

EL DESCUBRIMIENTO DE LOS CROMOSOMAS SEXUALES
Un hito en la historia de la biología

Isabel Delgado Echeverría



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. LA TRADICIÓN HEREDADA HASTA EL SIGLO XIX	7
El mundo antiguo y medieval	7
El mundo moderno	11
3. LA BIOLOGÍA DEL SIGLO XIX	16
Los avances de la zoología	18
Las investigaciones en botánica	22
El nacimiento de la citología	25
La embriología experimental	29
4. EL CONTEXTO DE DESCUBRIMIENTO	34
Investigaciones y teorías sobre la fecundación	34
El problema de los diferentes modos de reproducción	39
Teorías sobre la reproducción y la herencia	47
La cuestión de la determinación del sexo	60
5. ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN ORIGINAL	64
Análisis bibliométrico	64
Criterios de periodización	67
Las diferentes perspectivas teóricas y metodológicas	70
Características del periodo 1878-1912	72
El periodo 1913-1939	79
Rasgos generales del periodo 1940-1985	84
6. LA CUESTIÓN DE LA PARTENOGENÉISIS	87
Los conocimientos establecidos	88
Investigaciones sobre partenogénesis 1878-1912	93
7. LA PERSPECTIVA MORFOLÓGICA	110
Primeros estudios de morfología microscópica	111
Las primeras observaciones de cromosomas accesorios	123
McClung y el cromosoma accesorio	132
N. M. Stevens y el descubrimiento de los cromosomas sexuales	142
E. B. Wilson o el peso de la teoría epigenética	163
Otros estudios morfológicos 1905-1912	179
Trabajos morfológicos posteriores a 1912	195
Red de citas de los estudios morfológicos	204

8. PERSPECTIVA AMBIENTALISTA	206
Primeros estudios sobre poblaciones animales	207
Estudios estadísticos de poblaciones	210
Los estudios sobre anfibios de Richard Hertwig	221
Helen Dean King y la perspectiva ambientalista	225
Red de citas de los estudios ambientalistas	246
9. PERSPECTIVA FISIOLÓGICA	248
Análisis experimental del sexo	249
T. H. Morgan: de la fisiología a la genética	258
10. LA PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA EN LA BIOLOGÍA DEL SEXO	280
Fuentes originales publicadas en España	280
El contexto de la ciencia española	283
Los principales productores en relación con la determinación del sexo	297
Antonio de Zulueta y Escolano	302
Manuel Bordás Celma	315
José Fernández Nonídez	322
Margarita Comas Camps	335
Jimena Fernández de la Vega	350
Kate Pariser	361
Fernando Galán y Gutiérrez	369
Otros autores	375
Cuadro cronológico de acontecimientos y publicaciones	377
Genealogía y redes de citas	380
Los problemas en discusión	388
1. La cuestión de la determinación del sexo	389
2. Herencia cromosómica del sexo	395
3. Herencia mendeliana y teoría cromosómica	419
EPÍLOGO	430
BIBLIOGRAFÍA	432
Fuentes	432
Bibliografía crítica	442
APÉNDICES	451
I. Índice de tablas y gráficos	452
II. Índice de autoras y autores	453
III. Especies citadas en los trabajos originales	456
IV. Apéndice gráfico	464

INTRODUCCIÓN

La existencia de dos sexos, tanto en la especie humana como en la mayoría de los seres vivos, ha sido motivo de curiosidad en todos los tiempos históricos. Todas las culturas han planteado y proporcionado explicaciones, de acuerdo con sus claves filosóficas o científicas, para algunos de los aspectos de este fenómeno: en qué son diferentes los dos sexos, cuál es la contribución de cada uno a la reproducción o la vida de la especie, cómo seleccionar el sexo de nuestros descendientes, o si el sexo es una cualidad común a todos los seres vivos.

Desde la perspectiva de nuestro siglo y nuestro contexto científico, en el que la genética se ha convertido en la reina de las disciplinas biológicas, dar respuesta a estas cuestiones requiere hablar de genes y cromosomas; unos cromosomas particulares (“cromosomas sexuales”) que se designan como X e Y son elementos imprescindibles en las explicaciones biológicas sobre el sexo desde principios del siglo XX. La biología actual, basada en la teoría celular y la teoría cromosómica de la herencia, reconoce que en la reproducción sexual ambos sexos participan por igual en la generación de la descendencia, aportando por medio de sus gametos una misma cantidad de información genética al nuevo embrión. De manera general se admite que el sexo será uno de los caracteres determinados por los cromosomas de los gametos: la presencia de dos cromosomas X en el “zigoto” o célula inicial de un individuo dirigirá su desarrollo embrionario como hembra (XX), mientras que la presencia de un X y un Y producirá un desarrollo como macho (XY); estos cromosomas estarían, pues, relacionados con las diferencias morfológicas y fisiológicas entre los dos sexos.

En otros momentos de la historia, no tan distantes, la generación de la descendencia era explicada por el efecto generador del semen masculino sobre el útero o el huevo, cuyo papel era el de receptáculo que contiene, calienta y nutre a la semilla. Esta interpretación, cuya influencia es perceptible al menos hasta el siglo XIX, es una variante de la propuesta por Aristóteles y otros autores griegos hace más de dos mil años. Aplicando a los dos sexos binomios como fuerte/débil, caliente/frío o derecha/izquierda, muchos filósofos consideraron que las mujeres se situaban en un nivel inferior al del hombre y negaron incluso su capacidad generativa en la concepción: el embrión se producía a partir del semen masculino, que contenía el proyecto potencial del individuo. En cuanto al sexo del embrión, definido durante la concepción o el desarrollo embrionario, dependería de las propiedades del semen; según algunas escuelas, como la de Aristóteles, se producía descendencia femenina cuando el desarrollo del embrión se veía “mutilado” debido a un debilitamiento del principio formativo masculino. Un razonamiento semejante aplicó Galeno cinco siglos más tarde para establecer que las mujeres eran “hombres imperfectos” o “mutilados”.

La filosofía aristotélico-galénica puede parecernos un ejemplo extremo, muy superado por nuestra ciencia igualitarista. Pero si revisamos la historia de las ideas sobre los sexos en siglos más recientes comprobaremos la persistencia del concepto de primacía del sexo masculino, que es claramente una premisa, y no el resultado de la observación científica. Esta premisa resulta llamativa en las explicaciones sobre el distinto grado de perfección de los sexos tanto como sobre su diferente participación en la generación de la descendencia. Refiriéndose a nuestra especie, aunque generalizando

al conjunto de los seres vivos, diferentes escuelas de pensamiento propusieron modelos para justificar la inferioridad del sexo femenino, que no tenía “alma”, no tenía “calor”, no tenía “fuerza” o no tenía suficiente “cerebro”. Distintas propuestas explicativas, elaboradas a lo largo de los siglos, reflejan la imagen del hombre como ser humano “completo” y la mujer como ser “imperfecto” o “mutilado”. En su aparente neutralidad, las respuestas de nuestra ciencia están impregnadas de la misma premisa. Numerosas filósofas, científicas e historiadoras han explicado ya las múltiples formas en que los prejuicios sociales patriarcales influyen en la construcción de la ciencia, y más concretamente, en la construcción de la biología moderna. En las teorías biológicas actuales, el reflejo de las premisas sexistas puede encontrarse en cualquiera de los niveles de organización que se contemplan, sea este anatómico, fisiológico, celular o molecular, infiltrado en el conjunto de términos, metáforas y consensos que constituyen el cuerpo teórico de la actual biología del sexo; a pesar del lenguaje políticamente correcto que es común utilizar en los últimos años, podemos encontrar este reflejo en la expresión de las últimas novedades de la genética o la medicina.

La historia de la biología puede permitirnos, quizás, poner en cuestión algunas de las respuestas simplificadoras de la ciencia actual, o cuando menos averiguar cómo se ha llegado a ciertas conclusiones. Un detalle que no puede olvidarse es la imagen netamente masculina que la historia nos proporciona del quehacer científico. Es difícil encontrar un campo de la actividad humana, salvo posiblemente el ejército, en que las referencias a las mujeres como autoras sean tan escasas, a pesar de que su participación haya existido en todos los siglos y haya sido abundante en el siglo XX. Si bien la imagen que da la historia no es un buen retrato de la ciencia, porque no refleja la presencia de las mujeres, lo cierto es que la organización de la ciencia, especialmente desde su profesionalización, tampoco ha permitido la participación por igual de ambos sexos, y la mayoría de los puestos de responsabilidad, en los que se definen las políticas científicas, siguen siendo ocupados por varones. En estas condiciones, es difícil creer que la interpretación de la realidad que la ciencia construye no esté cargada de sesgos androcéntricos. La pervivencia de prejuicios sexistas en la biología es particularmente peligrosa en el siglo XXI, cuando la ciencia constituye el eje sobre el que se asientan las directrices de nuestra vida social. Las investigaciones biológicas parecen proporcionar unas diferencias “naturales” (ahora decimos “biológicas”) entre hembras y machos, mujeres y hombres. Y se suele creer, de buena fe, que las diferencias encontradas por la biología son hechos “desnudos”, “objetivos”, que existen al margen de su interpretación o de su utilización social (pues así suelen entenderse los datos científicos). Hay quienes dan un paso más y consideran que las diferencias “biológicas” o “naturales” son, precisamente, el origen de las diferencias sociales entre mujeres y hombres, el fundamento de los diferentes roles que se establecen para los individuos humanos de uno y otro sexo. Mi tesis es que la causalidad es exactamente la inversa, y el estudio de una parcela particular de la historia de la biología –el contexto histórico del descubrimiento de los cromosomas sexuales– me ha permitido confirmarlo.

Los primeros datos que me hicieron suponer que los patrones sociales habían influido en la construcción del conocimiento biológico sobre los sexos fueron las diversas incongruencias que encontré aquí y allá en mis estudios de zoología. A pesar del reconocimiento de diversidad que implica el estudio de la taxonomía, determinadas variantes en la organización sexual o en el comportamiento de machos y hembras son tratadas como excepciones a una norma que no se especifica. Por ejemplo, se dice que las hembras de muchas aves rapaces son más fuertes que los machos de la misma

especie porque tienen que defender el nido o cazar, o que la reproducción partenogenética es una adaptación para producir gran número de individuos en poco tiempo. Las explicaciones son aún más prolijas si en la especie en cuestión alternan formas de reproducción asexual con individuos sexuados. En contraposición, para aquellas especies en que los machos son más grandes o más fuertes que las hembras, o si hembras y machos copulan y dan lugar a huevos fecundados, el silencio de los textos indica que no es necesario dar razones. Por otra parte, junto a los animales en que los dos sexos tienen apariencia semejante, se nombran algunos, claramente excepcionales, en que las diferencias son inverosímiles; entre éstos, el caso más alarmante parece ser el de *Bonellia*, un gusano que ni siquiera necesita cromosomas sexuales para producir unas hembras grandes y unos machos minúsculos que viven en la trompa de ellas como parásitos. Nótese o no, la imagen que se obtiene de la zoología es la de un universo sexual ordenado, en el que hembras y machos se diferencian y actúan siguiendo unos patrones, según los cuales, dejando a un lado las raras excepciones, se pueden construir conceptos tales como feminidad y masculinidad. Las excepciones son, lógicamente, las que requieren una explicación. Pero, dándole la vuelta, me pregunté cómo se habían construido esos conceptos que chocan una vez y otra con una buena parte de las formas de vida que se están describiendo.

La investigación histórica que he realizado ha consistido en rastrear en los dos últimos siglos de la historia de la biología el origen de las ideas actuales sobre la determinación del sexo, así como las claves de su simplificación en el proceso de transmisión y divulgación. El descubrimiento de los cromosomas sexuales me ha servido como hito histórico para señalar un tiempo y un lugar, y también para establecer comparaciones. Dado que la interpretación científica actual sobre la determinación del sexo presenta como elemento clave la existencia de estos cromosomas, tanto para establecer diferencias entre los sexos en las especies que los poseen (es decir, las que tienen “determinación genética del sexo”) como para distinguir a las que no (de las que se dice que tienen “determinación no genética”), su descubrimiento debía suponer un punto de inflexión en la historia de nuestras concepciones. Los cromosomas X e Y fueron descritos por primera vez en 1905, si bien hubo investigaciones citológicas anteriores en las que se mencionaba la presencia de ciertos cromosomas relacionados con el sexo. Partiendo de estos datos, centré la investigación en las últimas décadas del siglo XIX y las primeras del siglo XX.

Esta investigación histórica tiene para mí un triple objetivo. Por una parte, averiguar qué fue lo que estimuló la curiosidad necesaria para llegar a observar al microscopio unos cromosomas concretos, y cómo se llegó a constatar que estos cromosomas eran diferentes entre hembras y machos. Asimismo, cómo convivieron en un mismo periodo histórico los descubrimientos sobre los variados modos de reproducción y los diferentes sistemas de determinación o diferenciación sexual. De todo ello, además, determinar dónde, cómo y quiénes realizaron estos descubrimientos y qué medios difundieron los nuevos conocimientos. El segundo objetivo es poner de manifiesto que los diversos conceptos, términos y explicaciones de la biología actual que transmiten la idea de la primacía masculina tienen su origen en concepciones defendidas en siglos anteriores, así como intentar dissociar lo que fue resultado del trabajo científico de lo que es proyección de los prejuicios sociales. Finalmente, un tercer objetivo, de interés añadido para las generaciones actuales y futuras de científicas, es el de constatar la existencia de autoría femenina en los descubrimientos biológicos del pasado. La comunidad científica no ha sido justa con las mujeres en cuanto a la

concesión de premios y honores o el registro de sus descubrimientos, y la mayoría de los nombres femeninos han quedado ocultos bajo la sombra de los de sus maridos o colaboradores. A partir del dato de que una de las descripciones de cromosomas sexuales publicadas en 1905 había sido realizada por una mujer, tenía la seguridad de que habrían existido muchas otras científicas realizando investigaciones en este campo de la biología. Era importante para mí constatar su presencia, y para ello me propuse observar con atención los documentos, además de consultar fuentes alternativas de información.

Es mi propósito al escribir este libro dar a conocer los resultados de la investigación realizada, así como las conclusiones a las que he llegado. En cuanto a los resultados, la primera parte del libro (capítulos 1, 2 y 3) es una revisión basada en la literatura histórica, en la que he intentado contextualizar las ideas y teorías referentes a la determinación del sexo registradas en la historia de la ciencia occidental. Con el fin de encontrar las raíces de algunos conceptos y prejuicios, he iniciado el repaso en la filosofía griega, continuando de forma abreviada hasta la Ilustración. A continuación, he estudiado con mayor detalle el siglo XIX, cuando se produjo el nacimiento y desarrollo de la biología moderna, especialmente en los aspectos relacionados con la reproducción. Para establecer el contexto científico del descubrimiento de los cromosomas sexuales, he considerado los antecedentes en el momento del enunciado de la teoría celular (1839) y el despegue de las ciencias ligadas a la microscopía, siguiendo los pasos de la observación del núcleo y el proceso mitótico (década de 1870), que condujeron a investigar las peculiaridades de la división celular en la maduración de las células sexuales, hasta llegar a las primeras interpretaciones de la meiosis (1887). Asimismo he considerado relevantes las primeras tentativas de la citología en cuanto a la interpretación de la función de los gametos y la fecundación tras el descubrimiento del óvulo de los mamíferos (1827) y la observación de la penetración del espermatozoide en el óvulo (1875). Finalmente, he analizado las consecuencias de la teoría mendeliana de la herencia en relación con una posible determinación genética del sexo, comprobando la confluencia de las distintas vías de análisis del problema a partir del año 1900.

El periodo cronológico de investigación directa es el comprendido entre 1878 y 1939. La estrategia de búsqueda y el análisis bibliométrico (detallados en el capítulo 4) me llevaron a recopilar un total de 263 artículos científicos, cuyas referencias se encuentran en el apéndice bibliográfico. Utilizando como contraste la literatura histórica, he analizado en ellos los diferentes planteamientos teóricos y metodológicos, a los que me he referido como perspectivas morfológica, ambientalista y fisiológica; antes de su descripción (capítulos 6, 7 y 8) me he ocupado en concreto del tema de la partenogénesis (capítulo 5), por la transcendencia que presentaba desde todas las perspectivas. En conjunto he comprobado el efecto que produjo la “teoría de la determinación cromosómica del sexo” al convertirse en la interpretación predominante con el enunciado de la “teoría de la herencia cromosómica” a partir de 1912. En las diferentes hipótesis propuestas he podido identificar las raíces morfológicas, ambientalistas, fisiológicas, hereditaristas o evolucionistas, así como sus relaciones con las diferentes disciplinas, países, escuelas y principios metodológicos, y he querido poner de manifiesto sus interrelaciones. Asimismo, he localizado los principales investigadores e investigadores que publicaron sobre el tema del sexo desde los distintos campos y perspectivas, situándolos en sus respectivos países, disciplinas y escuelas, reconstruyendo sus trayectorias profesionales y el contexto en que realizaron sus investigaciones; en los casos menos conocidos, mal representados o ausentes en la

bibliografía histórica existente, he intentado reunir una información que se encontraba fragmentada. Tras analizar la cuestión en el conjunto de las ciencias biológicas a un nivel internacional, he realizado un estudio particular del tema para España (capítulo 9). Utilizando la literatura histórica disponible, he rastreado los orígenes de las ciencias biológicas cultivadas en las primeras décadas del siglo XX, localizando los centros de producción y difusión de la biología en España. Las aportaciones realizadas desde nuestro país he podido estudiarlas a través de 40 trabajos originales publicados en España entre 1912 y 1936. Asimismo, a partir de diversas fuentes primarias y secundarias, he reconstruido las trayectorias científicas de los principales investigadores e investigadoras españoles de la época.

Las conclusiones a las que me ha conducido la investigación son de dos tipos: unas se refieren al proceso histórico a través del cual se establecieron los nuevos conceptos; las otras son resultado de una mirada distinta sobre los mismos materiales. Entre las primeras, la conclusión fundamental es que el problema de la determinación del sexo tuvo un papel central en las investigaciones biológicas de finales del siglo XIX y principios del XX; prueba de ello es el elevado número de publicaciones sobre el origen y desarrollo del sexo, las diferentes perspectivas con que fue analizado el problema y la participación de colectivos científicos y de aficionados de muy diversos campos del saber, como zoología, morfología, embriología, citología, genética, medicina, agronomía, veterinaria, mejora animal y vegetal, apicultura, canaricultura, columbicultura y algunos otros. La segunda conclusión es que la observación de los cromosomas sexuales fue posible gracias a las aportaciones de la morfología microscópica alemana desarrollada en la segunda mitad del siglo XIX, aunque el descubrimiento de los cromosomas sexuales y el posterior desarrollo de la citología tuvieron lugar en Estados Unidos; la generosa transmisión del saber acumulado por la ciencia alemana, tanto de forma directa mediante la docencia como a través la difusión de sus revistas científicas, favoreció la proliferación de núcleos de investigación fuera de Alemania. En tercer lugar he constatado que la participación española se produjo con un cierto retraso y tuvo su mejor momento entre 1920 y 1936; la introducción en España de los principios básicos de la citología y la genética se realizó a través del contacto establecido con otros países mediante las becas de ampliación de estudios, y en ella tuvieron un importante papel algunas instituciones científicas de la época. Además de la rápida penetración de las nuevas tendencias de la biología, sorprende encontrar una pequeña pero digna producción original en la investigación española de aquel momento.

Las otras tres conclusiones son de distinta índole, pues resultan de un análisis posicionado del material de estudio. En primer lugar, he constatado el antropocentrismo que ha impregnado la transmisión de los conocimientos alcanzados: el sistema de cromosomas sexuales X e Y no fue el primero en descubrirse, ni es el único existente; otros sistemas de determinación genética del sexo están muy extendidos, mientras que en numerosas especies se ha demostrado que no existe determinación genética, y que el desarrollo del sexo depende de factores ambientales. La focalización de las investigaciones genéticas en la mosca *Drosophila* a partir de 1912, en contraste con la época anterior, en que fueron estudiadas una amplia variedad de especies animales y vegetales, sólo se explica porque esta diminuta mosca tiene el mismo mecanismo de determinación del sexo que nuestra especie; si bien tiene sentido contar con un modelo experimental para las investigaciones aplicadas y médicas, es poco prometedor que los estudios básicos de biología se limiten al modelo de hembras XX y machos XY. La universalización de este modelo ha conducido, entre otras cosas, a la asociación del

cromosoma Y con la masculinidad, uno de los elementos más claros del androcentrismo presente en las investigaciones biológicas sobre el sexo. La persistencia de estereotipos sexuales y la premisa de la superioridad masculina pueden asimismo constatarse, entre otras cosas, en la utilización de términos asociados desde antiguo con los dos sexos, como los binomios actividad/pasividad, calor/frío, espíritu/materia, u otros adaptados a los nuevos objetos descubiertos: diferenciación/indiferenciación, presencia/ausencia, desarrollo/atrofia. Finalmente, una última conclusión, que no la menos importante: hubo una amplia participación de mujeres como productoras de conocimiento en este campo de la biología. A lo largo del periodo histórico considerado he podido constatar la presencia de mujeres en los principales centros de investigación, muchas de las cuales diseñaron y participaron en investigaciones relacionadas con la biología del sexo, y algunas de ellas realizaron descubrimientos de gran importancia; sin embargo, la información sobre ellas no se encuentra en las fuentes históricas con los mismos criterios aplicados a sus compañeros varones. A la invisibilización de las mujeres han contribuido muchos factores; uno de ellos, la suposición de que todos los apellidos destacados en la bibliografía corresponden a nombres masculinos. El placer de encontrar rostros femeninos tras los datos y citas de los documentos ha sido uno de los mejores estímulos para la realización de este estudio.

Juzgue el público lector la validez de estas conclusiones en relación con los hechos que describo.