

# DEBATE CONTEMPORÁNEO



# La evolución es importante, pero podría no ser lo que pensamos\*

Agustín Fuentes  
Departamento de Antropología  
Universidad de Notre Dame

Traducción: Francisco Vergara Silva\*\*  
Instituto de Biología  
Universidad Nacional Autónoma de México

*Muchos han asumido que los humanos cesaron de evolucionar en el pasado distante, tal vez cuando la gente aprendió por primera vez a protegerse en contra del frío, la hambruna, y de otros crudos agentes de la selección natural. Pero en los últimos pocos años, los biólogos que se están asomando a las secuencias del genoma humano, ahora disponibles desde diversas partes del mundo, han encontrado evidencia creciente del efecto de la selección natural en los últimos miles de años, llevando a muchos a asumir que la evolución humana aún está en curso.*

Nicholas Wade

La cita anterior, de un respetado divulgador de la ciencia, demuestra cómo aún el público educado podría tener un entendimiento muy pobre de lo que la evolución es y no es. Para vender esta historia, la falsa representación de un “debate” acerca de cómo la evolución tiene lugar en los humanos debe ser un tema central. Dos concepciones erróneas acerca de la

---

\* Chapter 3, 2012. “Evolution Is Important —but May Not be What We Think”, *Race, Monogamy, and Other Lies They Told You: Busting Myths about Human Nature*, The University Press. University of California.

\*\* fvs@ib.unam.mx, hpssbiolanthropol@gmail.com

evolución se revelan aquí: que ésta tiene un punto final, y los humanos son menos afectados por la evolución que otros organismos. La primera idea corresponde a la suposición común de que la cultura nos protege de la evolución y, la segunda, que los humanos ya recorrimos ese camino y hemos evolucionado.

El artículo de Wade, publicado en *The New York Times*, aborda estudios actuales sobre partes específicas de nuestro genoma (el sistema de ADN compartido por la humanidad) que muestran el cambio evolutivo en acción. Sin embargo, el concepto popular al cual se refiere Wade, la creencia de que estamos aislados de la evolución, simplifica la relación entre los humanos y sus ambientes: las suposiciones de que estamos al final de nuestro proceso evolutivo son absolutamente falsas. Estas ideas provienen de un conjunto de graves malos entendidos acerca de qué es la evolución y cómo trabaja, y contribuyen a perpetuar los grandes mitos que intentaremos desbancar. La evolución es importante, pero necesitamos clarificar algunos puntos centrales antes de que avancemos en el derrocamiento de los mitos acerca de la naturaleza humana.

#### LO QUE LA EVOLUCIÓN NO ES

Cuando se nos pregunta cómo explicar la evolución, la mayor parte de la gente mencionará “la sobrevivencia del más apto”, “la extinción de los dinosaurios”, o improvisará algo acerca de que “los humanos provenimos de los monos”. Esto muestra la realidad de nuestro sistema educativo y refleja que los medios de comunicación consumistas hacen un muy pobre trabajo para difundir la cantidad de información clara y confiable que tenemos acerca de la evolución y la biología. Cuatro concepciones erróneas comunes sobre la evolución serán discutidas aquí antes de describir qué es la evolución, cómo se relaciona con la genética y la biología, y cómo podemos emplear esta información como parte de nuestro armamento básico de herramientas para desmontar los mitos acerca de la naturaleza humana.

La primera concepción errónea se centra en la frase “sobrevivencia del más apto”. Esta frase se asocia usualmente con Charles Darwin y su teoría de la selección natural (uno de los procesos mediante los cuales ocurre la evolución) y con suposiciones sobre los procesos evolutivos que los ubican como el resultado de la competencia directa entre los organismos por algunos bienes limitados (como las peleas por comida o por hembras, en las que los individuos más grandes, más rápidos y más fuertes suelen ganar). Esta es la fuerza bruta de la naturaleza de la cual muchos filósofos y pensadores

sociales nos urgían a abandonar o a superar, pero no es necesariamente el modo como la evolución funciona. La selección natural es la sobrevivencia y la reproducción de aquellos que son lo suficientemente buenos, no los mejores o los más feroces. La idea de que la naturaleza es brutal y la vida es corta le debe más a filósofos como Thomas Hobbes y Adam Smith que a Darwin. De hecho, esta idea es una construcción cultural importante y poderosa que permea nuestra sociedad.

Una segunda concepción falsa de gran influencia acerca de la evolución está orientada hacia el progreso, la cual resulta en un ajuste perfecto entre los organismos y su ambiente. El corolario de esto es que si algo funciona bien percibimos que ha “evolucionado” para un propósito particular. Esto es incorrecto. La vida sobre la tierra (así como la evolución) es desordenada y muchas veces azarosa. En algunos casos nosotros observamos relaciones sorprendentes, casi perfectas, entre los organismos o entre un organismo y su ambiente, por ejemplo, algunas avispas e higos han coevolucionado y se necesitan unas a otros para sobrevivir. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los organismos trabajan conjuntamente con los demás en su ámbito común, de modos que son exitosos pero no perfectos. Esta idea errónea de la coevolución impecable es crítica porque supone que si algo es de cierta manera, y es a su vez el producto de la evolución, entonces es como es porque había un propósito que garantizaba que esto fuera así.

Una tercera idea errónea acerca de la evolución es que toda ella ocurre por azar. Dado que la evolución no sigue un propósito dirigido ni está manipulada por una fuerza creativa externa, mucha gente se orienta a la perspectiva exactamente opuesta y asume que todo el cambio evolutivo es por accidente. Esto también es incorrecto. La evolución se restringe por los materiales que están a la mano. Esto es, la forma actual de un organismo y su historia evolutiva (la historia de la transformación que experimentaron sus ancestros) afecta la manera como este organismo se modificará en el futuro. Los humanos no estamos a punto de evolucionar alas para el vuelo, y las patas de las tortugas no evolucionarán en ruedas; no importa cuántas mutaciones casuales aparezcan. El principio de que el cambio evolutivo está restringido por la estructura, ontogenia e historia de los organismos es importante, y nos ayudará a entender por qué algunos de los mitos sobre la naturaleza humana están equivocados.

Hace casi 300 años, antes de que nuestro entendimiento de la evolución se desarrollara, el autor y filósofo Voltaire astutamente notó una tendencia común en muchas filosofías occidentales, las cuales afirmaban que el modo como las cosas son es la manera en que éstas deberían ser:

Observa que las narices están hechas para utilizar gafas; por lo tanto, tenemos gafas. Las piernas están visiblemente hechas para usar pantalones; por lo tanto, tenemos pantalones. Las piedras se formaron para ser apiladas y para construir castillos; y mi Señor tiene un bastante noble castillo; el más grande Barón en la provincia debería tener la mejor casa; y como los cerdos fueron hechos para ser comidos, tenemos puerco todo el año; en consecuencia, aquellos que han afirmado que todo está bien hablan sin sentido; ellos deberían haber dicho que todo está hecho para lo mejor. [Pangloss, en *Cándido*, de Voltaire, 1759].

La astuta ocurrencia de Pangloss, que mezcla el “ser” con el “deber ser”, ilustra la cuarta concepción errónea, la cual supone que si algo ha evolucionado de cierta manera, entonces, ése es el modo como debería ser. Esta es la idea de cómo las cosas fueron seleccionadas para un propósito particular por los procesos evolutivos, o bien surgieron por una secuencia de eventos azarosos en la naturaleza y, por lo tanto, ésa debe ser la manera correcta de ser (“natural”) de esa cosa. Así, el pico del colibrí le facilita obtener el néctar a partir de las flores, los grandes cerebros de los humanos les permiten dominar el planeta, y las plumas del águila le habilitan surcar los cielos. Sin embargo, ninguno de estos ejemplos es decisivo. Hay muchos tipos de aves que se alimentan de néctar con una enorme gama de formas de pico y tamaños (aunque la mayor parte de ellos son delgados y alargados); algunos primates y muchos cetáceos (delfines y ballenas) tienen cerebros aproximadamente del mismo tamaño (o más grandes, en relación con su tamaño corporal) que los humanos, y las plumas de las aves aparecieron inicialmente en sus ancestros como estructuras termorregulatorias (para controlar el calor) antes de formar parte de las alas (las plumas fueron cooptadas y modificadas para su uso en el vuelo). No todo es lo que parece, ni tampoco el *status quo* es siempre para lo mejor. Un rasgo que actualmente sirve para una función en un organismo puede o no haber sido alterado por los procesos evolutivos para llevar a cabo ese cometido.

Esta cuarta concepción errónea es especialmente relevante para este texto, pues usualmente se le asocia con las construcciones culturales y con el equivocado hábito de conectar directamente rasgos biológicos con la conducta e historia sociales. Esta es la principal falta del Pangloss, de Voltaire, y un desacierto en los tiempos modernos. Por ejemplo, han habido muchos intentos de argumentar que los estadounidenses de descendencia africana están mejor preparados para algunos deportes debido al efecto biológico y las historias de esclavitud (las cuales se miran como episodios de selección evolutiva) y que el pueblo judío, especialmente los Azhkenazi, experimentaron eventos que los equiparon con una inteligencia superior

(por razones evolutivas) que a otras poblaciones. También hay numerosas suposiciones acerca de los hombres que tienen papeles de liderazgo.

Es absolutamente crítico que comprendamos que la evolución está ocurriendo... siempre. El que gana el día no es el (o la) más grande en tamaño, el más malo o mala, el más bello o bella; la evolución no se detiene en la solución perfecta ni tampoco está dirigida a un objetivo. Más importante aún, los aspectos actuales de nuestros cuerpos y nuestra conducta que han sido afectados por la evolución no son más "naturales" o correctos que otras partes de nuestras vidas y nuestros pensamientos. Así, habiendo dispensado con aquello que la evolución no es, ahora es necesario clarificar qué es exactamente lo que la evolución sí es.

En realidad la evolución son dos cosas: un hecho y una teoría. Cuando la mayor parte de la gente dice "evolución", a lo que usualmente se refiere es a alguna faceta de la teoría, pasando por alto la parte más importante: el hecho. El hecho de la evolución es que toda la vida orgánica sobre este planeta cambia con el tiempo. Realmente, eso es lo que es: transformación a través del tiempo. Esto es fácilmente observable en el registro fósil y en el laboratorio. No hay debate, es un hecho científico: la evolución ocurre. Hay una definición más específica de la evolución basada en la genética, pero ésta es básicamente una manera más detallada de afirmar que las cosas al nivel genético también se modifican con el tiempo. La teoría de la evolución es una explicación de cómo cambian las cosas. Una teoría es un conjunto de hipótesis puestas a prueba repetidamente que han sido apuntaladas por múltiples investigadores a lo largo del tiempo. La teoría de la evolución es un conjunto de ideas apoyadas acerca de cómo trabaja la evolución (como la teoría de la gravitación).

Actualmente tenemos una teoría muy robusta de la evolución que involucra cuatro procesos principales: la selección natural, el flujo génico, la deriva génica y la mutación. En las últimas décadas hemos añadido un proceso llamado construcción de nicho y unas cuantas perspectivas adicionales que involucran nuevos giros sobre las cuatro fuerzas tradicionales. Más adelante explicaremos brevemente cada uno de éstos, pero primero determinemos una línea de base para un entendimiento común de la genética.

#### GENÉTICA: LAS BASES

Dado su carácter en tanto unidad compartida de la herencia entre los organismos, el ADN es central para nuestra comprensión de los procesos de la evolución. Afirmar que el ADN, o ácido desoxirribonucleico, es la unidad

primordial de la herencia, significa que es la manera como la información principal acerca de los organismos se pasa de una generación a la siguiente. En organismos con reproducción sexual, como los humanos, una copia de la molécula de ADN es proporcionada por la madre y otra por el padre. El ADN contiene información básica que, cuando se mezcla con las estructuras orgánicas apropiadas en el juego y en el contexto del útero de la madre, facilitará el crecimiento de una célula individual (la combinación del espermatozoide y el óvulo) en una persona con billones de células. Noten que digo “facilitar”, no “determinar”. El ADN no es el plan maestro de la vida, más bien contiene muchos de los códigos esenciales y señales para el desarrollo ontogenético de un organismo. El ADN tiene la información necesaria para ensamblar proteínas, que son los ladrillos de construcción de nuestros cuerpos y sistemas, también actúa para regular cómo y dónde diferentes proteínas son fabricadas y utilizadas.

Los padres transmiten la información para la construcción de proteínas (en el ADN que les heredan) y los mecanismos para comenzar la ontogenia (en el óvulo femenino) a su descendencia. Las hebras específicas de ADN que contienen estos mensajes para proteínas, o bien las que regulan la elaboración y uso de las proteínas, se encuentran en los mismos lugares en el ADN de todos los humanos: es a lo que llamamos *genes*. Un gen puede definirse como una sección de ADN que posee la secuencia para una proteína o la información para la regulación de alguna proteína o proteínas.

Todos los humanos tenemos los mismos genes, pero hay numerosas secuencias de ADN con composiciones químicas ligeramente diferentes que pueden residir en el mismo segmento de ADN. Esto es, cada humano tiene dos copias del mismo gen (una de la madre y otra del padre) pero en la población puede haber más de dos formas del gen. Estas formas del mismo gen se llaman *alelos* y son la variación genética básica que proporciona el motor del cambio evolutivo. La definición de la evolución genética significa una transformación en las frecuencias alélicas a lo largo del tiempo. La representación relativa de las formas específicas de un gen puede modificarse a través de las generaciones, lo cual puede generar cambios en las proteínas y, eventualmente, en rasgos físicos.

Los genes (y sus alelos) contienen los mensajes para proteínas y su regulación; la relación que realmente existe entre los genes y los rasgos físicos (o conductuales) es muy complicada. Hay interacciones químicas dentro de nuestras células, interacciones entre ellas, y procesos ontogenéticos por arriba del nivel de la genética, a través de los organismos y a lo largo de sus historias de vida. Esto hace poco realistas a la mayoría de las analogías un gen-un rasgo. Por ejemplo, aunque tus manos están compuestas de



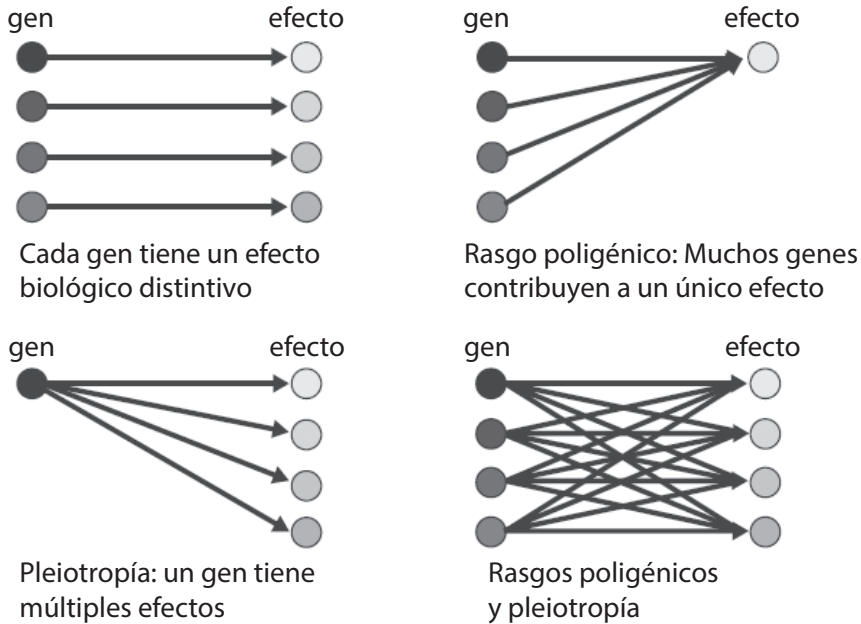
numerosas proteínas que emergen de mensajes en tu ADN, éstas por sí mismas no son un producto directo de un “gen para las manos”, sino el producto de un programa ontogenético en el cual el ADN juega un papel importante, pero no exclusivo.

Debemos pensar en los genes como poseedores de cuatro tipos generales de relaciones con los rasgos (figura 1). Primero, un gen puede simplemente ayudar a producir una proteína o varias proteínas, si hay más de un alelo para ese gen). Éste es el modelo simple: “un gen-una proteína”. En un nivel ligeramente más complicado puede haber escenarios en los cuales un grupo de genes trabaje conjuntamente para producir un efecto, como una proteína compleja o un rasgo compuesto de múltiples proteínas (llamado “efecto poligénico”). De manera más complicada, existen situaciones donde un gen tiene muchas repercusiones sobre un número de diferentes rasgos o sistemas. Esto es, sus productos proteicos afectan múltiples sistemas y objetivos finales (a lo cual llamamos “efecto pleiotrópico”). Finalmente, es muy común que los genes tengan efectos poligénicos y pleiotrópicos al mismo tiempo. Debemos recordar que cada gen puede tener más de un alelo; en todos los casos mencionados el mismo gen puede producir proteínas ligeramente disímiles en individuos distintos.

La ontogenia de un organismo está marcada por múltiples factores. Por ejemplo, hay dos facetas de un organismo: el componente genético o *genotipo*, y en la totalidad de sus rasgos o *fenotipo*. Los rasgos físicos principales (partes del fenotipo) como el tamaño corporal y la forma de la cabeza, de la cara, y así sucesivamente, emergen de la interacción de muchos genes y de influencias ontogenéticas y ambientales específicas. Éstas incluyen patrones químicos y físicos, influencias internas y externas, y restricciones físicas sobre la forma y el tamaño, además de los mensajes y los procesos regulatorios almacenados en los genes. Para hacer las cosas aún más complejas, comenzando con la concepción (la unión exitosa del esperma y el óvulo), los procesos ontogenéticos y epigenéticos (fuera del ADN) también afectan el desarrollo. Los cambios de temperatura, los ambientes químicos fluctuantes y los errores en las señales químicas, en añadidura a las variaciones en el ADN, producen resultados ligeramente diferentes para cada organismo.

¿Qué podemos decir acerca de los genes para ciertas conductas, tendencias o habilidades? Actualmente hay poca evidencia que sustente cualquier tipo de relación uno-a-uno entre un conjunto individual de alelos y una conducta cualquiera. Sin embargo, el ADN sí tiene una influencia sobre nuestras estructuras físicas (cerebro, ojos, boca, manos), y dado que la conducta es exhibida a través de estas estructuras, toda la conducta tiene algún componente genético.

Figura 1



Los tipos de relaciones que los genes pueden tener con los rasgos (biológicos). El tipo de relación más común es también el más complejo: una combinación de patrones poligénicos y pleiotrópicos. Adaptado de A. Fuentes (2011), *Biological Anthropology: Concepts and Connections*, segunda edición Burr Ridge, IL. McGraw Hill Higher Education.

Considera el ejemplo que yo uso para una explicación de lo anterior en un libro de texto. Tú estás leyendo esta página utilizando tus ojos (tejido óptico, músculos, nervios) y quizá tus manos (músculos, huesos, tendones) para revisar las letras y palabras sobre la página. También estás usando tu cerebro (un conjunto de neuronas, tejidos vasculares y varias hormonas que conectan todos los órganos en tu cuerpo y que median entre ellos) para procesar el significado. Todos estos elementos tienen un componente genético. Sin embargo, tú estás leyendo las palabras (una conducta que alguien te enseñó), y lees en español (algo más que también debe enseñarse). ¿La lectura y el empleo del lenguaje español tienen un componente genético? La respuesta es sí, en tanto que las neuronas, ojos, músculos, y otras partes del cuerpo ocupadas en la lectura están compuestas de proteínas inicialmente codificadas de ADN.

¿Acaso hay genes (o alelos) para leer en español? No, el lenguaje en el que alguien lee es un factor de la experiencia, así como los lenguajes son partes de sistemas culturales. ¿Pueden los aspectos de nuestro complemento genético tener un impacto para adquirir habilidades de lectura específicas? Posiblemente. Las diferencias estructurales en los ojos, conectividad motora, e incluso vías hormonales en el cerebro pueden influenciar la velocidad y patrón de adquisición de la lectura. Estas diferencias podrían ser el resultado de variación alélica sobre otros patrones genéticos.

Tratar de conectar los genes y la conducta no es algo simple. Existen componentes genéticos en todos los aspectos de la vida, pero cómo o de qué manera los alelos afectan patrones complejos de conducta está lejos de ser obvio. Si tú escuchas una aseveración acerca de una relación entre los genes y la conducta, tú necesitas pensar críticamente y preguntar: ¿Cuál es el gen o genes involucrados? ¿Cuántos alelos tienen? ¿Cuál proteína o proteínas están siendo codificadas? ¿Cómo estas proteínas tienen efecto al organismo de manera que se ejecuta una conducta específica? Conforme avanzan nuestras habilidades tecnológicas, podríamos ser capaces de disectar el mecanismo de la función de ADN en cuanto a su relación con la conducta, porque debe existir una correspondencia. Pero, por el momento, necesitamos reconocer los límites de nuestra comprensión actual y evaluar cuidadosamente todas esas declaraciones.

Hay un conjunto muy complejo de relaciones entre el fenotipo, por un lado, y el ADN, desarrollo ontogenético, y ambiente otro. Esta vinculación no es lineal, y tampoco puede ser fácilmente descrita como una ecuación simple. No debemos emplear modelos simples, etiquetas, como, por ejemplo, “planos maestros”, “ladrillos de construcción”, o bien “código de la vida”, para describir el ADN y los genes. El ADN es un componente integral de la vida misma, y la comprensión de las unidades de la herencia y de la función del material genético es crítica para el entendimiento de la evolución y del funcionamiento de los organismos. Pero una comprensión de la genética de ninguna manera constituye la imagen completa. Mediante la combinación de nuestro entendimiento del genotipo y el fenotipo, entenderemos mejor cómo la evolución cambia a las poblaciones a través del tiempo.

Ningún individuo es igual a otro, incluso cuando segmentos exactamente iguales de ADN estén involucrados (como, por ejemplo, en las clonas de gemelos idénticos), hay aún muchas complejidades en cómo los genes son expresados. Éstos pueden tener múltiples efectos, los ambientes cambiantes o en desplazamiento que pueden alterar los resultados de la ontogenia, la mutación también puede ocurrir. El número extremadamente grande de variables que participan en la expresión de los genes y la

ontogenia de los organismos asegura que ningún par de individuos, aun copias genéticas como los gemelos idénticos, serán dos personas iguales. Sin embargo, a pesar de esta variación la gente todavía tiende a asemejarse a sus padres; los miembros de una población usualmente se parecen entre sí. Esto se debe a la sorprendente habilidad del sistema genético para regular y corregir errores y preservar el patrón general de la ontogenia razonablemente consistente, y al hecho de que los procesos evolutivos tienden a mantener a los individuos dentro de las poblaciones relativamente similares entre sí.

Una comprensión básica de la genética refiere que somos altamente similares (todos tenemos los mismos genes) y al mismo tiempo individualmente diversos (debido a la variación en los alelos que la gente tiene). Nuestros genes juegan un papel en nuestra ontogenia y funcionamiento, no como directores, sino como parte de un sistema complejo. El entendimiento de la evolución implica la comprensión de la variación al nivel de la genética individual y de la genética a nivel poblacional.

Necesitamos comprender cómo surge la variación y cómo las poblaciones cambian o se mantienen iguales con el tiempo; cómo las variantes específicas (de rasgos genéticos generales) se convierten comunes a través del tiempo. Estos conceptos básicos son indispensables para una comprensión mínima y esencial de cómo funciona la evolución.

## EVOLUCIÓN: LAS BASES

Nuestra comprensión de cómo trabaja la evolución tiene cuatro componentes principales: mutación, flujo génico, deriva génica y selección natural. El primer elemento, la mutación, actúa para crear nueva variación y los otros tres ponen en juego esa alteración y, con ello, moldean a las poblaciones.

La mutación es la única manera de obtener nuevo material genético. Básicamente, la mutación se refiere al cambio químico en el ADN. Hay diversas maneras en que esto ocurre, usualmente son neutrales (lo cual significa que estas modificaciones son invisibles fuera del ADN). Esto es así porque el ADN tiene una serie de mecanismos de autorreparación y porque los mensajes en los genes están dispuestos para ser redundantes, de modo que los cambios químicos pequeños no tienen impacto en la proteína codificada o en el producto regulatorio de un gen. Sin embargo, a veces los tienen, y cuando se presenta se interrumpe la función de un gen (y se altera la producción o la regulación de la proteína), lo cual causa problemas al organismo. No obstante, cada tanto una mutación resulta en una nueva secuencia

(un nuevo alelo), en un gen que, de hecho, produce una proteína con mejor funcionamiento o un nuevo proceso regulatorio. El resultado final es que la mutación ocurre por varias razones (muchas son azarosas con respecto a su localización y patrón), con resultados neutrales o negativos y, en ocasiones, con efectos benéficos.

Es importante considerar que la mutación generalmente resulta en cambios pequeños en la estructura química del ADN, no en modificaciones gigantes en un organismo. Las transformaciones de escala macroscópica se deben a errores en la ontogenia, no a mutaciones genéticas (usualmente). Los cambios más grandes inducidos ontogenéticamente pueden ser heredables, pero comúnmente no lo son. Hay modificaciones en el feto debido a factores que afectan al cuerpo de la madre o posiblemente a un error en el desarrollo embrionario de ciertos tejidos. Un ejemplo dramático es cuando un individuo genéticamente masculino (XY) tiene un error ontogenético en las áreas de los receptores de hormonas y el flujo de testosterona; en la sexta semana de la gestación fetal falla en desencadenar la ontogenia de los testículos y el pene. Éste desarrollará genitales con una apariencia más femenina (lo cual no es heredable, pero muestra mucho acerca de la ontogenia del cuerpo).

Uno de los procesos más soslayados de la evolución es el flujo génico. El flujo génico es el movimiento (o carencia de movimiento) de los alelos dentro y entre las poblaciones. En una población grande pueden existir múltiples alelos para cada gen (pero cada individuo tiene un máximo de dos alelos diferentes por gen), de manera que cada población tiene su propio patrón de representación de alelos específicos. Por ejemplo, tomemos a la especie con el gen A y tres alelos, A1, A2, y A3, cada uno de los cuales produce una proteína que afecta el color del cabello con ligeras diferencias (las proteínas A1 hacen cabello más claro y las proteínas A3 lo hacen más oscuro, mientras que A2 elabora cabello de color intermedio). La población 1 tiene la siguiente representación alélica para el gen A: 80% A1; 15% A2, y 5% A3; el color del cabello de esta población es relativamente claro. La población 2 tiene la variación alélica siguiente: 17% A1; 20% A2, y 63% A3; los individuos en esta población tienen relativamente el pelo más oscuro.

En cada una de estas poblaciones existe variación, con todos los tipos de cabello presentes, sólo que en diferentes frecuencias debido a los alelos subyacentes. Si no existe flujo génico entre las poblaciones entonces estas frecuencias se mantienen iguales (más o menos). Sin embargo, si comienza a establecerse un flujo génico regular (por migración) entre las poblaciones, los patrones de frecuencias alélicas empiezan a balancearse con más A3 provenientes de la población 2 a la población 1 y más A1 moviéndose

desde la población 1 a la población 2, conforme individuos de ambas poblaciones se entrecruzan. El resultado sería que las frecuencias relativas del color del cabello en las dos poblaciones se volverían similares. Así que el flujo génico actúa para hacer que las frecuencias alélicas de las poblaciones (y cualquiera de sus correlatos fenotípicos) sean más parecidas, y una ausencia de flujo génico restringe el potencial de las poblaciones para compartir las mismas frecuencias alélicas.

La deriva génica es el único proceso verdaderamente aleatorio en la evolución. Básicamente, los eventos que alteran las frecuencias alélicas en las poblaciones ocurren casualmente. Por ejemplo, en pequeñas poblaciones los desastres naturales como terremotos e inundaciones eliminan una gran parte de la población, con algunos individuos sobrevivientes, debido al azar. Esto podría modificar radicalmente la composición genética de una población.

Utilicemos el ejemplo del color del cabello, si una pequeña población del organismo con el gen de color de cabello A vive en una isla, sus frecuencias alélicas son: 80% A1; 10% A2, y 10% A3. Si la mayor parte de la población, incluyendo a la gran proporción de los que tienen el alelo A1, vive en la costa norte de la isla (por casualidad) y un tsunami llega a la isla y la arrasa, la población restante provendría de los pequeños grupos del sur de la isla, donde el alelo A1 no es común. Esto implicaría que después del tsunami la población tiene un nuevo conjunto de frecuencias de alelos donde A1-A3 tienen una frecuencia de aproximadamente 33%. La evolución ocurriría, pero no por razones relacionadas con el organismo o los alelos en cuestión. La deriva es más pronunciada en poblaciones pequeñas, porque en conglomerados mayores para cada cambio azaroso en una dirección, muy probablemente habrá una modificación aleatoria en otra dirección.

El proceso llamado selección natural es el que la mayoría de la gente tiene en mente cuando escuchan la palabra “evolución”. La selección natural es el proceso de “descendencia con modificación” propuesto inicialmente por Charles Darwin y Alfred Russell Wallace a mediados del siglo XIX. Desde que se descubrió el ADN se han hecho grandes avances en la comprensión de la genética y los sistemas en desarrollo ontogenético, tenemos una idea mucho mejor de lo que Darwin pudo imaginar con respecto a los procesos que él empezó a vislumbrar. En su versión más básica, la premisa de la selección natural implica lo siguiente:

1. Existe variación biológica en las formas vivientes.
2. Alguna de esta variación puede ser heredada de una generación a la siguiente.

3. En cualquier ambiente dado, algunas variantes ayudan al organismo a dejar más descendencia que otras (en promedio).
4. Aquellas variantes que ayudan a los organismos a funcionar mejor, si son heredables, se volverán más comunes con el tiempo, porque una mayor proporción de la descendencia de la siguiente generación provendrá de padres que tienen esos rasgos.
5. Aquellas variantes que se vuelven más comunes en una población son consideradas como adaptaciones a los contextos ambientales particulares.

Lo anterior parece bastante fácil de comprender, dado lo que ya hemos cubierto acerca del desarrollo y la genética. Cada individuo en una población es ligeramente único y para la mayor parte de los genes, o rasgos, al menos unas cuantas variantes están presentes en una población cualquiera. Si en ciertos contextos la forma de un gen (de hecho, el efecto de su producto proteínico o su efecto regulatorio) resulta ligeramente mejor para que aquellos individuos que tienen ese alelo sobrevivan y se reproduzcan (transmitan el alelo a la siguiente generación), entonces a lo largo de muchas generaciones la población tendrá una mayor cantidad del alelo que proporciona la ventaja reproductiva ligera y las frecuencias alélicas habrán cambiado a través del tiempo (esto es, la evolución habrá ocurrido).

Sin embargo, hay un pequeño problema con esta versión simple: en general, el ADN no suele interactuar directamente con el ambiente; más bien es el organismo completo (el fenotipo, o colección de todos los rasgos) el que interactúa con aquél. Los fenotipos de los organismos pasan a través de una especie de filtro en cada generación, con el éxito diferencial en dejar copias de su genotipo (la genética) en la siguiente. Esto sugiere que primariamente aquellas partes del fenotipo (rasgos) ligadas a la genética están sujetas a la selección natural (aunque esto no agota el escenario completo). Si los fenotipos son paquetes (colecciones de rasgos), y si es el paquete completo el que interactúa con el ambiente, el efecto colectivo de un filtro dado sobre el fenotipo total es lo que establece el éxito diferencial entre los individuos al heredar el ADN en esa población.

Básicamente, la selección natural emerge de las interacciones entre el fenotipo y el ambiente, por ello a algunos fenotipos les va mejor, en promedio, que a otros en un ámbito dado; la base genética (fenotipo) para estos fenotipos se incrementa en generaciones subsecuentes de la población. Es crucial observar que "éxito" en la selección natural significa dejar más descendencia sobreviviente por generación. La selección natural no es una batalla de vida-o-muerte entre individuos en una población



en cada generación, es una larga serie de interacciones en la cual los pequeños cambios reproductivos ventajosos modifican la composición genética (genotipos) y, por lo tanto, la composición física (fenotipos) en una población a largo plazo. Los rasgos específicos (partes del fenotipo) que resultan óptimos en un ambiente dado son llamados *adaptaciones*.

Por ejemplo, cuando decimos que la larga y colorida cola de plumas de un faisán es una adaptación, estamos afirmando que éste es un rasgo que se ha vuelto más prominente a través del tiempo, porque confiere en los faisanes una mejor oportunidad de dejar más copias de su ADN en generaciones subsecuentes. Este es un buen ejemplo de las complejidades, aun a este nivel simple, de la selección natural. Tener un plumaje grande y colorido hace al faisán más susceptible a la depredación (ser engullido por lento y colorido), pero también le ayuda a atraer hembras de faisanes y aparearse. Un rasgo como éste puede ser una adaptación si los poseedores de los ornamentos y notorios plumajes dejan más descendencia que aquellos con plumajes menos impresionantes.

Ésta no es la descripción del poeta inglés del siglo XIX Alfred Tennyson de una "naturaleza salvaje y violenta", según la cual el más fuerte o rápido, incluso el más hermoso, es quien sobrevivirá. En su lugar, un rango de rasgos de la cola emplumada "sobreviven" en la población de faisanes, pero con el tiempo los más notorios se volverán más prominentes en la población de la especie. Esto nos conduce a otra faceta de la selección natural: ésta tiende a disminuir la variación a través del tiempo al rango estrecho de aquellos rasgos óptimos. Por ejemplo, todos los humanos caminamos con dos piernas de una manera bastante similar. Si bien existe mucha alteración en detalles menores de cómo anda la gente (con algunas diferencias interesantes entre hombres y mujeres), la selección natural ha hecho menos visible la variación en el modo de caminar porque ser efectivos en desplazarse en dos piernas es un rasgo muy importante para nuestro funcionamiento básico.

Esto nos lleva al componente central de la selección natural, es decir, que la evolución se relaciona con la función. El flujo génico y la deriva génica no son necesariamente rasgos relacionados con la función; estas fuerzas propician cambios con el tiempo sin relación con aquello que hacen los rasgos y con los alelos a los cuales afectan. Esto no es así con la selección natural. La evolución de la selección natural es la filtración ambiental a través de las generaciones de los rasgos que tienen mejor función, o de los complejos genéticos que la poseen, de modo que los resultados de la selección están ligados a aquello que los rasgos llevan a cabo. Así, los rasgos que aparecen por selección natural son llamados adaptaciones, porque fueron moldeados con el tiempo por el "ajuste" entre lo que realizan y los



ambientes donde existen. Esto significa la frase “sobrevivencia del más apto”, es decir, que aquellos rasgos que se vuelven más comunes debido a la selección natural son los que se adaptan mejor en un ambiente dado. Sin embargo, lo que ocasiona un buen ajuste en un ambiente podría no funcionar en uno diferente. No estamos hablando acerca de sobrevivencia en el sentido de experiencia vivida, sino de representación numérica a través de las generaciones en ámbitos particulares.

La mutación introduce variación, el flujo génico y la deriva génica mezclan esta alteración entre sí, y la selección natural moldea la variación en relación con las restricciones y las presiones en el ambiente. A veces estos procesos entran en conflicto entre sí, pero también trabajan juntos. No hay un objetivo definido para la evolución, cada generación responde a las presiones actuales con cualquier variación que esté disponible en ese momento y transmite un subconjunto de dicha variación a la siguiente generación. Con el tiempo (muchas generaciones) el rango de variación y las presiones que conforman la estructura de las poblaciones se modifica dependiendo de los escenarios y de las interacciones de los individuos en el ambiente. Esta es una descripción muy básica de los procesos centrales de la evolución. Sin embargo, para entender mejor la relación entre los humanos y la evolución, en correspondencia con nuestro proyecto de derrocamiento de mitos, necesitamos añadir algunas perspectivas más novedosas acerca de la evolución.

Probablemente una de las mayores e importantes innovaciones en la teoría evolutiva en décadas es el término de construcción de nicho. Formalmente propuesto por el antropólogo biológico John Odling-Smee y los biólogos Kevin Laland y Marcus Feldman, la construcción de nicho es el concepto que establece que los organismos y sus ambientes interactúan y se moldean mutuamente a través del tiempo evolutivo. De acuerdo con las suposiciones tradicionales sobre la selección natural, el ambiente actúa como un filtro y restricción sobre los organismos y provoca cambios funcionales. Cuando se agrega la construcción de nicho, los organismos obtienen un papel activo para dar forma al ambiente en respuesta a las presiones que éste ejerce. Esto lleva a una interacción organismo-ambiente que es dinámica en lugar de ser estática.

Consideremos, por ejemplo, a los gusanos de tierra. Cuando se introducen lombrices en una nueva porción de suelo ellos experimentan un reto por la tierra y su consistencia química. Conforme los gusanos se mueven, ingieren y excretan (así es como se alimentan) parte de esa materia orgánica, este proceso altera la configuración química del suelo y su consistencia, cambiando las presiones que el ambiente edáfico ejerce sobre generaciones subsecuentes de lombrices en la misma localidad.

Otro ejemplo son las presas levantadas por castores, la elaboración multigeneracional de nidos de aves e, inclusive, la fabricación de herramientas de los simios. Básicamente, la construcción de nicho resulta en una herencia ecológica (producto de interacciones previas entre organismos y ambientes) que se despliega a lo largo de y en paralelo a la herencia genética. Esto da como resultado un conjunto más complejo de interacciones organismo-ambiente que aquel que se vislumbraba originalmente a través de la selección natural básica. Por supuesto, debería ser obvio que por sobre todos los casos, los humanos se involucran en una construcción de nicho sustancial que afecta las maneras en las cuales pueden interactuar con el ambiente:

La teoría de construcción de nicho puede ser particularmente relevante para la dinámica de los rasgos culturales dado que la teoría puede incorporar los efectos del trasfondo cultural como una forma de nicho construido [Kevin Laland, biólogo; Jeremy Kendal, antropólogo, y Gillian Brown, psicóloga].

Kevin Laland y sus colegas señalan que la herencia de contextos ecológicos a través de la cultura material humana (herramientas, vestimentas, asentamientos, etcétera), y la construcción de nicho en general, pueden darse por medios culturales. En este caso, los humanos son vistos como los constructores de nicho por excelencia, y los procesos culturales proporcionan un método amplio de construcción de nicho. La construcción de nicho juega un papel crucial en la evolución humana por medio de nuestra habilidad para modificar nuestro entorno con la conducta. Simplemente pensemos en la agricultura, la edificación de casas y pueblos, y la extracción de minerales para producir hierro y acero. Es importante observar que los procesos evolutivos (la selección natural y el flujo génico específicamente) pueden transformarse conforme ocurren vía construcción de nicho.

Esta idea de que la conducta humana tiene un impacto sobre las presiones evolutivas también es invocada por los impulsores de la evolución genocultural. Se argumenta que la innovación cultural y la actividad forman parte del ambiente y como un mecanismo para la construcción de nicho que influye la interacción entre la selección natural y el flujo génico con las poblaciones humanas. Pensemos acerca del advenimiento de la agricultura y la vida en poblados y en el modo como esos aspectos culturales alteraron las presiones de selección natural y los patrones de flujo génico (los cuales a su vez impactarían en los rasgos genéticos y fenotípicos de las poblaciones). La agricultura evitó la presión de obtener alimentos silvestres pero requirió de tiempo y energía, además de un compromiso social para mantenerse en el mismo lugar por largos periodos. Los poblados acumularon

conglomerados grandes de personas, lo cual repercutió en el cultivo de plantas y la defensa del grupo, pero incrementó radicalmente los riesgos de transmisión de enfermedades.

Otro agregado importante a nuestra comprensión de los procesos evolutivos es el concepto de sistemas de herencia más allá del ADN, propuesto por las biólogas Marion Lamb y Eva Jablonka. Las autoras argumentan que debe reconocerse una “evolución en cuatro dimensiones”, en vez de enfocar la atención sólo en una. De acuerdo con estas investigadoras, los practicantes de las aproximaciones evolutivas tradicionales suelen centrarse sólo en un sistema de herencia: el genético. Jablonka y Lamb sostienen que debemos desarrollar una nueva perspectiva incluyendo otros tres sistemas de herencia que pueden tener papeles causales en el cambio evolutivo: los sistemas epigenético, conductual y de herencia simbólica.

La herencia genética se encuentra en todos los organismos, la herencia conductual en la mayor parte y la herencia simbólica sólo en los humanos. Mientras que no se niega la importancia de la herencia genética en el proceso evolutivo, este concepto de herencia multidimensional, así como la construcción de nicho y la evolución gen-cultura, indican que en muchos organismos (especialmente humanos) la conducta y la alteración del ambiente pueden jugar papeles relevantes en la manera como el cambio biológico ocurre a través del tiempo. El concepto de herencia simbólica (usualmente en la forma de construcciones culturales) puede impactar sobre la transformación biológica por medio de la conducta y la actividad de los individuos.

Nuestra comprensión básica de la teoría evolutiva (es decir, de cómo funciona la evolución) en la primera parte del siglo XXI puede resumirse así:

1. La mutación introduce variación genética, la cual puede introducir variación fenotípica.
2. Los procesos ontogenéticos pueden introducir variación fenotípica más amplia, la cual puede ser heredable.
3. El flujo génico y la deriva génica mezclan la variación genética (y potencialmente sus correlatos fenotípicos) sin relación alguna con la función de dichos genes o rasgos.
4. La selección natural moldea la variación fenotípica y fenotípica en respuesta a restricciones específicas y presiones en el ambiente.
5. En el transcurso del tiempo, uno o más de los procesos mencionados pueden afectar a una población.
6. La interacción dinámica organismo-ambiente puede resultar en construcción de nicho y en presiones cambiantes de selección natural, así como en herencia ecológica.

7. Los patrones culturales y contextos pueden impactar en el flujo génico y las presiones de la selección natural, los cuales, a su vez, afectarían la evolución genética (coevolución gen-cultura).
8. Los múltiples sistemas de herencia (genética, epigenética, conductual y simbólica) pueden proveer información y contextos que permitan a las poblaciones mutar con el tiempo o evitar ciertos cambios.

#### REVISIÓN DE LAS CONCEPCIONES ERRÓNEAS SOBRE GENÉTICA, EVOLUCIÓN Y BIOLOGÍA

Dado lo revisado en este capítulo, corresponde repasar algunas de las suposiciones centrales sobre genética y evolución que han sostenido los mitos sobre la naturaleza humana que tratamos de socavar. El primero de ellos y el que se invoca con mayor frecuencia de manera incorrecta es el concepto de sobrevivencia del más apto. Éste se refiere sólo al producto de la selección natural, no a los otros procesos de la evolución. Esta es una visión limitada de lo que el cambio evolutivo puede producir. La mayor parte de la gente considera que dicho término significa que hay una batalla por la sobrevivencia entre los individuos, y que los “mejores” (usualmente más fuertes, rápidos, inteligentes, etcétera) sobrevivirán en la competencia y heredarán sus genes a la siguiente generación. Así no funciona la selección natural.

En un sentido evolutivo, el “ajuste” significa la posesión de un rasgo, o colección de rasgos que, en cierto ambiente, puede proporcionar al individuo una mejor oportunidad de heredar su ADN a la siguiente generación (en promedio) en relación con otros individuos que carecen de esos rasgos (o de las mismas variantes en esos rasgos). La mayor parte de la selección resulta no de una competencia directa entre individuos, sino de un filtro ambiental a través del cual las poblaciones pasan a través de cada generación.

Esto es menos llamativo y menos centrado en la competencia de lo que suelen ser las percepciones comunes de la selección natural. Si hay una variación sustancial en un rasgo específico, y éste es heredable, la selección favorece ciertos patrones a través del tiempo. Sin embargo, si el rasgo es menos alterable, o si hay un número de variantes a las cuales les va bien, entonces no habrá mucha selección diferencial entre individuos. Por ejemplo, en los humanos el rasgo de caminar en dos piernas (bipedalismo) es ubicuo. A pesar de que existe mucha variación en cómo camina la gente, la mayor parte de nosotros lo hacemos suficientemente bien como para que esto inhiba nuestras oportunidades de reproducirnos. Hay muchos rasgos

moldeados por la selección en el pasado que retienen la variación, pero todas las variables son efectivas de modo que la selección no es una presión importante sobre la variación existente.

La segunda clarificación nos regresa al *Cándido*, de Voltaire, y a su aseveración en boca del filósofo ficticio Pangloss de que vivimos en el mejor de todos los mundos posibles y las cosas son como se supone que deberían ser. Esta declaración es poderosa si asumimos que lo que percibimos como “evolucionado” (producido como resultado de la evolución) es el mejor estado para aquella cosa. Esta suposición no es controversial cuando pensamos acerca de las piernas y el acto de caminar, pero es más complicada cuando reflexionamos acerca de los roles de género y del modo como los hombres y las mujeres buscan participar en actividades sexuales.

Si invocamos una explicación evolutiva para algo (como en asuntos relacionados con raza, agresión y sexo), usualmente equiparamos aquello con cierta sincronía con la naturaleza. Una de las construcciones culturales propias de nuestra sociedad es asignar cierto valor intrínseco a cosas que consideramos naturales (aquellas que están fuera del control humano) como opuestas a cosas que observamos que son alteradas por la sociedad humana y las costumbres. Es fácil argumentar que caminar en dos piernas es natural para los humanos, pero hacerlo sobre las palmas de las manos es también natural (nuestras manos aparecieron a través de procesos ontogenéticos similares a los de nuestros pies, pero no es tan práctico).

Debemos tener extremo cuidado cuando argumentamos que algo es “natural”, o bien la manera como deberían ser las cosas. Asumir que algo es natural no necesariamente significa que está “ajustado” o es “correcto”; tampoco que los contextos sociales e históricos no tuvieron una participación para darle forma. Este asunto será muy obvio en algunas de las suposiciones centrales para cada mito que trataremos de derrocar.

Una tercera clarificación se relaciona con lo que las personas piensan que los genes realmente hacen, y las relaciones entre genes, rasgos y conductas. Mucha gente considera que los genes son la principal causa de cómo somos, de nuestra apariencia y de cómo nos comportamos. A esta postura se le llama determinismo genético y, en gran parte, está equivocada. Sin embargo, esto no significa que nuestros genes no están involucrados de un modo importante en nuestros cuerpos y conductas, es sólo que no lo están de manera azarosa.

La conclusión es que la genómica es complicada, pero todos somos capaces de comprender sus aspectos básicos. Los genes contienen la información para la producción de las proteínas y, en algunos casos, para la regulación del funcionamiento genético. La mayor parte de los genes

aparecen en formas múltiples, los cuales generan proteínas ligeramente disímiles o acciones regulatorias. La mayoría de los productos génicos actúan conjuntamente con otros aspectos del cuerpo durante la ontogenia y a través de la vida del organismo. Los cambios en la frecuencia de las diferentes formas de los genes en las poblaciones constituyen una de las maneras como medimos la evolución en acción, esto ayuda a entender por qué existen divergencias entre poblaciones de humanos.

Los genes son importantes en la comprensión de la humanidad, pero no son planes maestros, o causas, de nuestros modos naturales de ser como individuos. Debemos recordar que el ADN no es la única forma de herencia. Existen patrones de desarrollo ontogenético que son transmitidos y un conjunto de factores no genéticos (psicológicos, culturales e históricos) que también son heredados y no están atados a nuestro ADN.

En relación con las vinculaciones entre el ADN, la ontogenia y nuestro fenotipo, debemos recordar que muchos rasgos (tanto en la estructura de nuestros cuerpos como en nuestra conducta) son considerados neutros en correspondencia con la selección natural. Si no hay una conexión clara con las modificaciones en la tasa de eficiencia del paso del ADN de una generación a otra, la selección natural ni siquiera “ve” dicho rasgo. Estos rasgos no son funcionales desde un punto de vista evolucionista. Mucha de la variación en rasgos que observamos en humanos no está distribuida por la selección, sino por procesos de cambio que no están relacionados con su función evolutiva. Una buena cantidad de aquello que consideramos variación biológica en humanos (usualmente aceptada como “natural”) es neutra.

Un ejemplo de lo anterior es una de las particularidades definitorias de los humanos modernos: nuestra barbilla. Esta protuberancia en la mandíbula inferior es una de las pocas características claras que nos separan previamente de homínidos como los neandertales, pero es un producto secundario de la selección sobre otras partes de la mandíbula y el cráneo. La barbilla, en tanto rasgo o carácter, es neutral y no es objeto de selección, sin embargo, se mantiene como un rasgo diagnóstico en la definición de la humanidad. Este punto —es decir, los rasgos biológicos pueden ser neutros con respecto a la selección— probará ser crucial para derrocar ciertos mitos acerca de la naturaleza humana.

La comprensión de lo que la evolución sí es y cómo la genética se relaciona con ella, nos proporciona una mejor habilidad para evaluar las declaraciones acerca de qué formas y funciones han emergido a partir de las historias biológicas humanas y cómo aquellas pueden estar conectadas con los patrones básicos del ser humano. Podemos evitar caer en la trampa de “esto evolucionó para” y dar un paso atrás para formular preguntas

efectivas acerca de cómo se transforman los humanos y cómo dicha variación puede tener nexos con nuestras historias biológicas y evolutivas.

LA LÍNEA BASE: ¿QUÉ NECESITAMOS SABER SOBRE EVOLUCIÓN Y GENÉTICA?

La genética y la estructura de nuestros cuerpos son factores de gran relevancia en la configuración de quiénes somos y cómo nos comportamos. Los procesos evolutivos tienen influencia sobre la genética, la ontogenia y el funcionamiento de nuestros cuerpos, que interactúan con las facetas culturales, ecológicas e históricas de la humanidad, para constituir un componente principal de la comprensión de cómo los humanos tenemos la apariencia y la conducta que tenemos. De hecho, así es, la evolución importa.

Aquí presento los conceptos centrales sobre la evolución para usar en nuestra caja de herramientas para el derrocamiento de mitos acerca de la naturaleza humana:

1. La evolución es cambio a través del tiempo. Específicamente, es una transformación en el genotipo y en el fenotipo a través de las generaciones, debido a una variedad de procesos.
2. La mutación genera nueva variación genética. El flujo génico y la deriva génica movilizan esa variación entre las poblaciones y la selección natural moldea la variación en respuesta a las presiones ambientales.
3. La teoría de construcción de nicho sugiere que los humanos y sus ambientes son participantes interactivos en los procesos evolutivos a través de la herencia ecológica. La teoría de la herencia múltiple ilustra que la herencia evolutivamente relevante puede tener lugar en los niveles genético, epigenético, conductual y simbólico.
4. Nuestro ADN, por sí mismo, no determina quiénes somos o cómo nos comportamos, pero es un componente principal, primario en la ontogenia y mantenimiento de nuestros cuerpos y conductas. Los genes contienen las instrucciones básicas para los ladrillos de construcción (proteínas) de los sistemas biológicos. Los genes y nuestro fenotipo están conectados, aunque no en una relación uno-a-uno, y son influenciados por procesos evolutivos.

El primer concepto es importante porque clarificar lo que la evolución es constituye la base necesaria para formular cualquier pregunta acerca de la naturaleza humana. El segundo término es relevante porque involucra el

entendimiento tradicional de cómo trabaja o funciona la evolución, mientras que la tercera noción añade perspectivas críticas nuevas y robustece nuestras habilidades para hacer preguntas acerca de los humanos. Finalmente, la cuarta idea nos recuerda que no debemos buscar explicaciones genocéntricas para la condición humana, pero cuando elaboramos nuevas explicaciones y derrocamos las antiguas, debemos mantener a la genética y a las facetas biológicas de los procesos evolutivos como componentes centrales de nuestro cajón de herramientas explicativas.