

Luis Óscar Romero Morales y Juana Luis

Conducta parental en roedores

El cuidado parental –que incluye la conducta materna y paterna– tiene un papel muy importante en el desarrollo y la supervivencia de las crías. Aunque aún son pocos los estudios en torno a los mecanismos de regulación de la conducta paterna, los resultados aportan evidencias de una homología en los mecanismos de regulación entre estas conductas.

El cuidado parental lo proporcionan tanto la madre como el padre y se define como cualquier actividad que realizan en beneficio de las crías para garantizar su supervivencia (Dulac y cols., 2014). La conducta parental se despliega en una gran variedad de animales vertebrados e invertebrados. En el caso de los mamíferos, cerca de 5% de las especies se caracterizan por que el macho participa de manera significativa en el cuidado de la progenie; esto es, el padre proporciona a las crías los mismos cuidados que la madre, a excepción de la lactancia.

La conducta parental se regula a nivel sensorial, hormonal y neural. Cabe señalar que hay mucha información sobre los mecanismos de regulación de la conducta materna, a diferencia de la conducta paterna. Sin embargo, los estudios realizados hasta hoy sugieren que los mecanismos de regulación de la conducta materna y paterna son homólogos; incluso se ha propuesto la hipótesis de que las mismas hormonas que regulan la conducta materna también participan en la regulación de la conducta paterna, y que estas hormonas ejercen sus efectos en las mismas áreas neurales para regular dicha conducta (Wynne-Edwards y Reburn, 2000).

En este contexto, haremos un breve análisis de la homología y las diferencias entre los mecanismos que regulan ambas conductas. En el estudio de la conducta materna, la rata de laboratorio (*Rattus nor-*

vergicus) ha sido el modelo por excelencia, mientras que en el estudio de los mecanismos que regulan la conducta paterna se ha utilizado al ratón de laboratorio (*Mus musculus*) y a los machos de especies biparentales, como el gerbo de Mongolia (*Meriones unguiculatus*), el ratón de California (*Peromyscus californicus*), el hámster enano (*Phodopus campbelli*), el topillo de las praderas (*Microtus ochrogaster*), el topillo mandarín (*Microtus mandarinus*), entre otros.

El cuidado de la progenie es un comportamiento complejo que implica la detección y el procesamiento de las señales provenientes de las crías, el estado hormonal del individuo y, por último, la ejecución de las actividades parentales. En los roedores, la conducta parental está integrada por la construcción y mantenimiento del nido, el olfateo, la recuperación de las crías, el acicalamiento, el abrigo, la socialización y –en el caso de la conducta materna– la lactancia (véase la Tabla 1).

Tabla 1. Actividades que integran la conducta parental en los roedores

Conducta	Actividad	Descripción
Parental	Olfateo	Se acercan a las crías, moviendo rítmicamente las vibrisas, para olfatearlas e incluso las tocan con la nariz.
	Recuperación de las crías	Con el hocico toman a las crías por el dorso y las regresan al nido.
	Acicalamiento	Lamen todo el cuerpo de la cría, principalmente la región perianal, lo que ayuda a eliminar los desechos sólidos.
	Abrigo	Arquean el dorso para hacer una concavidad debajo de su cuerpo en la cual acomodan a las crías para proporcionarles calor y, en el caso de las hembras, también para amamantarlas.
	Construcción y mantenimiento del nido	Con materiales de su hábitat construyen un nido o madriguera, el cual acomodan con frecuencia.
	Sociabilización	Asisten a las crías en la exploración de su ambiente físico y social.
Materna	Lactancia	La hembra adopta varias posiciones para lactar a las crías, por ejemplo, apoyada en sus cuatro patas arquea el dorso, o bien puede acostarse de lado y exponer la región ventral.



■ **Detección y procesamiento de las señales**
 ■ **provenientes de las crías**

Para que se despliegue la conducta parental, es necesario que tanto las madres como los padres reconozcan con precisión a sus crías, lo cual conlleva la proximidad física para la ejecución de los cuidados. Los mecanismos mediante los cuales ocurre el reconocimiento de las crías varían según la especie. Éstos pueden implicar estímulos sensoriales, mediante la visión, audición, gusto, tacto y olfato.

En la rata, la remoción o la suturación de los ojos antes del parto no ocasiona alteraciones en la conducta materna, lo cual muestra que los estímulos visuales no tienen una influencia. Al contrario, los estímulos auditivos influyen de manera notoria, pues las vocalizaciones que emiten las crías de la rata —que van de lo audible al rango de ultrasónicas— tienen como función principal informar a la madre sobre la ubicación de las crías para recuperarlas y regresarlas al nido. No obstante, las crías no sólo emiten vocalizaciones cuando están fuera del nido, sino que también lo hacen cuando el cuerpo de la madre las comprime, al ser abrigadas o alimentadas. Por las vocalizaciones ultrasónicas, las ratas y ratones que son madres pueden discriminar el sexo de sus crías.

Asimismo, la audición parece influir también en la conducta paterna. En el ratón de laboratorio, los padres e incluso los machos vírgenes que han tenido experiencias con las crías de su especie muestran

preferencia por las vocalizaciones ultrasónicas, a diferencia de los machos vírgenes sin experiencia. Las vocalizaciones de la pareja de este ratón también facilitan el cuidado paterno.

Por otra parte, la influencia que pudiera tener el gusto en la conducta materna no se ha examinado con detalle, pero cuando a la rata de laboratorio se le aplica anestesia sobre la lengua, disminuye de forma significativa el lamido, pero no la recuperación de las crías. Sin embargo, se desconoce si la anestesia de la lengua afecta sólo el gusto o también las entradas somatosensoriales (todas aquellas sensaciones relacionadas con el tacto y la temperatura). Con respecto a la influencia que pudiera tener el gusto en la conducta paterna, a la fecha no se han hecho investigaciones.

En tanto, los olores provenientes de las crías son los estímulos más potentes en las hembras parturientas de estos roedores para el inicio de la conducta materna y su mantenimiento durante el periodo de lactancia. No obstante, en la mayoría de las hembras vírgenes, las señales olfativas de las crías inhiben el acercamiento a éstas y facilitan el rechazo. Esta diferencia en la respuesta hacia las crías se debe al estado hormonal, sobre todo por las concentraciones de estradiol; las hembras parturientas tienen altas concentraciones de esta hormona en comparación con las hembras vírgenes.

En la rata de laboratorio, la bulbectomía (retirar los bulbos olfatorios) o el tratamiento con sulfato de zinc (sustancia que provoca anosmia) reducen de forma significativa los cuidados maternos. Esto demuestra que el olfato es la principal vía sensorial de entrada de los estímulos provenientes de las crías. En tanto, para la regulación de la conducta paterna, el olfato también parece tener una gran influencia, aunque son muy escasos los estudios a este respecto.

En experimentos con ratas, los machos sin experiencia sexual que tuvieron una bulbectomía o un tratamiento con sulfato de zinc tienen un menor tiempo de sensibilización; es decir, disminuye el tiempo que deben ser expuestos a las crías para que se desencadene la conducta paterna. En los machos del topillo de la pradera, las lesiones en el bulbo olfatorio ocasionan un aumento de la agresión hacia



las crías, cuando por lo general los machos de este roedor proporcionan cuidados a la progenie.

Adicionalmente, la estimulación somatosensorial perioral (alrededor de la boca) y ventral (en el abdomen) influye en la conducta materna; de esta manera, el acicalamiento y la recuperación de las crías se inhiben cuando se anestesia la zona perioral o quirúrgicamente se cortan los nervios que transmiten los estímulos somatosensoriales de la región ventral al cerebro. Además de ello, la lactancia es facilitada por los estímulos de las crías al succionar los pezones; por ejemplo, cuando a las crías se les anestesia la región perioral, lo cual inhibe la succión del pezón, la madre se aleja del nido y no despliega esta conducta materna. En el caso de los cuidados paternos, no existen estudios sobre la importancia de los estímulos somatosensoriales, en parte porque los machos no lactan; sin embargo, los machos del topillo de campo que tienen contacto físico directo con sus parejas pasan más tiempo cerca de sus crías, en comparación con aquéllos que sólo reciben señales distales de éstas.

Regulación neural de la conducta parental

Con base en un buen número de estudios realizados con hembras vírgenes de la rata de laboratorio se ha propuesto el modelo de aproximación-evitación (*approach-avoidance*), el cual postula que el circuito neural que regula la conducta materna está integrado por núcleos neuronales que la facilitan mientras otros la inhiben. Cuando las hembras vírgenes de la rata de laboratorio son expuestas a crías de su especie, pueden aproximarse e interactuar de un modo maternal, pero también pueden evitarlas. Esta dualidad en la respuesta materna se corresponde a nivel neural con regiones involucradas en promover la respuesta materna y otras implicadas en la inhibición de esta conducta.

Las regiones neurales que regulan positivamente la conducta materna son el área preóptica media y el lecho del núcleo de la estría *terminalis*, mientras que el núcleo anterior del hipotálamo, el hipotálamo ventromedial y la sustancia gris periacueductal regulan negativamente esta conducta. La amígdala



media y el bulbo olfatorio transmiten estímulos olfativos tanto a regiones positivas como negativas del circuito neural que regula la conducta materna (Numan e Insel, 2003; véase la Figura 1).

No obstante, son pocos los estudios en torno a la regulación neural de la conducta paterna, aunque en el ratón de California se ha mostrado que el área preóptica media, como en la conducta materna, tiene una función central para la regulación. En nuestro laboratorio, hemos mostrado que los machos del gerbo de Mongolia sin experiencia sexual, al igual que las hembras vírgenes de la rata de laboratorio, pueden ser paternales o agresivos con las crías de su especie. Esta dualidad conductual se corresponde con regiones facilitadoras de la conducta paterna, como el área preóptica media y el lecho del núcleo de la estría *terminalis*, y otras áreas negativas, que incluyen el núcleo anterior del hipotálamo, el hipotálamo ventromedial y la sustancia gris periacueductal (Romero-Morales y cols., 2018b; véase la Figura 1). Esto apoya la explicación de que los mismos núcleos neuronales que regulan la conducta materna también participan en la regulación de la conducta paterna.

Hormonas y conducta parental

Entre las hormonas que regulan el inicio de la conducta materna se encuentran el estradiol, la progesterona, la prolactina y dos neuropéptidos: oxitocina y vasopresina. Pero cabe mencionar que sólo el inicio de la conducta materna depende de estos

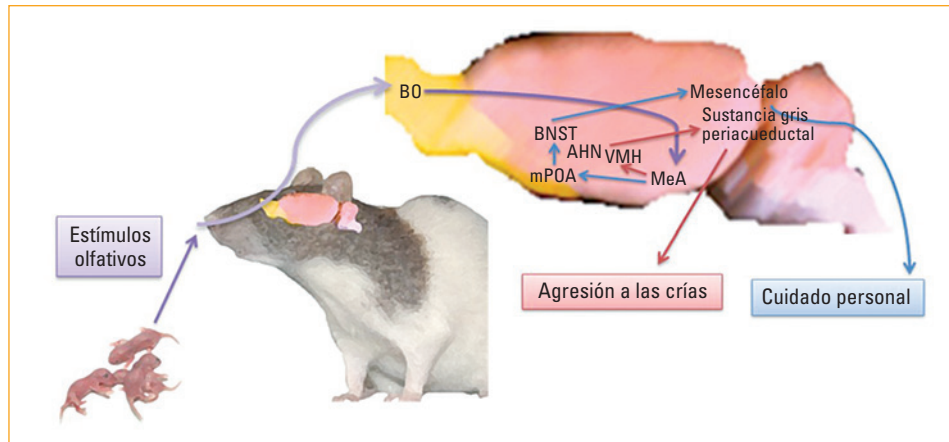


Figura 1. Circuito neural que regula los cuidados parentales a partir de estímulos olfativos que son procesados en el bulbo olfatorio (BO), el cual tiene conexiones con la amígdala media (MeA). Dependiendo del estado fisiológico del macho o la hembra, van a tener conexiones con regiones positivas (flechas azules; área preóptica media: mPOA, núcleo del lecho de la estría *terminalis*: BNST y mesencéfalo) que van a permitir el acercamiento a las crías y el cuidado parental; mientras que, si los padres muestran agresión hacia las crías, se activarán las regiones inhibitorias (flechas rojas; área hipotalámica anterior: AHN, hipotálamo ventromedial: VMH y sustancia gris periacueductal).

cambios hormonales, y que su mantenimiento es en función de la presencia de las crías.

En la rata de laboratorio, los cambios que ocurren al final de la preñez conllevan una disminución en la concentración de progesterona y, principalmente, un aumento en la concentración de estradiol. Esta última hormona tiene una función esencial en la regulación de la conducta materna; en ratas vírgenes ovariectomizadas a las que se les administra una sola dosis alta de benzoato de estradiol, induce el inicio de la conducta materna. El aumento en la concentración de estradiol es clave debido a que potencia el efecto de otras hormonas que promueven la conducta materna o las activa. Por ejemplo, la prolactina potencia el inicio de la conducta materna y es dependiente del estradiol; asimismo, la activación de la oxitocina y su receptor ocurre en respuesta al aumento en la concentración de esta hormona.

La mayoría de los machos de roedores biparentales presentan cambios hormonales en la transición de machos agresivos con las crías a machos que llevan a cabo cuidados paternos para evitar dañar a su descendencia. A estos cambios están asociadas en general las mismas hormonas y los neuropéptidos que participan en la regulación de la conducta materna: prolactina, oxitocina, vasopresina, progesterona, así como la testosterona y sus metabolitos, estradiol y dihidrotestosterona.

Los metabolitos de la testosterona facilitan el inicio de la conducta paterna, aunque aún no se ha determinado —como en el caso de la conducta materna— si el mantenimiento de esta conducta es dependiente de hormonas, o bien podría depender de la presencia de las crías. En el topillo rojo (*Myodes glareolus*), roedor endémico de Gran Bretaña, se ha mostrado que las altas concentraciones de testosterona facilitan los cuidados paternos. La castración en el ratón de California, que reduce de manera significativa las concentraciones de testosterona, ocasiona que el padre invierta menos tiempo en el cuidado de sus crías. En el ratón de los volcanes (*Neotomodon alstoni*), los machos sin experiencia sexual, que suelen ser agresivos con las crías, se vuelven paternales después de la administración de testosterona (Luis y cols., 2010).

La evidencia también muestra que la testosterona regula la conducta paterna por medio de sus metabolitos: el estradiol y la dihidrotestosterona. En el ratón de California, la administración de estradiol a machos castrados ocasiona un aumento de los cuidados paternos. Además, cuando a los machos castrados de este roedor se les administró testosterona, estradiol o testosterona más fadrozol (un inhibidor de la aromataza, enzima que participa en la transformación de la testosterona a estradiol), únicamente los machos tratados con testosterona o estradiol presentaron un aumento en los cuidados paternos.

Por otra parte, en el hámster enano, los machos sin experiencia sexual y agresivos con las crías transitan a ser paternas cuando son tratados con estradiol (Romero-Morales y cols., 2018a). En el gerbo de Mongolia y el ratón de los volcanes, tanto el estradiol como la dihidrotestosterona inducen la transición de machos agresivos con las crías a paternas (Martínez y cols., 2015). Estos estudios indican que la conducta paterna es regulada por la conversión de testosterona a estradiol únicamente, o bien por su conversión a estradiol y dihidrotestosterona.

Lo anterior podría explicar la existencia de dos patrones de regulación hormonal en los roedores biparentales. Sin embargo, aún se requiere determinar cuál es el efecto de la testosterona y sus metabolitos en la mayoría de las especies biparentales. También se podría esperar que la conversión de la testosterona a sus metabolitos potencie el efecto o active otras hormonas que participan en la regulación de la conducta paterna, como lo hace el estradiol en la regulación de la conducta materna.

■ Conclusión

■ Hay fuertes evidencias de que los mecanismos de regulación de la conducta materna y paterna son homólogos, con la diferencia de que la función de la dihidrotestosterona no se ha analizado en la regulación de la conducta materna. Sin embargo, es necesario hacer más investigación en torno a la regulación de la conducta paterna para llevar a cabo más comparaciones entre los mecanismos que regulan estas conductas.

Luis Óscar Romero Morales

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.
luis_8r@hotmail.com

Juana Luis

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.
luisdc@unam.mx

Referencias específicas

- Dulac, C. *et al.* (2014), "Neural control of maternal and paternal behaviors", *Science*, 345(6198):765-770.
- Luis, J. *et al.* (2010), "Neither testosterone levels nor aggression decrease when the male Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) displays paternal behavior", *Hormones and Behavior*, 57:271-275.
- Martínez, A. *et al.* (2015), "Paternal behavior in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) would be regulated by estrogenic and androgenic pathways", *Hormones and Behavior*, 71:91-95.
- Martínez, A. *et al.* (2019), "Paternal behavior in the Mongolian gerbil, and its regulation by social factors, T, ER α , and AR", *Hormones and Behavior*, 199:351-358.
- Mayer, A. D. y J. S. Rosenblatt (1984), "Prepartum changes in maternal responsiveness and nest defense in *Rattus norvegicus*", *Journal of Comparative Psychology*, 98:177-188.
- Numan, M. y T. R. Insel (2003), *The neurobiology of parental behavior*, Nueva York, Springer.
- Romero-Morales, L. O. *et al.* (2018a), "An increase in estradiol facilitates the onset of paternal behavior in the dwarf hamster (*Phodopus campbelli*)", *Hormones and Behavior*, 99:35-40.
- Romero-Morales, L. O. *et al.* (2018b), "Neuronal activation associated with paternal and aversive interactions toward pups in the Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*)", *Hormones and Behavior*, 105:47-57.
- Romero-Morales, L. O. *et al.* (2021), "Paternal and infanticidal behavior in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*): An approach to neuroendocrine regulation", *Behavioural Brain Research*, 415:113520.
- Wynne-Edwards, K. E. y C. J. Reburn (2000), "Behavioral endocrinology of mammalian fatherhood", *Trends in Ecology & Evolution*, 15(11):464-468.