

DRAKONTOS

El factor X

SOBRE LA SUPERIORIDAD
GENÉTICA DE LA MUJER



Sharon Moalem

CRÍTICA

EL FACTOR X

Sobre la superioridad genética de la mujer

Sharon Moalem

Traducción castellana de
Claudia Patricia Pérez Esparza

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: febrero de 2021

El factor X. Sobre la superioridad genética de la mujer
Sharon Moalem

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra. Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

Título original: *The better half: on the genetic superiority of women*

© Sharon Moalem, 2020

© de la traducción, Claudia Patricia Pérez Esparza, 2021

© Editorial Planeta, S. A., 2021
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9199-274-5

Depósito legal: B. 21.783-2020

2021. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas S. A.

El papel utilizado para la impresión de este libro está calificado como papel ecológico y procede de bosques gestionados de manera sostenible.

Los hechos de la vida

Este es un libro sobre opciones. No sobre aquellas que tomamos de manera consciente cada día, sino de las biológicas, que tienen lugar segundo a segundo en cada mujer genética. Este fenómeno comienza en el instante mismo en que el óvulo de una madre acepta el espermatozoide de un padre y da inicio el proceso de fertilización.

He aquí algo de biología básica que será necesaria mientras desarrollo mi argumento:¹ cada célula humana tiene un total de cuarenta y seis cromosomas. Dos de ellos son los cromosomas sexuales: si has heredado un par XX, entonces eres una mujer genética, y si has heredado un par XY, entonces eres un varón genético.* Como un conjunto enciclopédico de manuales de instrucciones, nuestros veintitrés pares de cromosomas tienen en su interior genes que proporcionan la información genética que hace posible nuestra vida. Se cree que tenemos un total de aproximadamente veinte mil genes repartidos en nuestros veintitrés pares de cromosomas. Aun cuando algunos de nuestros cromosomas contienen más genes unos que otros, cada uno de ellos es tan significativo como el otro.

* Como mencioné en la introducción, se pueden heredar muchas variaciones de los cromosomas sexuales. Estos incluyen variaciones tan raras como 45,XO, que se llama síndrome de Turner; 47,XXX, que se llama síndrome triple X; 47,XXY, que se llama síndrome de Klinefelter; 47,XYY, que se llama síndrome de Jacob; 48,XXXX, que se llama tetrasomía X; y 49,XXXXX, que se llama pentasomía X.

En su mayor parte, cada uno de los veintitrés pares de cromosomas comparte versiones de los mismos genes, excepto si tú eres un varón genético y has heredado una X y una Y. El cromosoma X contiene casi mil genes, pero el cromosoma Y tiene solo alrededor de setenta, la mayoría de los cuales están involucrados en la producción de espermatozoides.* Durante muchos años se pensó que uno de los genes en el cromosoma Y era también responsable del exceso de vello encontrado en el oído de los varones a medida que envejecen, cuyo término médico es *hipertrichosis auricular*. Estudios más recientes han sugerido que ni siquiera esta habilidad tan poco glamurosa se puede atribuir únicamente al cromosoma Y.

Incluso sin comprender todos los procesos científicos que tienen lugar durante la concepción, hemos llegado a un punto en nuestra evolución como especie en el que las relaciones sexuales ya no son necesarias para tener un bebé. Estamos en camino de dominar las artes de la concepción manipulada.² Aunque en su día fuera un concepto más propio de la ciencia ficción, las tecnologías de reproducción asistida —a través de la cual pueden fertilizarse óvulos humanos fuera del cuerpo en condiciones de laboratorio extremadamente estériles— son ahora comunes. Pero somos capaces de mucho más. Podemos crear un niño usando el material genético y celular de tres padres diferentes e incluso editar nuestro propio ADN.

Sin embargo, el denominado proceso *natural* es cualquier cosa menos simple. Alrededor de quinientos millones de espermatozoides comienzan el viaje hacia el óvulo, nadando por el tracto reproductivo de una madre a una notable velocidad. Se mueven a través de su cuello uterino y su útero, y eventualmente dentro de una de sus dos trompas de Falopio. Allí se encuentran con un óvulo. Y en función de si el único espermatozoide que se abre paso con éxito a través de las capas

* Investigaciones recientes están descubriendo nuevas implicaciones para la salud de muchos de los genes encontrados en el cromosoma Y. Desafortunadamente para los varones genéticos, la mayoría de las noticias no han sido positivas. Parte de la información genética en el cromosoma Y se ha implicado en todo, desde el aumento de la inflamación hasta la supresión de la respuesta adaptativa protectora del sistema inmunitario, e incluso a un mayor riesgo de enfermedad arterial coronaria.

externas de ese óvulo lleva un cromosoma X o Y, se desencadenará un curso genético que determinará nuestro destino biológico. Todo, desde tu riesgo de desarrollar cáncer o una afección neurológica, como la enfermedad de Alzheimer, hasta tu capacidad para combatir las infecciones virales, se decide en ese mismo momento, dependiendo del conjunto de cromosomas sexuales que hayas heredado: XX (femenino) o XY (masculino).

Tu sexo biológico no siempre es igual a tu género.³ El género no depende de tus cromosomas sexuales, sino de tu sentido de masculinidad, feminidad o cualquier cosa intermedia o más allá. El género es el autoconcepto y la autoidentificación de un individuo, así como el papel que un individuo puede asumir en la sociedad. El género a menudo se asigna a los niños al nacer a partir de los cromosomas sexuales y la anatomía genital externa. Esto puede suceder incluso mucho antes del momento del nacimiento, por ejemplo, después de una ecografía o de la prueba cromosómica de un feto a partir de un análisis de sangre en la madre.

Los individuos pueden aceptar o cambiar su género con fluidez, que puede no coincidir con el asumido en algún otro momento a lo largo del curso de la vida. Sin embargo, cuando se trata de los cromosomas sexuales y sus inmensos efectos en nuestras vidas, no hay otra opción. Un individuo no elige heredar un cromosoma Y o dos cromosomas X o una combinación de ambos.

Cuando se trata de la diferenciación sexual en humanos, pueden darse variaciones genéticas dentro de los genes que alteran el curso del desarrollo físico. El gen *SRY*, que se encuentra solo en el cromosoma Y, juega un papel crucial en la diferenciación sexual, ya que desencadena el proceso de creación de testículos a partir de las gónadas bipotenciales en el feto, que luego secretan testosterona. Esta cascada de desarrollo celular desencadenada por el gen *SRY* también da como resultado el desarrollo de los genitales externos masculinos. Pero si las células de una persona con un cromosoma X y un cromosoma Y no pueden responder a la testosterona, en estos raros casos se desarrollarán externamente como mujeres, pero internamente con testículos y sin útero, trompas de Falopio o cuello uterino. Esto es exactamente lo que sucede en el caso del síndrome de insensibilidad com-

pleta a los andrógenos (SICA), una condición genética que resulta de una mutación heredada en el receptor de andrógenos o gen *AR*. La mayoría de estas personas XY no saben que tienen SICA hasta que empieza la pubertad y no comienzan a menstruar.

En raras ocasiones, un bebé nacido con dos cromosomas X puede desarrollarse físicamente a lo largo de una vía de desarrollo genético masculino.⁴ Esto puede suceder cuando una pequeña parte del cromosoma Y que alberga el gen *SRY* se hereda junto con dos cromosomas X. Aunque es poco común, es posible que un niño se desarrolle externamente e internamente como un hombre sin el gen *SRY* o ninguna parte del cromosoma Y. Estuve involucrado en el descubrimiento de una vía alternativa excepcionalmente rara de desarrollo sexual en un niño llamado Ethan, que nació como un varón biológico, con dos cromosomas X y ningún gen *SRY* o cualquier otro factor genético que causara la reversión sexual, algo que se pensaba que no era genéticamente posible. Lo que descubrimos fue que Ethan tenía una duplicación del gen *SOX3*, lo que en su caso convirtió a una mujer genética XX en un varón físico. Se cree que el gen *SOX3* es el predecesor genético de *SRY*, y ambos desempeñan un papel crucial en la diferenciación sexual.

El desarrollo sexual humano es complejo. Incluso hoy en día, los genetistas y los biólogos del desarrollo todavía están tratando de desenredar los caminos aparentemente interminables de diferenciación sexual. Sabemos que el sexo cromosómico y las diferencias basadas en él son biológicas. Y esta es la razón: los óvulos femeninos humanos contienen solo un cromosoma X y, por lo tanto, es el esperma masculino el que determinará el sexo biológico del niño. Si un espermatozoide lleva un cromosoma Y, la mayoría de las veces se desarrollará eventualmente un niño genético. Y todas las células dentro de ese niño tendrán que usar el mismísimo cromosoma X: aquel que heredó de su madre. Por otro lado, si ese espermatozoide lleva un cromosoma X, entonces el óvulo fertilizado se desarrollará a lo largo de un camino genético preprogramado como una mujer.

Durante la mayor parte de la historia humana, simplemente no sabíamos cómo se determinaba el sexo de un niño o, al menos, no teníamos las herramientas para probar, con certeza científica, cómo se diferenciaba el sexo. Había muchas teorías, y miembros respetados de

muchas culturas se basaban en las señales de los dioses o elaborados calendarios lunares. Algunas personas en la India continúan confiando en los antiguos remedios ayurvédicos en un intento por asegurar el nacimiento de un niño. Incluso algunas mujeres religiosas me han dicho que se les ha animado a centrarse en las imágenes de los santos mientras tienen relaciones sexuales para maximizar la probabilidad de concebir un hijo santo.



Históricamente, la importancia de tener un hijo varón (en particular, en una sociedad patriarcal donde la herencia de propiedades y estatus se transfería de manera exclusiva a través de un heredero varón) llevó a las personas a intentar casi cualquier cosa para influir en el resultado a favor de XY.⁵ Hace más de dos mil años, Aristóteles dirigió su atención a este problema, quizá a instancias de algunos mecenas varones mayores que querían asegurarse de que contarían con un heredero varón. Él ya estaba fascinado con los orígenes embriológicos de los animales y se había convertido en un ávido coleccionista y disector de cualquier embrión con el que se encontrara. Especialmente abundantes, dado su tamaño relativo y fácil acceso, estaban los óvulos fertilizados de la gallina común domesticada.

Aristóteles documentó sus hallazgos en las páginas de *Sobre la generación de los animales*, publicado a mediados del siglo IV a. C.⁶ En él, Aristóteles describe con precisión, según los estándares científicos actuales, algunas de las variaciones al comienzo de la vida. Propuso la teoría —correcta— de que algunos animales (como los pollos que diseccionaba) nacen de huevos, mientras que los mamíferos con placentas entran a este mundo al nacer ya como un ser vivo, y otros, como los tiburones, pueden tener huevos que realmente eclosionan dentro de ellos. Se considera que Aristóteles fue la primera persona en descubrir el propósito de la placenta y el cordón umbilical.

Pero cuando trata de responder a cómo divergen el desarrollo masculino y el femenino, las teorías de Aristóteles no han envejecido bien. Él plantea que es la cantidad de *calor* que proporciona la pareja masculina durante el coito lo que más tarde determinará el sexo del

niño. Se pensaba que una cantidad específica de calor era una sustancia energética necesaria para que todos los bebés se desarrollaran. Cuanto más calor proporcionara el padre al embrión, más probabilidades habría de que el embrión se convirtiera en niño. Si no había suficiente calor, se convertiría en niña. Después de todo, los hombres gobernantes de la época pensaban que las mujeres eran varones a medio hornear. Cuanto mayor fuera el calor de los fuegos avivados por la pasión, más probable era que una mujer tuviera un hijo varón.

¿Qué hacer, entonces, cuando no había suficiente pasión en el momento, o el hombre era tal vez demasiado viejo para alcanzar una gran excitación, pero aun así quería asegurarse un heredero varón? La solución de Aristóteles fue simple: la pareja debía tratar de concebir durante los meses más cálidos del año, y era el verano, por supuesto, el momento ideal. Antes de descartar esto como pura charlatanería, hay que decir que Aristóteles no iba del todo mal encaminado cuando dedujo que el *calor* desempeñaba un papel en la determinación del sexo de un niño. Simplemente, no funcionaba así en los humanos.

Cuando se trata de algunos vertebrados, como caimanes, tortugas y algunos lagartos, la temperatura de incubación de sus huevos fertilizados puede influir en el sexo de sus crías. Las temperaturas más altas pueden favorecer el desarrollo masculino en los cocodrilos, así como en el fósil viviente tuátara, un reptil endémico de Nueva Zelanda. Aunque para muchas otras especies de vertebrados, como la tortuga de estanque europea y la tortuga mora, las temperaturas más altas durante la incubación en realidad conduce a tener hembras.

La idea de *hornear* a un hombre persistió durante mucho tiempo e incluso fue adoptada por la Iglesia cristiana primitiva. Puede ser difícil de creer, pero todavía hay personas que piensan que exponer a una mujer a mucho calor —no solo durante la concepción sino también durante todo el embarazo— incrementa las probabilidades de tener un niño.

La primera vez que escuché las creencias sobre el calor durante el embarazo fue de boca de una paciente embarazada llamada Anna. Con tres niñas en casa, y su pareja como el único varón de la familia, Anna tenía la esperanza de que ese cuarto bebé fuera un niño.

Cuando la conocí, me dijo que no estaba disfrutando mucho el embarazo. Anna estaba bajo una increíble presión. Su suegra estaba convencida de que más calor produciría un hombre, y le compró a su nuera una medicina ayurvédica destinada a elevar la temperatura interna de su cuerpo.

Desafortunadamente, el embarazo y muchas de estas hierbas medicinales no deben mezclarse, incluso si las tinturas y los tés son de origen natural.⁷ De hecho, Anna tuvo un niño unos meses después. El bebé tenía múltiples anomalías congénitas, que muy probablemente habían sido causadas por los efectos teratogénicos del elixir que había estado tomándose.

Más de mil años después de Aristóteles, a medida que la ciencia de la medicina (dirigida casi en su totalidad por hombres) avanzaba en su comprensión de numerosos fenómenos importantes —desde la descripción que hizo el médico inglés William Harvey de la circulación de la sangre en el siglo xvii hasta el uso pionero de Edward Jenner de una vacuna contra la viruela en el siglo xviii, e incluso el descubrimiento y uso de imágenes de rayos X por el premio Nobel Wilhelm Conrad Röntgen a fines del siglo xix—, todavía no existía un consenso científico acerca de la manera de determinar los sexos. De hecho, la mayor parte de la historia genética de hombres y mujeres ha sido escrita y reescrita por hombres, y esto, en mi opinión, ha impactado negativamente en la manera en que hemos llegado a tratar a ambos sexos desde una perspectiva médica.

Después de estrechas visiones sobre los orígenes y las diferencias entre hombres y mujeres, nuestra comprensión de las bases cromosómicas del sexo por fin comenzó a tomar forma a principios del siglo xx, y tuvo lugar como resultado de los descubrimientos realizados por mujeres científicas pioneras. Una de ellas fue Nettie Stevens.⁸

Mientras Stevens estudiaba los cromosomas del gusano de la harina, descubrió lo que se les había escapado a otros durante tanto tiempo. Sus gusanos de la harina revelaron que tanto la hembra como el macho de la especie tenían veinte cromosomas (por otro lado, como recordará, los humanos tienen cuarenta y seis cromosomas en total). Pero en los varones, uno de los veinte cromosomas era mucho más pequeño que los otros. Lo que Stevens había descubierto era el cromosoma Y.

En su histórico artículo en 1905, Stevens postuló y luego describió la determinación del sexo cromosómico. Su trabajo explicó por primera vez que las mujeres tienen un complemento cromosómico sexual XX, mientras que los hombres tienen un XY. Stevens consideró que esta diferencia era la que dividía a los sexos por sus caminos únicos de desarrollo.

Mientras fui estudiante en la universidad nunca supe de Stevens. Me dijeron que nuestra comprensión de los cromosomas sexuales se debía a otra persona: Edmund Beecher Wilson, un contemporáneo de Steven y genetista de alto rango que fue presentado como el creador del concepto del sistema de determinación de cromosomas sexuales. Lo que mi libro de texto omitió fue que Beecher tuvo acceso a los resultados de la investigación de Stevens antes de su publicación. Además, su trabajo (ahora con resultados similares al de Stevens) se publicó apresuradamente en el *Journal of Experimental Zoology* de agosto de 1905, una revista científica en la que Beecher colaboraba dentro del comité editorial.

Otra mujer científica que no siempre recibe el debido reconocimiento es la genetista inglesa Mary F. Lyon.⁹ Su investigación fue crítica y merece atención durante nuestra breve introducción. Lyon sacudió el mundo de la genética cuando publicó un artículo en *Nature* en 1961. En solo una página, cambió nuestra manera de pensar y comprender la genética para siempre, y las implicaciones de sus hipótesis y hallazgos todavía se están investigando hoy en día. Gracias a sus estudios sobre el color del pelaje en ratones, Lyon proporcionó la base para nuestra comprensión de cómo los hombres y las mujeres difieren genéticamente. Describió la «inactivación del cromosoma X», lo que significa que uno de los dos cromosomas X en las células femeninas se inactiva *al azar* y se silencia durante el primer período de desarrollo, antes de que una madre se dé cuenta de que está embarazada.

Lo sorprendente es que han pasado más de cincuenta años desde el visionario artículo de Lyon, y la verdad es que todavía no entendemos todos los pasos involucrados en la inactivación o silenciamiento del cromosoma X. ¿Cómo elige una célula entre dos cromosomas X al comienzo de la vida? ¿Es una competencia? ¿Cómo se suprime la inactivación de X en hombres genéticos que son XY?

Uno de los desafíos es que este enigmático proceso está oculto a la vista. Creemos que ocurre alrededor del punto de desarrollo cuando solo hay veinte células, después de que el óvulo se incrusta en el útero. Una forma de resolver este enigma sería trabajar con embriones humanos *in vivo*, pero eso conlleva sus propios desafíos éticos.

En esta etapa tan temprana del embarazo, el grupo de células que eventualmente formará un bebé ya tiene un sexo cromosómico, sea XX o XY.¹⁰ Sin embargo, solo dentro de cada una de las XX células femeninas comienza a ocurrir un proceso de inactivación de X. Y las XX células femeninas hacen que todas sus X se inactiven en el útero, lejos de los indiscretos ojos científicos. Esa es la razón por la que todavía hay muchas cosas que desconocemos en lo que se refiere a la inactivación de X en las células humanas.

Lo que sí sabemos es que las células humanas usan un gen de ARN llamado *transcriptor específico de X-inactivo*, o *XIST* [por sus siglas en inglés], que se encuentra en el cromosoma X y produce un andamiaje que cubre el cromosoma X que pronto será silenciado de arriba abajo. Durante esta fase temprana de desarrollo, ninguno de los cromosomas X está silenciado, y ambos expresan el *XIST*, pero al final solo uno de ellos será sometido y silenciado. Como las células masculinas por lo general no tienen más de un cromosoma X, el proceso de inactivación de X no tiene que ocurrir dentro de ellas.

Entonces ¿cuál de los dos cromosomas X femeninos es silenciado? En su mayor parte, el superior de entre los dos evade el *XIST* y se mantiene activo. He tenido pacientes femeninas, por ejemplo, que tenían un cromosoma X que estaba dañado o presentaba alguna anomalía, y dentro de sus células era este cromosoma X dañado el que siempre se silenciaba y se volvía inactivo de manera preferente. El andamiaje *XIST* funciona apretando y, al final, condensando y silenciando el cromosoma X en una estructura llamada corpúsculo de Barr.* Cada célula femenina termina teniendo un cromosoma X activo y un cromosoma X silenciado en forma de corpúsculo de Barr.

* Hasta hace poco, solo conocíamos dos pequeñas regiones en las puntas del cromosoma X, llamadas regiones pseudoautosómicas 1 y 2, que se mantienen acti-

Como en una buena pelea de artes marciales mixtas [MMA, por sus siglas en inglés], solo queda una X en cada célula. Si cada uno de los cromosomas X es igual en este emparejamiento de inactivación X, se cree que el silenciamiento es aleatorio, como lo sería el resultado de lanzar una moneda. Este proceso termina cuando el cromosoma X silenciado o el corpúsculo de Barr se vuelven inaccesibles para la célula femenina. O eso pensamos.



Durante la mayor parte de los cincuenta años que han transcurrido desde el trabajo de Lyon sobre la inactivación de X, asumimos que la maquinaria genética de la célula de una mujer no podía *abrir* o acceder al corpúsculo de Barr (recuerda, esta es la X silenciada).¹¹ Resulta que Lyon no tenía toda la razón: la X silenciada no está apagada *por completo*. Más bien, las mujeres usan dos cromosomas X en cada una de sus billones de células; la X silenciada sigue ayudando a la célula a sobrevivir. De hecho, alrededor de una cuarta parte de los genes en el cromosoma X silenciado se mantiene activa y accesible para las células femeninas. Llamamos a este fenómeno *escapar de la inactivación de X*.

Como mostraré en capítulos posteriores, tener otro cromosoma X proporciona potencia genética adicional a cada célula, lo cual es una ventaja que las mujeres tienen sobre los varones. El hecho es este: si eres mujer y has heredado dos cromosomas X en cada una de tus células, como los 3.500 millones de mujeres genéticas en este planeta, tus células tienen opciones. Y cuando las cosas se ponen difíciles en la vida, esas opciones te ayudan a sobrevivir.

Al igual que cada volumen en el conjunto de la enciclopedia genómica que mencioné antes, cada cromosoma proporciona instrucciones genéticas en las que nos basamos cada día de nuestras vidas. ¿Necesi-

vas en los X silenciados o corpúsculos de Barr en las mujeres. Estas regiones genéticas son muy pequeñas (contienen solo alrededor de treinta genes, o unas cuantas páginas de material genético) en comparación con el voluminoso resto del cromosoma X.

tas más lipasa pancreática para ayudarte a descomponer la grasa de ese helado de pistacho que acabas de comer? No hay problema. Las células en tu páncreas usarán las instrucciones del gen *PNLIP* que se encuentra en el cromosoma 10 para producir más. ¿Qué pasa con la lactosa en ese helado? De nuevo, no hay problema. Las células que recubren tu intestino pueden confiar en las instrucciones del gen *LCT* que se encuentra dentro del cromosoma 2 para producir toda la lactasa (la enzima que descompone la lactosa, el azúcar en la leche) que necesitas para evitar sentirte inflamado.

Entonces ¿por qué el cromosoma X en particular es tan importante en el juego de la vida? Bueno, sin eso, la vida humana no es posible. Nadie ha nacido sin al menos un cromosoma X. Además de hacer posible la vida, también nos proporciona una base a partir de la cual construimos y mantenemos un cerebro y también creamos nuestro sistema inmunitario. Es un rico volumen genético de instrucciones que orquesta el desarrollo y muchas funciones cruciales del cuerpo humano.



Los humanos no son las únicas criaturas en la Tierra que usan sus cromosomas para la determinación del sexo. Comencé a trabajar con las abejas melíferas hace más de veinte años, y mis intereses de investigación se desencadenaron en un inicio por una pregunta muy simple: ¿qué le sucede a una abeja melífera cuando enferma?

Las abejas melíferas deben recolectar polen y néctar de numerosas fuentes de flores, a menudo lejos de sus colmenas. Y a lo largo de este viaje, están expuestas a todo tipo de microbios.

A diferencia de los animales vertebrados, como los humanos, las abejas melíferas no producen proteínas de anticuerpos para combatir una infección cuando son invadidas por un microbio. En su lugar, estos insectos se han vuelto bastante eficientes en la guerra química. Al igual que una farmacia personal bajo demanda, las abejas melíferas pueden fabricar a la medida sus propios antibióticos para tratarse a sí mismas cuando tienen una infección microbiana. (Algunos de estos antibióticos, como la apidaecina, incluso pueden colarse en la

miel que consumimos.) El objetivo de mi investigación con las abejas era descubrir si podíamos usar los antibióticos que las abejas crean para tratar a los humanos que tienen infecciones.

Como genetista, estaba fascinado con la reproducción y la genética de las abejas melíferas.¹² A diferencia de muchos otros animales, como por ejemplo las aves —que usan algo similar al sistema XX y XY—, las abejas melíferas tienen una forma única de determinar el sexo. Recordé esto cuando abrí una colmena un día y noté los huevos que la abeja reina estaba poniendo activamente en esta colmena; de hecho, era una ponedora de huevos prodigiosa. Las abejas reinas ponen huevos a una velocidad de aproximadamente 1.500 por día.

A diferencia de los mecenas de Aristóteles que habrían hecho cualquier cosa para influir en la determinación sexual de su descendencia, las abejas reinas dominaron el arte de la selección sexual hace millones de años. La abeja reina puede tomar la decisión regia de poner un huevo que se convierta en una abeja trabajadora hembra o una abeja zángano macho.

Así es como funciona: la reina pone un huevo que tiene dieciséis cromosomas, y si no hace nada más, se convertirá en una abeja zángano macho.* Pero si una reina quiere hacer una abeja trabajadora hembra, agrega una pequeña cucharada de esperma, que se ha almacenado en su cuerpo, en el huevo. Este esperma se mezcla con el huevo y lo fertiliza. El esperma que fertilizó el huevo agrega otros dieciséis cromosomas para tener un total de treinta y dos. Esa es la cantidad de cromosomas que se necesitan para hacer una abeja obrera femenina. Mientras que las hembras humanas tienen una copia extra de un cromosoma X, las abejas melíferas tienen aún más opciones genéticas a su disposición. Cada uno de esos dieciséis cromosomas adicionales les permite a las abejas melíferas hembras tener más opciones genéticas que sus contrapartes masculinas.

Imagina esto por un momento. A diferencia de las hembras humanas, que tienen un solo cromosoma X adicional en comparación con

* En una colmena saludable, en medio de un verano productivo, los zánganos pueden representar entre el 1 y el 15 % de las cincuenta mil a setenta y cinco mil abejas en la población general de la colmena.

los machos, sus compatriotas abejas melíferas tienen un conjunto extra completo. Si se consideran todas las tareas encomendadas a una abeja trabajadora hembra, no es de extrañar que tenga tanto material genético adicional. Por un lado, para garantizar que la colmena se mantenga lo más libre de gérmenes posible, las abejas melíferas hembras invierten una enorme cantidad de tiempo y energía en su mantenimiento. También sirven como guardias, y ponen en riesgo sus vidas para proteger la entrada de la colmena cuando se encuentra amenazada por los depredadores.

Las abejas melíferas hembras también se encargan de encontrar todas las fuentes nutricionales que la colmena necesita para sobrevivir. Luego, está la asombrosa conversión del néctar en miel, que requiere días de intenso esfuerzo. El primer paso para hacer miel es agregar enzimas que digieran el néctar. Para ayudar en el proceso, las alas de las abejas obreras hembras deben zumbear a una velocidad de 11.400 veces por minuto. Su zumbido distintivo es necesario para ayudar a deshidratar el néctar líquido y convertirlo, finalmente, en miel. Con todos nuestros avances científicos hasta la fecha, los humanos aún no hemos encontrado una manera de replicar con éxito este proceso.

Una abeja melífera hembra puede progresar eventualmente desde las tareas de limpieza a la de guardia, y de ahí a abandonar la colmena en busca de polen y néctar. Se necesitan alrededor de dos millones de visitas a las flores, lo que requiere una distancia de vuelo total de más de 88.000 kilómetros, para hacer tan solo medio kilo de miel. Sin mencionar que, en el proceso de recolección, y mientras están evitando a los depredadores, las abejas melíferas hembras también logran polinizar ellas solas el 80 % de las frutas, vegetales y cultivos de semillas tan solo en Estados Unidos. Si eso no fuera suficiente, también se comunican con sus compañeras voladoras a través de un elaborado baile que les permite saber dónde encontrar una buena fuente de alimentación. También se ha descubierto que las abejas melíferas hembras son las matemáticas avanzadas del mundo de los insectos.¹³ Investigadores australianos y franceses enseñaron a las abejas hembras cómo realizar operaciones aritméticas como la suma y la resta. Se pensaba que esta capacidad estaba fuera del alcance de cualquier in-

secto, ya que se requieren procesos cognitivos complejos. Pero no para una abeja hembra.

Entonces ¿qué le queda a una abeja zángano macho? La respuesta es simple... nada.

Los zánganos no mantienen la colmena, no pueden producir alimentos por sí mismos y son las trabajadoras hembras quienes los mantienen vivos y limpios. Ni siquiera pueden ayudar a defender la colmena; en lugar del aguijón que tiene una hembra, una abeja macho tiene una estructura fállica que puede usarla en lo único que es buena: el sexo.

El esperma que hace a las hembras proviene de una mezcla de abejas zánganos machos de otra colmena que han tenido relaciones sexuales, por lo general en pleno vuelo, con una abeja reina. El vuelo sexual virginal de una reina solo ocurre una vez en su vida, durante el cual se aparea con hasta cincuenta machos. Ella almacena el esperma en un órgano especializado llamado espermateca. Se sabe que las abejas reinas mantienen vivos los espermatozoides en su interior durante algunos años, y los usan solo cuando quieren tener hembras.

No es de extrañar que la mayoría de los zánganos en una colmena sean expulsados justo antes del invierno. Las trabajadoras hembras no quieren tener que cuidarlos durante los meses difíciles. La mayoría de estos machos no duran mucho tiempo fuera de la colmena, y finalmente sucumben al hambre, la exposición o la depredación.

Es fácil ver por qué las opciones genéticas son esenciales para la vida laboriosa y compleja de una abeja hembra. Las abejas melíferas hembras son las campeonas indiscutibles de su mundo sexuado.

De vuelta en el mundo humano, el cromosoma X adicional en las mujeres les brinda la ventaja de la diversidad genética, lo que les ayuda a afrontar de manera más efectiva los desafíos de la vida. Las mujeres son las que resuelven los problemas biológicos: tienen más soluciones en su caja de herramientas genéticas. Si cada cromosoma X tiene alrededor de mil genes, eso significa que las mujeres pueden confiar en las células que usan una copia diferente de cada uno de esos genes.

Por lo general, no es una copia de seguridad exacta, sino una versión completamente diferente de cada uno de esos genes que se en-

cuentran en el cromosoma X. Piénsalo de esta manera: si necesitas un destornillador viejo, vaya, pídele a un hombre que lo saque de su caja de herramientas genéticas. Pero si necesitas al mismo tiempo dos destornilladores específicos, uno de cabeza de cruz y otro de cabeza plana, lo mejor será que se los pidas a una mujer, porque ella tendrá ambos.



A pesar de la superioridad genética de las mujeres, cada año nacen menos niñas que niños.¹⁴ A primera vista, podría no parecer una diferencia notable, pero es un fenómeno que merece nuestra atención. Hay 105 niños nacidos por cada 100 niñas en Estados Unidos, y la estadística es casi la misma en el resto del mundo. Uno podría pensar que esto prueba que los hombres son el sexo más fuerte, pero lo cierto es que hay menos mujeres porque estas son mucho más difíciles de construir.

Como descubrió Mary Lyon, las células que finalmente dan lugar a un embrión femenino tienen que pasar por un proceso de desarrollo inicial multifacético de cierre parcial y almacenamiento seguro de uno de sus cromosomas X. Hasta donde saben los genetistas, esta podría ser una de las tareas más sofisticadas que tienen lugar durante el desarrollo. Y eso es lo que permite a las células femeninas elegir entre dos cromosomas.

Así que, al igual que los diamantes requieren una inmensa cantidad de presión y energía para formarse a 160 kilómetros por debajo de la superficie de la Tierra,* las mujeres son más difíciles de hacer. (Por esa misma razón, y al igual que los diamantes, las mujeres también son más difíciles de romper, de lo que hablaré en mis capítulos sobre resiliencia y resistencia.)

¿Qué sucede si el *silenciamiento* del cromosoma X no funciona según lo planeado? Lo que sabemos de la investigación en otros mamíferos es que, si un cromosoma X no es silenciado de manera ade-

* Se cree que los diamantes más raros y de color azul se forman a una profundidad aún mayor, alrededor de 650 kilómetros por debajo de la superficie de la Tierra.

cuada y se convierte en un corpúsculo de Barr en todas las células iniciales de una hembra genética, lamentablemente se pierde un embarazo. Nunca ha habido un humano nacido con dos cromosomas X completamente activos en todas sus células. Y si ambas X son silenciadas de manera accidental, el embarazo tampoco continuará. Por eso se pierden más embriones femeninos durante las primeras etapas del embarazo, a menudo antes de que una mujer sepa que está embarazada.

Las células que forman un embrión masculino son mucho más simples. Ninguna de estas células tiene que ser silenciada o tiene que inactivar un cromosoma X para convertirlo en un corpúsculo de Barr. Por eso los varones son más fáciles de hacer. Tienen solo una X, después de todo.

Cuando se trata de la superioridad genética femenina, podrías creer que la historia termina aquí. Pero, de hecho, es justo aquí donde comienza nuestra historia. Las mujeres no solo tienen más opciones genéticas para elegir dentro de cada célula, sino que también tienen la capacidad de cooperar y compartir ese conocimiento genético diverso *entre* sus células. Esta forma de cooperación celular está ocurriendo de manera simultánea entre billones de células femeninas mientras trabajan juntas, uniendo su sabiduría genética colectiva para hacer frente a los obstáculos.

Esa cooperación celular superior crea el terreno fértil para una resiliencia única que solo poseen las mujeres.