


# TEMAS 56

INVESTIGACION  
**Y** CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

www.investigacionyciencia.es

6,50 EUROS



## INSTINTO SEXUAL

2º TRIMESTRE 2009





## SEXO Y ESPECIE

---

### 4 Sexualidad animal

*David Crews*

### 12 Ecofisiología de la serpiente jarretera

*David Crews y William R. Garstka*

### 22 Apareamiento del gallo de las artemisas

*R. Haven Wiley, Jr.*

### 32 Vida social de los bonobos

*Frans B. M. de Waal*

### 40 El turbador comportamiento de los orangutanes

*Anne Nacey Maggioncalda y Robert M. Sapolsky*



## BIOLOGIA

---

### 46 Los cromosomas sexuales

*Karin Jegalian y Bruce T. Lahn*

### 54 La sexualidad y el nervio secreto

*R. Douglas Fields*

### 62 Dimorfismo sexual cerebral

*Larry Cahill*



## CORTEJO Y EXPRESION

---

### 72 La seducción: del mono al hombre

*Marie-Claude Bomsel*

### 76 El sentido de la seducción

*André Langaney*

### 80 Origen de los celos

*Christine R. Harris*

### 90 La división sexual en un pueblo neolítico

*Ian Hodder*

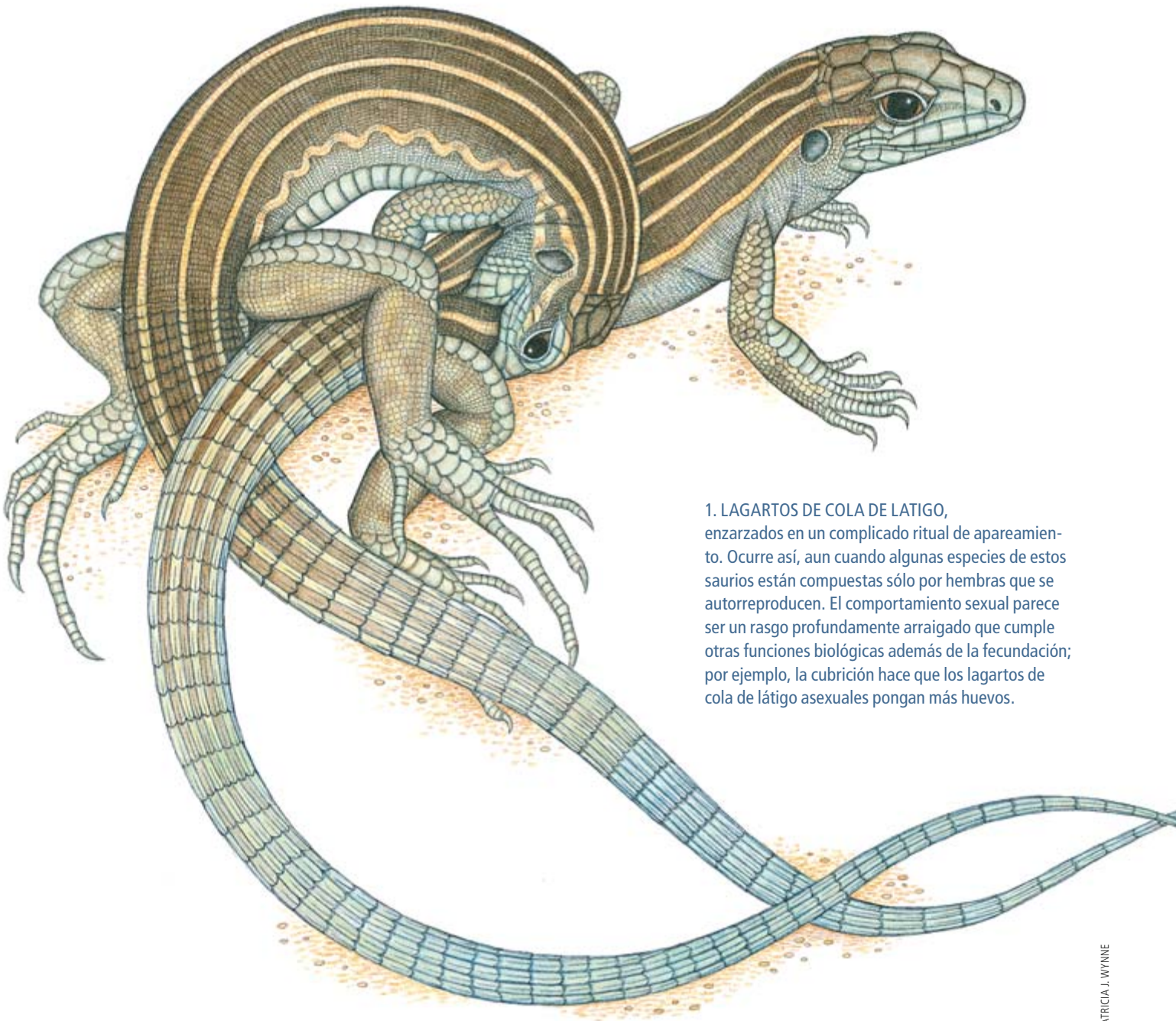
# SEXO Y ESPECIE



# Sexualidad animal

*Los animales han desarrollado toda una gama de mecanismos para decidir si un individuo adquiere rasgos masculinos o femeninos. Las comparaciones entre especies ofrecen claves sorprendentes sobre la naturaleza de la sexualidad*

David Crews



1. LAGARTOS DE COLA DE LATIGO, enzarzados en un complicado ritual de apareamiento. Ocurre así, aun cuando algunas especies de estos saurios están compuestas sólo por hembras que se autorreproducen. El comportamiento sexual parece ser un rasgo profundamente arraigado que cumple otras funciones biológicas además de la fecundación; por ejemplo, la cubrición hace que los lagartos de cola de látigo asexuales pongan más huevos.

Una de las características fundamentales de la vida es la sexualidad, la división en machos y hembras. Consideraciones sexuales influyen en la apariencia, la forma, el comportamiento y la constitución química de casi todos los organismos pluricelulares. Pero, aunque resulte sorprendente, no sabemos por qué existe el sexo. En los últimos decenios, sin embargo, ha ido apareciendo abundante información sobre los componentes multifacéticos de la sexualidad; y revelan que muchos aspectos familiares son menos universales de lo que antaño se suponía. De la investigación emerge una nueva manera de entender las relaciones entre machos y hembras, y un atisbo sobre la forma en que evolucionó el sexo.

Entre los vertebrados, la sexualidad se expresa de formas diversas. Machos y hembras manifiestan peculiaridades muy distintas de orden químico, anatómico y conductual. Por lo que concierne al comportamiento, la divergencia obvia se evidencia en la actividad copuladora. En general, los individuos dotados de testículos intentan la inseminación (comportamiento masculino típico), mientras que los provistos de ovarios son receptivos a la inseminación (comportamiento femenino típico). Machos y hembras suelen diferir en otros aspectos menos patentes: grado de actividad, regulación del peso corporal, nivel de agresión y pautas de aprendizaje. Algunas acciones específicas del género se hallan asociadas a diferencias sistemáticas en determinadas zonas del cerebro, aunque no necesariamente causadas por éstas.

A lo largo de los últimos cincuenta años, los biólogos han perfilado un esbozo general de la naturaleza de la sexualidad, un “esquema organizativo”. Aunque no es absolutamente general, esa idea explica, a grandes trazos, la estructura de la sexualidad en los humanos y otros mamíferos. Varios de mis colegas y yo mismo estamos investigando cómo generalizar el modelo para que abarque a todos los vertebrados.

Según el esquema o modelo organizativo, el sexo de un animal (la naturaleza de sus gónadas) queda determinado en el momento de la concepción por la constitución cromosómica heredada de sus progenitores. Las gónadas producen hormonas sexuales esteroides, que circulan durante los primeros estadios del desarrollo embrionario y esculpen las características masculinas o femeninas del individuo. Los rasgos sexuales masculinos son inducidos sobre todo por los andrógenos, una clase de hormonas (a la que pertenece la testosterona) sintetizada en los testículos. Los individuos carentes de testículos desarrollan ovarios, que generan principalmente estrógenos y progester-

tininas, hormonas femeninas. En este cuadro, el femenino es el sexo neutro, o defectivo, mientras que el masculino es el sexo organizado.

## Hormonas sexuales

Un elemento clave del esquema organizativo es el papel central desempeñado por las hormonas sexuales. La apreciación de la influencia de dichas hormonas en la diferenciación sexual se debe a Frank R. Lillie, de la Universidad de Chicago. A principios del siglo xx, Lillie observó que, cuando las vacas parían gemelos de sexos opuestos, el femenino era estéril y tenía rasgos masculinizados; su formación de embriólogo le llevó a sugerir que las hormonas androgénicas secretadas por el gemelo masculino en el útero materno imbuían en el gemelo femenino algunos rasgos masculinos. Desde entonces, se ha corroborado la conjetura de Lillie según la cual las gónadas embrionarias segregan las hormonas que hacen distintos a machos y hembras.

En los mamíferos, los embriones comienzan con una masa de tejido sexual primordial. El que ese tejido se transforme en gónadas masculinas o femeninas depende de la activación de ciertas señales genéticas. Luego, los activadores hormonales que actúan en el embrión controlarán el sexo de los genitales. Los testículos de los machos genéticos producen concentraciones importantes de andrógenos, que inducen la formación de conductos deferentes, pene y escroto. En ausencia de andrógenos, el embrión adquiere órganos sexuales femeninos: útero, clítoris y labios vaginales.

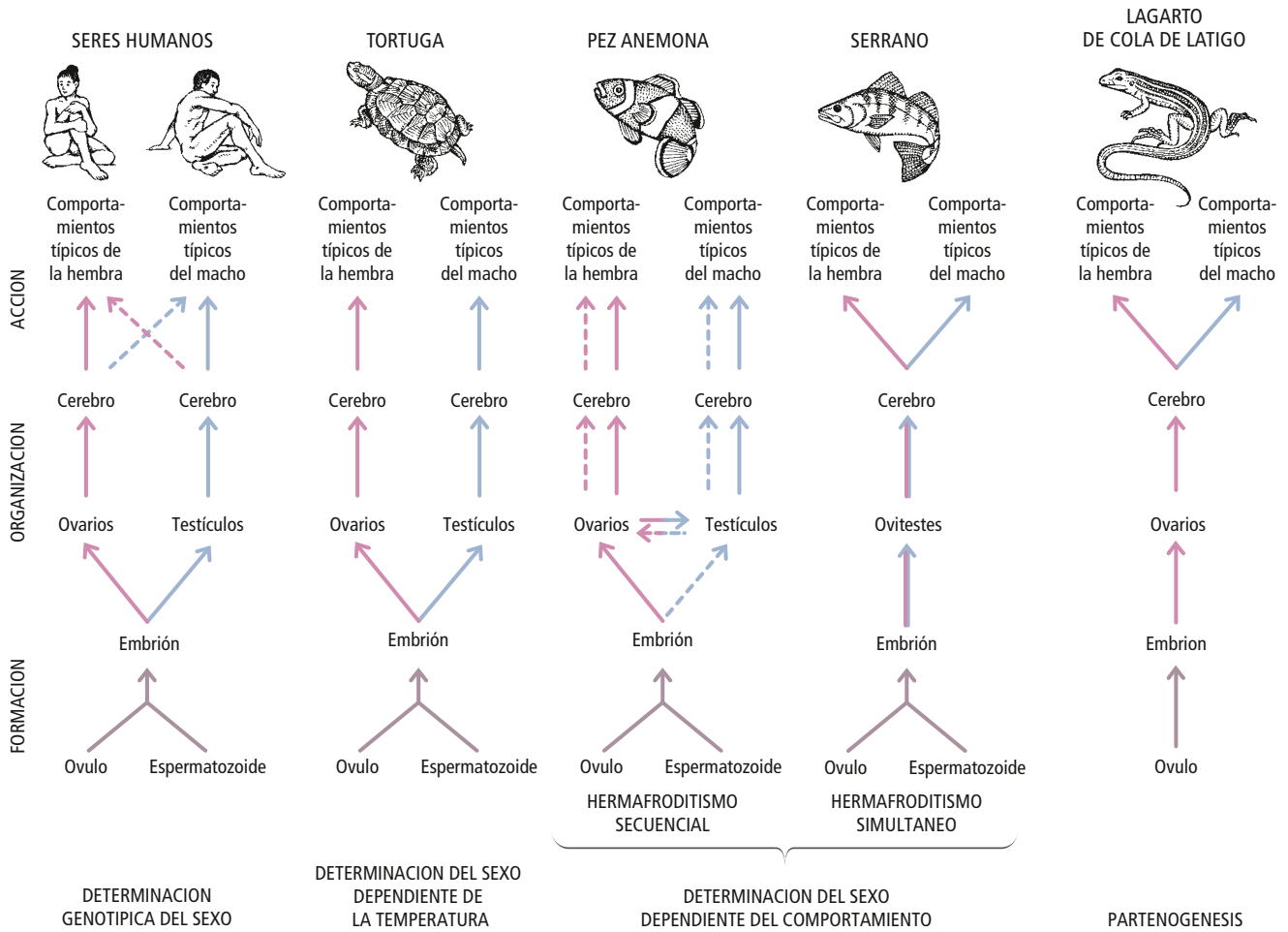
Pruebas obtenidas en la experimentación animal abonan la idea según la cual muchos componentes de la sexualidad adulta (y no sólo la estructura de los órganos sexuales) dependen del entorno hormonal durante el desarrollo fetal. Algunos de los apoyos más sólidos proceden de estudios realizados en especies que producen camadas de muchas crías en cada preñez. Durante tales embarazos, los fetos se disponen en el interior del útero como los guisantes en su vaina, agrupamiento que hace que los fetos masculinos y femeninos se encuentren juntos en un orden aleatorio.

En un entorno así, las hormonas esteroides producidas por las gónadas de un feto podrían influir en las estructuras neurales y sexuales secundarias y accesorias en desarrollo del feto adyacente. Y en efecto, Lynwood G. Clemens, de la Universidad estatal de Michigan, descubrió que el entorno hormonal creado por los fetos vecinos puede condicionar la sexualidad de las ratas adultas. Mertice Clark y Bennett G. Galef, de la Universidad McMaster, observaron un efecto similar entre los gerbillos.

Frederick S. vom Saal, de la Universidad de Missouri, y autor de un estudio exhaustivo sobre

## CONCEPTOS BASICOS

- Según la concepción tradicional, el sexo de un animal queda determinado en la concepción por la configuración cromosómica que herede de sus progenitores. Las hormonas sexuales desempeñan un papel fundamental en la construcción del sexo.
- Sin embargo, la distinción entre los dos sexos no es tan tajante. No sólo viene dada por el etiquetaje genético, sino por sutiles controles hormonales.
- No es infrecuente que los animales tengan comportamientos asociados normalmente con el sexo opuesto.
- La hembra quizá sea el sexo ancestral y el macho el derivado.



2. DIFERENCIACION SEXUAL, común en todas las especies de vertebrados si bien a través de mecanismos muy diferentes. En los mamíferos, los cromosomas heredados en el momento de la fecundación dictan si un individuo desarrollará órganos sexuales masculinos o femeninos. En muchos reptiles, la temperatura de incubación del embrión controla el sexo de un individuo. Los animales hermafroditas pasan de un comportamiento reproductor masculino a otro femenino, por lo general en respuesta al entorno social del individuo. Los hermafroditas simultáneos pueden alternar de sexo repetidamente. Los hermafroditas secuenciales cambian una sola vez de macho a hembra, o viceversa. Las especies partenogenéticas exhiben también un comportamiento sexual típico de macho y de hembra.

el desarrollo sexual en los ratones, ha descubierto que las hembras de ratón que se desarrollan entre dos fetos machos (“hembras 2M”), comparadas con los fetos femeninos que no se desarrollan cerca de un macho (“hembras 0M”), se hallan expuestas a concentraciones superiores de testosterona e inferiores de estrógeno. Después del nacimiento, las hembras 2M revelan una anatomía más masculinizada que las 0M, tardan más en llegar a la pubertad y, alcanzada la madurez, tienen ciclos reproductores más cortos y menos numerosos; asimismo, las 2M son menos atractivas y sexualmente menos estimulantes para los machos, además de mostrar una mayor agresividad contra otras hembras.

La hiena manchada, un carnívoro nocturno africano, ofrece otro ejemplo excelente del encauzamiento de la sexualidad adulta por las hormonas fetales. Las hembras exhiben muchas características normalmente asociadas con los machos de mamíferos. Dentro de un clan, o grupo social, las hembras adultas son mayores que los machos y pesan más; dominan a casi todos los machos adultos en las peleas y en el acceso al alimento. Las hembras tienen ovarios y genitales internos de aspecto normal, pero la morfología de sus genitales externos es masculinizada. Carecen de vagina externa y sus labios están fusionados, formando un saco escrotal completo con dos prominentes almohadillas de grasa que simulan los testículos. El clítoris de una hembra de hiena manchada, grande y

eréctil, se parece mucho al pene de un macho. Al igual que hacen muchos machos de otras especies, las hembras de hiena manchada emplean su clítoris en exhibiciones de saludo y en interacciones de dominancia.

Stephen E. Glickman y Laurence G. Frank, de la Universidad de California en Berkeley, atribuyeron esa masculinización del útero a los elevados niveles de androstenodiona en el torrente sanguíneo de la madre. La androstenodiona es un compuesto químico inactivo que puede convertirse en estrógeno o en testosterona. En la placenta de una hiena preñada, se transforma en estrógeno una cantidad exigua de esa sustancia, con el consiguiente aumento del nivel de testosterona en el feto. Suponen, pues, que la abundancia de testosterona produce los rasgos masculinizados de las hembras.

Debe existir, sin duda, algún mecanismo que explique la influencia del entorno hormonal embrionario en el comportamiento sexual adulto del animal. En 1959, Charles H. Phoenix, Robert W. Goy, Arnold A. Gerall y William C. Young, de la Universidad de Kansas, propusieron que las hormonas esteroideas secretadas en los embriones de mamíferos ayudan a organizar la sexualidad del cerebro. La investigación posterior ha demostrado que, en los vertebrados, las hormonas esteroideas actúan directamente sobre neuronas específicas, interconectadas en circuitos. Estos circuitos

neuronales parecen proporcionar el estímulo que genera las diferencias de comportamiento entre machos y hembras.

### Las hormonas y el cerebro

Varios descubrimientos aclararon en buena medida cuál es la conexión entre hormonas, estructura cerebral y comportamiento sexual. Así, el grupo de Pauline I. Yahr, de la Universidad de California en Irvine, identificó en el cerebro del gerbillo un núcleo que sólo poseen los machos; se trata de un núcleo incluido en un área que ayuda a controlar el comportamiento copulatorio de los machos. Las hembras de esta especie a las que se inyecta andrógenos en las etapas iniciales de la vida desarrollan este núcleo “masculino” y adoptan algunas características de comportamiento típico del macho.

Ciertas especies de paseriformes manifiestan también estructuras cerebrales influidas por hormonas, que parecen corresponder a los papeles sexuales en el cortejo. Los canarios macho comienzan a cantar en primavera, cuando sus niveles de andrógenos son elevados. Mediante el canto establecen territorios de cría, a la vez que atraen a las hembras. Estas responden al canto, pero no cantan. Fernando Nottebohm, de la Universidad Rockefeller, y otros han determinado que el comportamiento complementario de machos y hembras de canarios y de otros pájaros canoros va acompañado de diferencias en la estructura de sus cerebros.

Han descubierto que el canto depende de una serie interconectada de núcleos cerebrales que controlan los órganos vocales. Las zonas cerebrales de control del canto suelen ser mucho menores en las hembras que en los machos, y son las hormonas esteroides las que determinan en los embriones de paseriformes qué neuronas van a sobrevivir y cuáles morirán. Como consecuencia, el tamaño y el número de las neuronas presentes en los núcleos que controlan el canto, así como la cantidad de sinapsis, superan en los machos los de las hembras.

Nottebohm ha demostrado que el tamaño de los núcleos cerebrales que controlan el canto varía con las estaciones, creciendo y decreciendo en sintonía con el flujo del ciclo reproductor. Con su grupo, ha recreado artificialmente dichos cambios estacionales del canto en machos de estas especies canoras mediante la castración (para reducir sus niveles de andrógenos) o la inyección de andrógeno (para aumentar estos niveles). En experimentos relacionados, se ha inducido el canto en hembras de canarios a las que se inyectó la cantidad apropiada de andrógeno.

Un descubrimiento particularmente estimulante y controvertido de la relación entre

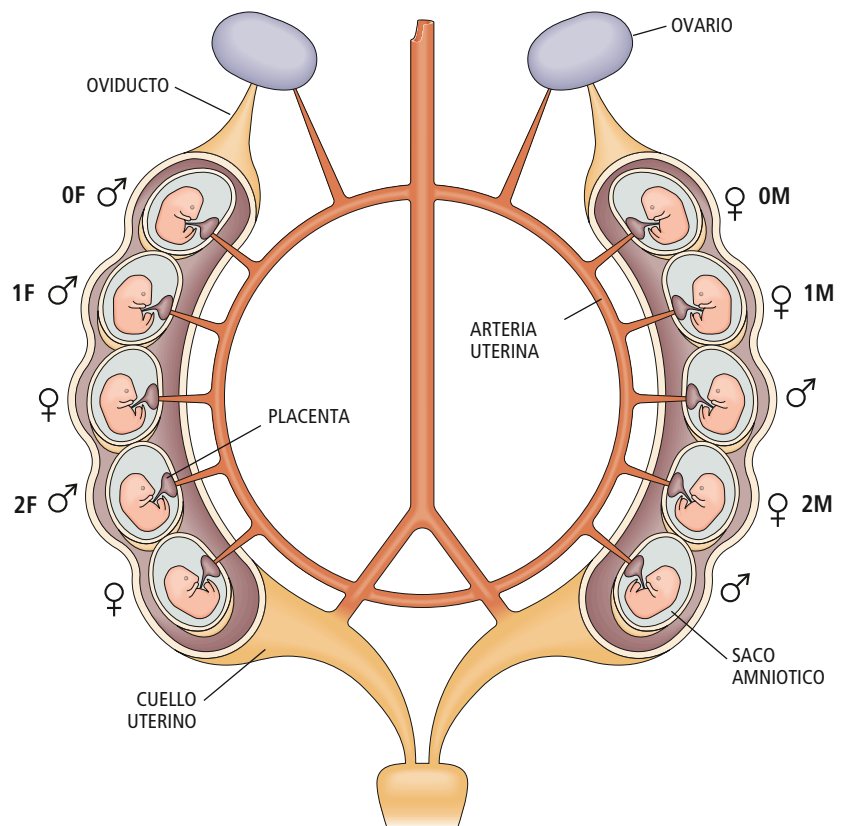
un comportamiento sexual y una estructura del cerebro concierne a la homosexualidad en los seres humanos. Simon LeVay, del Instituto Salk para Estudios Biológicos en San Diego, ha señalado que el tamaño de un núcleo hipotalámico anterior de varones homosexuales se parece mucho más a la estructura correspondiente de las mujeres que a la de varones heterosexuales. El equipo de Dean H. Hamer, del norteamericano Instituto Nacional de la Salud, afirma haber encontrado en el cromosoma X una región que podría contener uno o varios genes de la homosexualidad. Si así fuera, la estructura cerebral asociada estaría bajo control genético directo. También es posible, sin embargo, que el entorno hormonal que rodea al feto controle parcial o totalmente el desarrollo del núcleo cerebral.

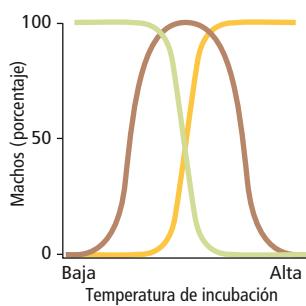
### Una división no tan tajante

Estos descubrimientos ilustran cuán insuficiente es la división estereotipada en macho o hembra. Como deja bien claro el esquema organizativo, la sexualidad depende de controles hormonales sutiles, no sólo de un etiquetaje genético que separa tajantemente machos y hembras. Y este hallazgo se aplica a todos los tejidos asociados con la reproducción, entre los que se cuentan los circuitos cerebrales que subyacen al comportamiento sexual.

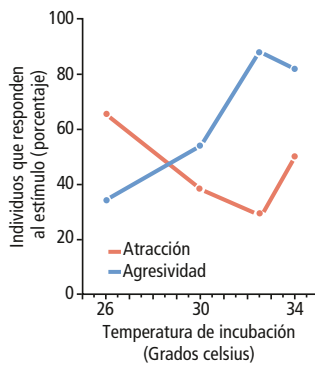
En la mayoría de los vertebrados, los adultos exhiben comportamientos sexuales homotípi-

**3. ENTORNO HORMONAL del útero y su influencia en la sexualidad adulta de ratones, gerbillos y ratas.** Los embriones femeninos rodeados a ambos lados por machos (hembras 2M) se hallan expuestos a niveles más elevados de testosterona que los que no se desarrollan junto a un macho (hembras 0M). Las hembras 2M maduras poseen una anatomía masculinizada; también son más agresivas y menos atractivas para los machos que las hembras 0M. El efecto feminizador opuesto se observa en los machos rodeados por hembras (machos 2F).





- Muchos saurios, caimanes
- Geco leopardo, tortuga mordedora, cocodrilos
- Muchas tortugas



**4. LA TEMPERATURA DE INCUBACION de los embriones determina la proporción sexual en muchos tipos de reptiles.** Según las especies, los embriones se desarrollan predominantemente en machos a temperaturas bajas, intermedias o altas (*arriba*). Entre las hembras de geco leopardo, temperaturas de incubación más elevadas (hasta 32,5 grados Celsius) suscitan un aumento de la agresividad y menguan la intensidad de la atracción ejercida sobre los machos (*abajo*). La fotografía muestra el cortejo normal en los geocos leopardo.

cos, es decir, característicos de su propio sexo gonadal. Pero no es infrecuente que realicen pautas de comportamiento normalmente asociadas con el sexo opuesto: comportamientos heterotípicos; a modo de ejemplo, las hembras se dedican a la cubrición, en tanto que los machos solicitan ser cubiertos.

Estos comportamientos sexuales heterotípicos son una parte frecuente e importante de la biología social de muchas especies, en especial entre los mamíferos. Las vacas suelen cubrir a otras hembras, práctica que parece ayudar a sincronizar los ciclos reproductores del rebaño. En los macacos búnder, la cubrición constituye un indicador de dominancia, para mantener una jerarquía social ordenada. Aunque las hormonas embrionarias dirigen el desarrollo neuronal, parece que el cerebro nunca pierde por completo la circuitería doble que permite un comportamiento sexual tanto homotípico como heterotípico.

Hasta aquí, el esquema o modelo organizativo parece ofrecer un marco cabal para comprender la sexualidad. Se corre el riesgo, no obstante, de generalizar sobre su naturaleza basándose en observaciones de un número muy pequeño de especies, todas ellas vertebrados de sangre caliente, como aves y mamíferos. Para evaluar las conclusiones resultantes sobre la sexualidad animal, hay que considerar una gama mucho más extensa de especies de vertebrados. Gran parte de mi propia investigación se ha centrado en determinar en qué medida el esquema organizativo es aplicable a los reptiles y los peces, vertebrados de sangre fría.

Esa línea de investigación es decisiva para elaborar una imagen más completa de la sexualidad animal. Los tipos de maduración y comportamiento sexual que se encuentran en un tipo determinado de mamífero o de ave reflejan tal vez las adaptaciones únicas de aquella especie. Los rasgos sexuales que comparten muchas clases diferentes de vertebrados, en cambio, datan presumiblemente de un estadio evolutivo más antiguo. Del mismo

modo, los comportamientos sexuales (pensemos en la cubrición) que aparecen tanto en machos como en hembras pueden preceder a actividades de apareamiento específicas del sexo, más familiares. Sólo conociendo las raíces evolutivas de la sexualidad podremos desenrañar las reglas que gobiernan este proceso vital omnipresente.

### Determinación del sexo no genética

Cuando se contempla desde una perspectiva que abarca todos los vertebrados, el modelo organizativo fracasa de plano. Yo veo sólo un componente verdaderamente esencial de la sexualidad animal: los efectos organizativos de las hormonas sexuales en los tejidos que intervienen en la reproducción. Ahora bien, el mecanismo que dirige estos efectos varía de manera considerable.

En el esquema organizativo, los cromosomas sexuales ejercen el control último sobre el sexo que se impondrá en un individuo. Pero muchos peces y reptiles carecen de cromosomas sexuales. Estas especies cuentan con activadores no genéticos que guían la diferenciación sexual.

En el seno de tales especies, el sexo de un individuo acostumbra venir condicionado por el entorno; en unos casos, el factor determinante es la temperatura a la que el embrión se desarrolla (determinación sexual dependiente de la temperatura); en otros casos, se trata del entorno social del adulto (determinación del sexo dependiente del comportamiento). Algunas especies animales prescinden incluso de la diferenciación sexual y se reproducen por partenogénesis, un proceso asexual. Estos métodos no genéticos de diferenciación sexual pueden ser precursores evolutivos del control cromosómico utilizado en los mamíferos.

La determinación del sexo dependiente de la temperatura se identificó hace más de 25 años, cuando Madeline Charnier, de la Universidad de Dakar, observó que la temperatura a la que eran incubados los huevos del lagarto arco iris gobernaba su proporción sexual. En las postrimerías de los años setenta, James J. Bull y Richard Vogt, de la Universidad de Wisconsin, demostraron que la temperatura activa algún mecanismo, desconocido hasta ahora, de determinación del sexo.

Sabemos ya que la temperatura controla el sexo en muchas especies de reptiles, entre ellas todos los crocodilios, muchas tortugas y algunos saurios. Aunque todos los reptiles dependientes de la temperatura carecen de cromosomas sexuales, su sexo, una vez establecido, se mantiene sin modificación a lo largo de toda su vida. En estas especies, la determinación del sexo se produce en una etapa intermedia