáticas.

El desarrollo físico y cognitivo tiene efectos en la evolución. Las variaciones que se presentan durante las distintas fases del desarrollo pueden ser hereditarias. En este sentido, no es posible establecer una separación entre desarrollo y herencia. Están directamente ligadas, al igual que las 4 dimensiones de la evolución que se han postulado. En estas interacciones, los procesos instructivos y los procesos selectivos se expresan en los cambios evolutivos.

Se presentan estos elementos por separado, pero deben ser comprendidos de forma sintética, es decir, en interacción y sin que exista separación entre ellos. En los “rasgos variables heredables” se generan tanto el desarrollo como la selección en los procesos evolutivos. Este concepto recoge los procesos del desarrollo y los procesos genéticos de la herencia, así como las dimensiones comportamental y simbólica.

Para los que se interesan en la evolución desde la perspectiva del desarrollo, los procesos de canalización y plasticidad son los que, de manera complementaria, explican tales asuntos. Desde la perspectiva de la herencia el interés se enfoca más en la transmisión de las características o rasgos a la descendencia, que en los cambios mismos que el desarrollo produce en el fenotipo. Entre ambas posturas, la plasticidad se estudia con diferentes alcances temporales. En la primera se analizan periodos cortos de tiempo, mientras que, en la segunda, lo más interesante son los efectos a largo plazo sobre los cambios fenotípicos, incluso cuando las condiciones ambientales (el nicho) que los han propiciado no persistan temporalmente.

La relación con estos nichos tampoco es un asunto simple. Hay una suerte de interacción entre los organismos y sus entornos que aportan a la construcción de sus nichos, pero también los nichos pueden ser heredados. De igual manera, otros procesos constructivos y reconstructivos están ligados a la evolución, por ejemplo, los procesos de generación y modificación de patrones de desarrollo, de preferencias y habilidades.

Los cambios evolucionarios no dependen del cambio genético. Estos últimos no son necesarios para que exista evolución. Los sistemas epigenéticos y comportamentales también pueden propiciar estos cambios, así como las redes de interacción. De esta manera es posible afirmar, que hay no solo uno sino cuatro tipos de herencia

y cada uno de ellos requiere ser modelado. No sería necesario, desde este punto de vista, un único modelo unificado con las cuatro dimensiones integradas.

Estas explicaciones podrían propiciar un cambio en el comportamiento humano haciendo más responsable su accionar en los entornos que ocupa y afecta. Se abren de esta forma, mayores posibilidades a partir del conocimiento y de la imaginación de nuevas formas de actuar. La explicación del comportamiento no está en los genes y no puede verse como algo impuesto o inevitable. Estas explicaciones simples, aunque populares y llamativas, carecen de sustento científico.

La curiosidad y la necesidad científica por encontrar mejores explicaciones deberían ser mayor que los afanes de lucro de las empresas de biotecnología que buscan retorno de sus inversiones en investigación. De igual manera, la ciencia debe sobreponerse a las ideologías y a los dogmas en su búsqueda por la comprensión del universo.

Lo que plantean las 4 dimensiones son nuevos campos de posibilidad para crear modelos, herramientas y métodos para aplicar este conocimiento a las teorías sobre la evolución, y a un cambio en las acciones humanas dados los efectos a largo plazo que han producido.

Conclusiones

La biología que sabe de epigenética no es diferente al enfoque Evo-Devo, y más amplia y fundamentadamente, Eco-Evo-Devo. Esto es, aquella que integra en un solo capítulo a la evolución y al desarrollo, y a la ecología, la evolución y el desarrollo (Carroll, 2005).

La epigenética permite superar el dualismo que constituye el rasgo más distintivo de todo el pensamiento en Occidente desde sus orígenes en la Grecia antigua. Desde este punto de vista, sin ambages, podemos decir que existe un puente o un enlace directo entre la epigenética y las ciencias de la complejidad, algo que no ha sido nunca explícitamente considerado.

La biología puede ser vista con la nueva base de la ciencia bajo dos condiciones: de un lado, el reconocimiento de que no hay sistemas físicos a los que les acaece la vida. El estudio de Gaia, de manera notable, ha permitido reconocer suficientemente que “no hay vida en el planeta”, sino que, mucho mejor, “el planeta está vivo”. Pero el planeta vivo, en el caso de la Tierra, cambia su nombre: Gaia, en la mejor tradición que se deriva de la Grecia antigua. O bien, en una perspectiva más fuertemente ligada a la antropología, la Pachamama (pueblos andinos) o la Tonantzin (pueblos mayas y aztecas).

La segunda condición es que, gracias precisamente a las ciencias de la complejidad, los sistemas vivos son autoorganizados, esto es, sin dilaciones, *causa sui*. Desde este punto de vista, la vieja lectura que parte de la física, conduce a la química inorgánica y desde aquí avanza hasta la química orgánica y la biología - no es precisamente la más acertada. Existe en la naturaleza bucles autocatalíticos, y por ejemplo, la sintropía no es diferente ni ajena a la entropía. Los sistemas vivos generan y mantienen las condiciones de su aparición y de su conservación o mantenimiento.

La importancia de la epigenética estriba en que permite una visión menos mecanicista, binaria o determinista de los sistemas vivos, sin la menor duda, el más apasionante de todos los fenómenos en el universo. Si originariamente Darwin y Lamarck constituían dos visiones diferentes de la evolución, hoy por hoy, conforman una unidad en la que los acentos dejan de ser importantes, dada la amplitud de los puntos de vista que permiten la integración entre la evolución y el desarrollo.

Los individuos aprenden y experimentan, por definición, de manera singular el mundo. Al fin y al cabo, quien marca la diferencia en el universo es el individuo. Pero los individuos constituyen, si cabe, bisagras de la propia evolución. No hay dos cosas: individuo y poblaciones, sino una sola. Esa unidad es puesta de relieve gracias a la epigenética.

La nueva biología, para usar una expresión con valor meramente designativo, es aquella que sabe mucho de genética, biología de sistemas, biología molecular y biología del paisaje, por ejemplo, pero al mismo tiempo sabe y hace suyo el interés por la antropología, la sociología, la economía o la política.

Digámoslo de manera puntual, a título de conclusión, pero como una conclusión abierta (*open-ended conclusion*): el estudio de la vida y de la salud en general, cuando sabe de epigenética, admite una comprensión en la que la biología *latu sensu* no es ya diferente de las ciencias sociales y humanas. Una conclusión provocativa cuando se la mira con los ojos del pasado, o sugerente e igualmente provocativa cuando se le mira con los ojos del futuro.

Bibliografía

- Bufill, E., Carbonell, E., (2004). "Conducta simbólica y neuroplasticidad: ¿un ejemplo de coevolución gen-cultura?", en: *Ev Neurol* 39: 48-55
- Carroll, S. B. (2005). *Endless forms most beautiful. The new science of evo devo*. New York/London: W. W. Norton & Co.
- Gintis, H. (2011). "Gene-culture coevolution and the nature of human sociality", en: *Phil. Trans. R. Soc. B* 366, 878-888 doi:10.1098/rstb.2010.0310
- Geertz, C. (2006). *La interpretación de las culturas*. Barcelona: Gedisa.
- Hünemeier, T., Amorim C.E.G., Azevedo, S., Contini, V., Acuña-Alonzo, V., et al. (2012). "Evolutionary Responses to a Constructed Niche: Ancient Mesoamericans as a Model of Gene-Culture Coevolution", en: *PLOS ONE* 7(6): e38862
- Jablonka, E., & Lamb, M. J. (2005). *Evolution in four dimensions: Genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Maldonado, C.E. (2014). "Cómo puede ser la biología la nueva base de la ciencia", en: *Crítica.cl. Revista latinoamericana de ensayo*, (Septiembre), Año 18; disponible en: <http://critica.cl/reflexion/¿como-puede-ser-la-biologia-la-nueva-base-de-la-ciencia>
- Watson, P. (2017). *Convergencias. El orden subyacente en el corazón de la ciencia*. Madrid: Crítica
- Portin, P. (2015). "A comparison of biological and cultural evolution", en: *J. Genet.* 94:155-168
- Whitehead, H. (2017). "Gene-culture coevolution in whales and dauphins", en: *PNAS* 114:7814-7821

Investigaciones en complejidad y salud

Facultad de Medicina

Grupo de Investigación Complejidad y Salud Pública

n.º 2

La epigenética y la transformación radical de la biología

Fue editado y publicado por la
Editorial Universidad El Bosque,
Abril de 2019
Bogotá, Colombia

