

EVIDENCE AND METHOD. SCIENTIFIC STRATEGIES OF ISAAC NEWTON AND JAMES CLERK MAXWELL

Por Peter Achinstein. Oxford University Press; Oxford, 2013.

Epistemología

¿En qué consiste el método científico?

Cuestión central de la epistemología, una prueba es lo que potencia o debilita un enunciado, pues aporta información sobre su verdad o falsedad. No podemos afirmar que conocemos algo si carecemos de pruebas que lo sustenten. Creencia racional es aquella que se basa en pruebas adecuadas, cuya fuente primaria la encontramos en los sentidos, en la experiencia sensible. Descubrimos otras fuentes de pruebas en la memoria y en el testimonio ajeno; ambos tipos se apoyan, de una manera u otra, en los sentidos. Podemos extraer también pruebas de la propia razón y reflexión. Las pruebas que avalan nuestras creencias pueden ser concluyentes o no concluyentes. Las concluyentes son las que presentan una solidez tal que eliminan cualquier posibilidad de error. (En puridad, no existen pruebas concluyentes sobre el mundo, sobre el pasado o sobre otras mentes.) Las pruebas sensoriales no son concluyentes, toda vez que podemos caer en ilusiones y espejismos, cuando no son corregidas por otras experiencias posteriores.

¿Qué hemos de entender por prueba científica? Peter Achinstein, docente de filosofía de la ciencia, ha escrito artículos y libros sobre prueba, explicación y realismo, los tres temas que se recogen en esta colección de ensayos. También es reconocido su trabajo sobre la historia de la mecánica de las partículas. Aquí interpreta con una óptica interesante la argumentación y la praxis experimental de los fundadores de la física moderna: Isaac Newton y James Clerk Maxwell.

Newton comienza el libro tercero de los *Principia* con un conjunto de cuatro reglas metodológicas generales. Se utilizan explícitamente en la generación de la ley de la gravitación universal: 1) no deben admitirse otras causas de las cosas

que las que sean verdaderas y suficientes para explicar los fenómenos; 2) las causas asignadas a efectos naturales del mismo tipo serán, en lo posible, las mismas; 3) las cualidades de los cuerpos que no pueden incrementarse ni reducirse y que pertenecen a todos los cuerpos sobre los cuales podemos realizar experimentos deben reputarse cualidades de todos los cuerpos; 4) en la filosofía experimental, las proposiciones formuladas por inducción a partir de los fenómenos deben reputarse ciertas, no obstante las hipótesis en contra, hasta que otros fenómenos las pongan en cuestión. Esas cuatro reglas deben utilizarse para pasar de los fenómenos observados a la proposición que puede considerarse demostrada.

No menos importancia concedió Maxwell al método durante el desarrollo de sus teorías moleculares y eléctricas. Fruto de su interés en las distintas formas de investigación científica fue la introducción de tres métodos. Desde un punto de vista cronológico, el primero fue el método de la analogía física; le siguió el ejercicio de la mecánica; por fin, un método de especulación física. Los tres métodos implican una teorización a partir de un conjunto de fenómenos observados. Tal teorización se halla sometida a tres exigencias, las mismas para cada uno de los métodos. En primer lugar, semejante conceptualización debe presentar una forma física, más que matemática, de entender los fenómenos. En segundo lugar, la teorización, aunque física, ha de proceder de una manera rigurosa con recursos matemáticos. Y en tercer lugar, tendrá que ser pormenorizada. En 1855, Maxwell publicó un artículo titulado «Sobre las líneas de fuerza de Faraday». Propone allí utilizar analogías físicas. Así las define: «Por analogía física entiendo la semejanza parcial entre las leyes de una

ciencia y las leyes de otra, lo que posibilita que mutuamente se iluminen».

En 1860 publicó *Ilustraciones de la teoría dinámica de los gases*, su primer ensayo sobre la teoría cinético-molecular de los gases. En él da por supuesto que los gases están formados por moléculas esféricas que se mueven con velocidad uniforme en línea recta, excepto cuando chocan contra la pared del recipiente; admite también que los gases obedecen las leyes de la dinámica. Busca construir una analogía entre un sistema de cuerpos (moléculas) y los gases. Maxwell ofrece en este artículo la relación entre presión, volumen y temperatura de un gas, dada por la ley de los gases ideales. Establece la siguiente ecuación que relaciona la presión p de las partículas (moléculas) en un área unidad de la pared del recipiente con otras magnitudes moleculares: $p = 1/3 MNv^2$, donde M es la masa de cada partícula, N es el número de partículas en una unidad de volumen de gas, y v es la velocidad media de las partículas. El método de Maxwell es un método popperiano *avant la lettre*, en el que es posible la falsación de la hipótesis, no su verificación. En 1875 escribe un artículo en *Nature* con el título «Sobre las pruebas dinámicas de la constitución molecular de los cuerpos». No puede demostrar experimentalmente los supuestos moleculares que necesita introducir, pero no desea avanzar una hipótesis sin argumento y deducir luego consecuencias contrastables. Aporta, en cambio, un método de «especulación física», que es más débil que la prueba, aunque más fuerte que el método hipotético-deductivo.

La exposición canónica del método científico se la debemos a Carl Hempel. De acuerdo con su exposición del método hipotético-deductivo, el científico parte de la observación de una serie de fenómenos cuya explicación desea. Propone una hipótesis que, si resultara verdadera, explicaría los fenómenos. Para llegar a la formulación de una hipótesis no hay normas o reglas de razonamiento que el científico deba seguir; puede tratarse de una intuición o de una conjetura. Pero una vez descubre la idea, debe proceder a extraer consecuencias que puedan someterse a contrastación empírica. Esas deducciones sí han de gobernarse por reglas de razonamiento, de inferencia. No hay reglas de descubrimiento, no existe una lógica del descubrimiento, solo hay una lógica de la prueba o de la justificación. En una definición hipotético-deductiva de la prueba, un hecho observado e constituye una prueba

de que la hipótesis h es verdadera si y solo si e se deduce de h .

Hempel contraponía el método hipotético-deductivo al inductivismo, que procede, mediante la aplicación mecánica de reglas, de hechos observados a los principios generales correspondientes. La inducción sería un procedimiento mecánico de descubrimiento científico, análogo a la multiplicación de enteros, que nos lleva, a través de un número finito de pasos predeterminados y mecánicamente realizables, hasta el producto correspondiente. Para Hempel, no hay tal aplicación mecánica de reglas que permitan generar hipótesis. Pero entre ese inductivismo y el método hipotético-deductivo caben otras opciones. Ni Newton, ni Maxwell profesaron lo que hoy entendemos por método hipotético-deductivo y, sin embargo, realizaron aportaciones cruciales para el conocimiento de la naturaleza de la ciencia.

Newton defiende un inductivismo muy distinto del que describe Hempel: busca siempre pruebas suficientes que constituyan una demostración empírica de la teoría, en tanto que Maxwell se centra en las situaciones en que no hemos reunido pruebas suficientes para construir una demostración empírica: o bien no dispone-

mos de una teoría, o bien, aunque dispongamos de ella, no podemos contrastarla experimentalmente, o bien disponemos de algunas pruebas pero no las suficientes para establecer una teoría. Sin pruebas, reafirma Maxwell, queda todavía una importante labor teórica por realizar.

¿Qué significa la afirmación de que un hecho o un fenómeno constituye una prueba de la verdad de una hipótesis? Conviene empezar por distinguir entre un enfoque objetivo de la misma (que un hecho sea prueba de la verdad de una hipótesis no tiene nada que ver con que alguien lo sepa o lo crea) y un enfoque subjetivo (restringido a la persona o al grupo que conoce o cree). Otra división importante discrimina entre pruebas empíricas y pruebas a priori. Declaraciones del tipo « e constituye una prueba de la hipótesis h » presuponen que e es cierto. Se trata de una prueba empírica. Tales enunciados empíricos apelan a hechos de observación. Las pruebas a priori son razonamientos que implican una computación lógica o matemática.

En un concepto objetivo de prueba, los enunciados de la forma « e constituye una prueba de la hipótesis h » no dependen de quién cree o sabe qué. Por ejemplo, el hecho de que los planetas Mercurio y Venus

muestren fases, como nuestra luna, constituya una prueba de que esos planetas giran alrededor del Sol (como Newton proclamó en el libro 3 de los *Principia*). Resulta independiente de que alguien crea o conozca algo. (Newton sostiene que el movimiento heliocéntrico de los planetas viene demostrado por la existencia de fases. A ese tipo de pruebas Newton lo denominó «deducción a partir de los fenómenos», que en su opinión encerraba la prueba más sólida que una proposición podía alcanzar en física.) En un concepto subjetivo de prueba, afirmaríamos que Newton sostenía que ese dato sobre las fases de Mercurio y Venus constituía una prueba de sus declaraciones sobre las órbitas.

El que h abarque e es un hecho objetivo que no depende de si alguien cree o conoce h , e o sus relaciones lógicas. Ello entraña alguna referencia a la explicación. Así, e constituye prueba de h si y solo si h explica e , o bien h es la mejor explicación de e , o bien h es la explicación más probable de e . Si uno declara que e constituye una prueba de la hipótesis h , entonces me siento obligado a sostener que e constituye una buena razón para creer en h (o una mejor razón que hacerlo sin e). Los subjetivistas, en particular los subjetivistas bayesianos, sostienen que el

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

OFERTA DE SUSCRIPCIÓN

Reciba puntual y cómodamente los ejemplares en su domicilio

Suscríbase a *Investigación y Ciencia*...

- ▶ por **1 año** y consiga un **17% de descuento** sobre el precio de portada (**65 €** en lugar de 78 €)
- ▶ por **2 años** y obtenga un **23% de descuento** sobre el precio de portada (**120 €** en lugar de 156 €)
- ▶ **REGALO** de 2 ejemplares de la colección TEMAS a elegir.*

Y además podrá acceder de forma gratuita a la versión digital de los números correspondientes a su período de suscripción.



Puede suscribirse mediante:

www.investigacionyciencia.es ◀

Teléfono: 934 143 344 ◀

* Consulte el catálogo. Precios para España.

concepto subjetivo de prueba es el único que se emplea en ciencia o, al menos, el único modo razonable de entender a los científicos cuando declaran que para determinados e y h , e es prueba de h . Definen la prueba en términos de probabilidad; utilizan un concepto subjetivo de probabilidad entendido como el grado de creencia que una persona tiene en una determinada proposición.

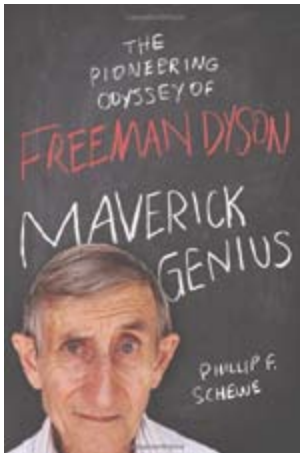
Todo concepto subjetivo de prueba necesita interpretarse en referencia a un concepto objetivo; con otras palabras, la prueba que uno tiene de la verdad de h debe entenderse como el individuo considera que es prueba de la verdad de h . Por otro lado, aun cuando exista un concepto objetivo de prueba, y aun cuando pueda esta entenderse y definirse mediante un concepto objetivo, es el concepto subjetivo el que suele esgrimirse. Cuando Newton declara que el hecho de que los

planetas muestren fases prueba que Mercurio y Venus giran alrededor del Sol, lo que realmente está diciendo es que esto es lo que él y otros astrónomos de su tiempo toman por prueba. Cierto que la declaración de Newton y otros no es simplemente una declaración subjetiva o histórica, sino objetiva o ahistórica.

Tres son los principios que deben gobernar el concepto objetivo de prueba. El primero, o primer principio de creencia razonable, establece que si e constituye una prueba de la hipótesis h , entonces e constituye una buena razón para creer en la hipótesis h . Ahora bien, e constituirá una razón solo si la probabilidad de h , dado e , es suficientemente elevada. Simbolizaremos por k el valor umbral de lo suficientemente elevado. El segundo principio de creencia razonable establece que si e constituye una buena razón para creer en la hipótesis h , entonces no

puede ser una buena razón para creer en una hipótesis incompatible con h . De ambos principios se sigue que, si e constituye una prueba de la hipótesis h , entonces e no puede ser una prueba de h' , donde h' es incompatible con h . El valor umbral k debe ser mayor que $1/2$. Si k fuese inferior a $1/2$, entonces, puesto que las hipótesis incompatibles entre sí pueden tener, ambas, probabilidades inferiores a $1/2$, cabría la posibilidad de que e fuera prueba de cada una de las dos hipótesis incompatibles, lo que violaría el segundo principio. En conclusión, e constituye una prueba de la hipótesis h si y solo si $p(h|e) > 1/2$. De acuerdo con el tercer principio que gobierna la prueba objetiva, o principio empírico de prueba objetiva, que e constituya una prueba de h es una cuestión empírica, no una cuestión a priori.

—Luis Alonso



THE PIONEERING ODYSSEY OF FREEMAN DYSON, MAVERICK GENIUS

Por Phillip F. Schewe. Thomas Dunne Books; Nueva York, 2013.

Biografía de Dyson

El primer hombre que entendió a Feynman y a Schwinger

Maverick es un término inglés que viene a significar algo así como iconoclasta o inconformista, o incluso disidente. Son todos ellos calificativos que convienen al protagonista de este libro, Freeman Dyson, físico inglés nacionalizado americano, quien, a punto de cumplir los 90 años, es el último superviviente de los fundadores de la teoría cuántica de campos, la física cuántica relativista que describe las interacciones entre las partículas elementales.

Precisamente uno de los capítulos del libro glosa el hecho de que Dyson se quedase fuera de la terna que consiguió el premio Nobel de física en 1965: Feynman, Schwinger y Tomonaga. Dyson fue el primero que consiguió entender a Schwinger

y a Feynman, y se dio cuenta de que sus formulaciones de la teoría eran básicamente equivalentes. Este trabajo tuvo una enorme importancia histórica; de hecho, gran parte de la notación introducida por Dyson ha prevalecido hasta hoy en día en los libros de texto.

Son numerosos los científicos que piensan que Dyson hubiera compartido el premio si no fuese por la famosa cláusula que impide que sea dividido entre más de tres personas. Pero como dice el mismo Dyson con su característica acidez: «es mejor que te pregunten por qué no te han dado el Nobel a que te pregunten por qué te lo han dado».

Dyson es un espíritu inquieto. Ha colaborado con empresas próximas al Gobier-

no estadounidense en temas de defensa y ha pertenecido durante muchos años al famoso comité Jason, quizás el más conocido de los *think tanks*, que adquirió notoriedad en el 68 cuando se hizo pública su complicidad con la represión americana en la guerra de Vietnam.

Con frecuencia ha adoptado posturas minoritarias. No le ha importado trabajar en temas muy especulativos, como el proyecto Orión (viajes espaciales en naves propulsadas por cabezas nucleares), o en la supervivencia de civilizaciones a largo plazo. También es famosa su postura un tanto escéptica sobre la cuestión del calentamiento global.

Mirando el conjunto de su carrera, sorprende un poco que no se le haya concedido ningún premio importante, ni siquiera el Dannie Heinemann de la Sociedad Americana de Física. Aunque es verdad que no ha vuelto a realizar un trabajo del mismo nivel que el que glosamos al principio, no deja de ser cierto que ha hecho importantes contribuciones en temas tan diversos como la materia condensada (fue el primero en darse cuenta de que la estabilidad de la materia dependía de manera esencial del principio de exclusión de Pauli) o las matemáticas puras, su primera gran pasión.

Ha sido criticado por Richard Dawkins por haber aceptado el generoso premio de la fundación Templeton, dedicado a aquellas personas que contribuyen a un entendimiento entre ciencia y religión. En

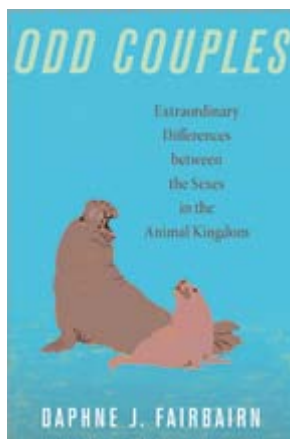
este sentido, es relevante un comentario de Dyson sobre una famosa frase de Steven Weinberg, uno de los físicos teóricos vivos más eminentes. Decía Weinberg —quien es un ateo confeso—, más o menos, que el que personas buenas hagan cosa malas solo es posible gracias a la religión. Dyson glosa la frase diciendo que eso es cierto, pero que es incompleto. La religión también permite que gente mala haga cosas buenas.

Sin embargo, no debe sacarse la impresión de que Dyson es un fanático. Nada más lejos de la realidad. Se le puede describir como lo que los norteamericanos llaman *liberal*.

A pesar de que las *hagiografías* no se encuentran entre mis lecturas preferidas —ni siquiera cuando tratan de físicos teóricos—, he de reconocer que este libro proporciona una lectura informativa

y amena, presentando un punto de vista bastante objetivo sobre el personaje, sin ser innecesariamente prolijo. El autor, Schewe, es un físico asociado con la Universidad de Maryland que se dedica fundamentalmente a la comunicación de la ciencia al gran público.

—Enrique Álvarez Vázquez
*Universidad Autónoma de Madrid
 Instituto de Física Teórica UAM/CSIC*



ODD COUPLES. EXTRAORDINARY DIFFERENCES BETWEEN THE SEXES IN THE ANIMAL KINGDOM

Por Daphne J. Fairbairn. Princeton University Press. Princeton, 2013.

Dimorfismo sexual

Importancia en la evolución biológica

De acuerdo con el estereotipo popular, elevado a categoría por determinadas interpretaciones de la antropología, los varones son de Marte y las mujeres de Venus. Lo cierto es que nuestras diferencias sexuales no pueden compararse con las de otros animales. Sin embargo, pese a esa somera disparidad física entre varón y mujer, los humanos son uno de los organismos más sexualmente dimórficos de todos los primates en su comportamiento. Las diferencias sexuales conductuales no son solo un artefacto de la cultura occidental o de la historia reciente, sino que atraviesan sociedades de todo el mundo y todos los tiempos.

Hay pocos animales que se reproducen sin interacción sexual. Algunos son hermafroditas, que combinan funciones masculinas y femeninas en el mismo individuo, pero la inmensa mayoría dividen su función reproductora en macho y hembra. Esta asignación dual se denomina dioica; predomina en animales tan dispares como mamíferos, insectos, gusanos y bivalvos. Se presenta en 26 de los 30 phyla animales y es la estrategia dominante o exclusiva en 17, incluidos los Artrópodos (insectos, arañas, crustáceos) y los Cordados, el phylum al que nosotros

pertenece. Por resumirlo brevemente, la inmensa mayoría de los animales pasan al menos la fase adulta de su vida como macho o como hembra.

La esencia del sexo en los animales es que cada sexo produce células germinales, o gametos, que portan una copia de los cromosomas parentales. Por definición, los machos producen gametos menores y más móviles (espermatozoides); las hembras producen gametos mayores y más ricos en nutrientes (óvulos), que no están capacitados para un movimiento independiente. La producción masiva de espermatozoides reviste particular interés en los animales acuáticos, donde los machos liberan el esperma al medio y el eyaculado se diluye rápidamente. Por eso los mecanismos de fecundación interna, más eficaces, han evolucionado en numerosos linajes y se encuentran ahora en al menos 21 phyla. Sin embargo, la fecundación interna presenta sus propios retos, incluida la necesidad de un órgano copulador especializado y un conjunto de interacciones sociales que permita a los machos asegurarse el apareamiento mediante persuasión, intimidación o ambos.

Machos y hembras difieren en su morfología externa de manera palmaria

en casi todas las clases del reino animal que contienen especies dioicas. Conviene recordar una división elemental entre caracteres sexuales secundarios y primarios. Los secundarios son rasgos que distinguen a los machos de las hembras en el seno de una especie, pero no son componentes del tracto reproductor (gónadas, conductos reproductores y genitales). Los componentes del tracto reproductor reciben la denominación conjunta de caracteres sexuales primarios.

En los estudios de diferenciación sexual hay un tipo de selección que ha recibido particular atención. Se trata de la selección que opera a través del éxito diferencial en la consecución de pareja. Darwin acuñó la expresión «selección sexual» para este tipo de selección. Describió su importancia en la evolución de los caracteres sexuales secundarios, particularmente en los machos. En 1859, definió en *The origin of species* esta selección, que no depende de una lucha por la existencia sino de una lucha de los machos por el acceso a la hembra. Desarrolló estas ideas y sus implicaciones para el hombre en *The descent of man and selection in relation to sex*, aparecido en 1871; aquí indicó que el dimorfismo sexual podía explicarse por selección aplicada diferenciadamente a cada sexo y realizó un exhaustivo análisis sobre la evolución de las diferencias sexuales. Desde entonces, legiones de ecólogos y naturalistas han aportado pruebas y confirmado la importancia de la selección en la producción de diferencias sexuales. El concepto de selección sexual se ha extendido para abarcar la competencia entre machos por lograr el éxito reproductor durante el apareamiento, competición entre el esperma de distintos machos en el tracto reproductor de la hembra y uso preferencial del esperma por las hembras. Abundan las pruebas de que la selección sexual sobre las hembras es mucho más significativa de lo que Darwin supuso.

En ecología evolutiva suele convenirse en que el dimorfismo sexual se manifiesta de una triple manera. En primer lugar, los roles sexuales de machos y hembras pueden situar a cada uno en una relación diferente con respecto al entorno, causando una selección y una respuesta distinta. Así, puesto que las hembras producen numerosos gametos, la diferencia en cuestión va asociada al tamaño corporal; de ahí el mayor tamaño que se observa en una cifra elevada de especies. Además, las especiales exigencias nutricionales demandadas por la producción de óvulos y la protección de huevos y crías, tareas que a menudo recaen sobre la hembra, pueden conducir a un uso diferenciado del entorno, lo que comporta diferentes factores selectivos sobre las hembras. El mero hecho de buscar un lugar adecuado para establecer el nido podría requerir que la hembra tenga que utilizar un hábitat distinto del escogido por el macho durante la estación de nidificación.

En segundo lugar, el dimorfismo sexual puede surgir a través de peleas entre machos por el acceso a las hembras. Tales contiendas pueden seleccionar un armamentario refinado para el combate, como la cornamenta de ciertas especies. En tercer lugar, el dimorfismo sexual podría emerger de una selección intersexual; es decir, el ejercicio directo de la elección de determinado individuo del sexo opuesto sobre la base de su apariencia y comportamiento. Con pocas excepciones, son las hembras las que escogen y los machos responden con una ostentosa exhibición de cortejo. La razón de que las hembras escojan y los machos compitan entre sí por el acceso al apareamiento guarda relación de dependencia de la asimetría general de la inversión de los progenitores que permite definir la condición de macho y de hembra. Los machos aumentan su fecundidad en relación directa con el número de apareamientos que consiguen; las hembras se hallan limitadas en el número de crías por la cuantía de huevos que pueden producir.

No existe pauta universal de diferenciación sexual entre animales. Más allá de los mecanismos básicos de la producción de espermatozoides u óvulos (el rasgo definidor de ser macho o hembra), los demás aspectos de la biología, ecología, historia biológica y comportamiento de macho o hembra pasan inadvertidos. En algunas especies, las hembras son gigantes y depredadores letales; en cambio, los machos son enanos y parásitos. En otras especies,

los machos alcanzan una talla imponente y se muestran pendenciosos, tanto que cubren la hembra con fuerza y violencia. Unas veces los machos ofrecen recursos o protección a su pareja (como en los cíclidos o los elefantes marinos). En otras ocasiones, solo aportan sus genes (como en las avutardas de los campos españoles). En algunas especies, los machos exitosos se aparean con muchas hembras; estas, en cambio, lo hacen con un solo macho o unos pocos. En otras especies, las hembras se aparean con muchos machos, mientras los machos pueden darse por contentos si lo consiguen una vez. El cuidado a cargo de los padres es un fenómeno raro; casi siempre corresponde a la madre. Sin embargo, en algunas especies son ambos progenitores los que cuidan de los huevos o de las crías; hay también casos en los que esa función queda reservada al macho.

Los sexos tienden a ser muy parecidos en las especies que liberan sus gametos directamente al medio, sin cortejo ni contacto sexual entre los individuos en freza. En muchas de esas especies solo el tejido gonadal separa los sexos y, en el caso extremo de las esponjas dioicas, los sexos se distinguen solo por el tipo de gameto. Las diferencias sexuales tienden también a diluirse en las especies en que ambos sexos participan de forma activa en la cría de la descendencia. Aunque se trata de un fenómeno raro, puede observarse sin dificultad en aves marinas que anidan en colonias (pingüinos, por ejemplo). Sin embargo, la gran mayoría de los animales caen entre ambos extremos y presentan diferencias sexuales más acusadas.

Por lo común, el cuidado parental, cuando no inexistente, se deja a las hembras en exclusiva. Los sexos viven separados, coincidiendo solo en el momento de la cópula. En estas especies, la morfología femenina refleja la especialización de la producción de óvulos o de la progenie. Un poderoso tamaño corporal, cuerpos gruesos y coloración críptica predominan en la morfología de las hembras en cuestión. En contraste, la morfología masculina refleja típicamente adaptaciones para la búsqueda de pareja o para competir con otros individuos por la hembra y su fecundación. Los machos de ese tenor presentan apéndices que pueden convertir en armas para la lucha, órganos de intromisión u órganos que envían señales de cortejo. El cuerpo del macho puede ser robusto y grande para resultar triunfador en la pelea física con otros machos, luminosamente coloreado para atraer a las hembras e inti-

midar a otros machos, o pequeño y críptico si su tarea principal se ciñe a encontrar hembras esquivas y escasas.

El resultado neto de toda esta variedad de tácticas reproductivas y morfologías muestra una amplísima variabilidad en pautas y magnitud de las diferencias sexuales. Parte de semejante diversidad queda reflejada en la variabilidad del dimorfismo sexual en el tamaño. Pero esto es solo una fracción de la realidad. Las diferencias sexuales abarcan prácticamente todos los aspectos de la morfología externa, la conducta e historia biológica; tales diferencias muestran tanta diferencia entre especies como dimorfismos sexuales en tamaño. En resumen, no hay una forma única de ser macho o hembra. Aunque podemos afirmar con seguridad que el macho diverge de la hembra en muchos más aspectos que en los caracteres sexuales primarios y que esas diferencias reflejan casi siempre una especialización de los roles sexuales masculinos y femeninos, no existe una pauta normal o típica de diferenciación sexual a través del reino animal. La eficacia biológica darwinista significa, en este contexto, el número de descendientes producidos o, alternativamente, el número de genes pasados a las generaciones siguientes.

Los sexos muestran diferencias extremas en su masa corporal. Ciertamente. La masa guarda una relación estrecha con otros actores de la biología y ecología de los animales, incluidos aspectos de la fisiología (tasa metabólica, producción y disipación de calor, coste energético del movimiento), morfología (robustez del esqueleto de soporte, tamaño relativo de cuernos y astas), rendimiento (velocidad máxima, aceleración), historia biológica (edad de madurez, intervalo de vida) y ecología (tamaño del territorio, distancia de dispersión, densidad de población).

La autora estudia ocho ejemplos que representan máxima diversidad animal: un mamífero, un ave y dos peces, entre los vertebrados. Por una razón poderosa: aun cuando no llegan al 4 por ciento las especies de vertebrados, conocen mejor las diferencias sexuales de ese grupo que las de la inmensidad de invertebrados; de estos, los casos reseñados representan solo 3 de los 30 phyla de invertebrados: moluscos, anélidos y artrópodos. Puesto que el último phylum comprende más del 78 por ciento de especies, parece apropiado incluir ejemplos de dos clases, a saber, arañas de la clase Arácnida y percebes de la clase Maxillopoda.

—Luis Alonso