

Ecofisiología

Diversos animales y vegetales experimentan una serie de ajustes fisiológicos para adaptarse a los cambios del entorno y, con ello, sobrevivir. Precisamente la teoría de la evolución de Charles Darwin se centra en las alteraciones biológicas y de comportamiento que presentan las especies ante algún tipo de modificación de su hábitat o en la interrelación de grupo. En ese sentido, presentamos cuatro textos sobre algunas variantes de lagartijas y uno más sobre los vínculos afectivos en anfibios y otras especies, incluidos los humanos.

En el caso de las lagartijas, sus adaptaciones les han permitido vivir en condiciones extremas, reproducirse y mejorar su calidad genética. Entre estas modificaciones está la capacidad de vivir en entornos poco favorables, como los bosques a gran altitud que provocan hipoxia o las zonas urbanas que han propiciado cambios en la coloración para la atracción sexual y una reducción significativa de carga parasitaria, lo cual podría identificarse como una ventaja. Algunos de sus ornamentos sirven para ocultar su deficiente estado de salud, pero, con este signo engañoso, alteran el proceso de selección natural.

En cuanto a la diferenciación sexual, se presenta un interesante experimento con variaciones de temperatura ante la ausencia de cromosomas en el periodo de incubación. Un ambiente más cálido acelera el crecimiento de los embriones e influye en el tamaño de las crías, el desempeño locomotor y la sobrevivencia, pero no interfiere en la proporción de los sexos; por tanto, la determinación sexual genética es un aspecto que se observa en todas las especies de lagartijas.

Finalmente, se aborda la forma en que las hormonas producidas por la glándula hipofisaria crean vínculos afectivos, desarrollan el aprendizaje y la memoria. Sin embargo, los procesos conductuales tienen mayor dependencia del ambiente: si este es negativo, la síntesis de la oxitocina y otras hormonas generan mayor agresividad y menor socialización. Sin duda, aún hay mucho por investigar, pero estos avances dan pistas significativas de cómo funciona el amor ecofisiológico.

Caras vemos, calidad no sabemos: el rol de la coloración sexual en lagartijas

Por Jimena Rivera-Rea y Eréndira Quintana-Sánchez

Charles Darwin se encontraba desarrollando la teoría de la evolución por selección natural cuando se encontró con un problema: ¿cómo definir la diversidad biológica? Entre las variables que analizó para resolver esta pregunta se encontraban las características físicas de las especies. Los ornamentos de las distintas especies tenían especial interés para él. Su curiosidad se incrementaría cuando notó que generalmente los machos desarrollaban atributos exuberantes y parecía que eso atraía a las hembras y en cierto modo evitaba que los machos entraran en peleas costosas. Actualmente, dentro de la ecología conductual, se atribuye a estos ornamentos, entre otras cosas, la función de atraer al sexo opuesto a través de cantos, secreciones, movimientos llamativos o colores brillantes, incluso se ha demostrado que en algunas especies son las hembras las que cumplen este rol para atraer a los machos.

Si la información que reflejan estos ornamentos se relaciona con la calidad genética o fenotípica de los organismos, entonces se les denomina *señal honesta*. Para el sexo opuesto, dichas señales ofrecen datos acerca de la capacidad para conseguir alimento y poseer territorios de calidad y buenas defensas contra parásitos y patógenos que heredaría la eventual descendencia. Por su parte, para los organismos del mismo sexo indica capacidad de dominación y grandes posibilidades de ganar peleas, así se evitan combates de alto riesgo e innecesarios. Sin embargo, los ornamentos podrían no reflejar ninguna de las características mencionadas y, entonces, funcionarían más como un engaño, por lo que se les denomina *señal deshonestas*. Generalmente, los organismos que siguen este tipo de estrategia (las señales deshonestas) suelen exhibir ornamentos vistosos que enmascaran su deficiente estado de salud y ocultan que se reproducen poco o que no tendrán una gran esperanza de vida. Ambas estrategias son evolutivamente estables y, por tanto, es usual encontrarlas en la naturaleza.

A pesar de que las características sexuales se han estudiado desde hace mucho tiempo por parte de los biólogos evolutivos y conductuales, la evidencia sobre la composición, estructura y función de estos rasgos no resulta clara o arroja información contradictoria en muchos casos. Entre los aspectos más estudiados se encuentra la coloración, que en lagartijas suele usarse para la pelea entre machos y para el cortejo de hembras; sin embargo, la evidencia no se valora como concluyente respecto a si estos



Ilustración: Fabian Alvarado

ornamentos se mantienen constantes durante el año o, en su caso, cambian por periodos –ya sean fisiológicos, conductuales o inmunitarios–, esto debido a que generalmente se investigan por periodos cortos o en poblaciones donde solo se miden una vez en todo el año o en ciclo reproductor.

La coloración en lagartijas se produce de dos formas. 1) A base de carotenos, que es la más usual y ampliamente estudiada en aves y anfibios. En esta, la pigmentación de los parches no es intrínseca al organismo y depende del consumo de

ciertos alimentos para crear tonos amarillos, rojos y anaranjados. 2) La coloración estructural, que recae en el arreglo y cantidad de plaquetas de iridóforos en la dermis, influye en la dispersión de la luz y resulta en colores uv-azul, azul, café y negro. Aunque este tipo de coloración existe de modo usual en la naturaleza y está ampliamente distribuida en varios animales (Figura. 1), casi nunca se le considera como elemento central en las investigaciones, principalmente porque se tiene la idea de que al ser producida de forma endógena no es

tan compleja y no debería reflejar características importantes de los organismos. Sin embargo, datos actuales sugieren que la coloración es difícil de producir y solo ciertos organismos pueden desarrollarla de manera óptima, incluso con repercusiones durante la fase embrionaria. No obstante, desconocemos si esta puede estar influenciada por episodios de estrés, cambios ontogénicos, estacionales y de temperatura, así como con la producción de la testosterona y las respuestas inmunitarias del individuo.

Figura 1. Coloración estructural azul en varios tipos de animales, desde aves y reptiles hasta mariposas

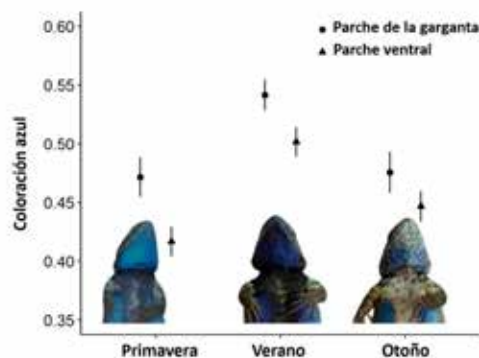


Nosotras tenemos gran interés en este tema, por lo que hemos trabajado con la lagartija de collar (*Sceloporus torquatus*). En esta especie, los machos tienen una coloración azul brillante en la garganta y vientre (zona ventral), lo cual representa un excelente modelo de estudio, pues, como un solo sexo manifiesta esta coloración, podemos investigar los factores asociados a esta, así como la información que podría estar reflejando. Los resultados obtenidos indican que el tono azul cambia a lo largo del ciclo reproductor, siendo el verano la estación donde más se advierte, lo que se asocia a un incremento en los niveles de testosterona y a la pelea por el acceso a comida, a territorios y a hembras. Por otra parte, esta coloración expresa una menor cantidad de parásitos sanguíneos y extracorporales, así como una alta respuesta inmunológica, por lo que se le considera una señal honesta (Figura. 2).

Actualmente, estamos realizando una cátedra de investigación Comecyt (folio CAT2024-0062) en el Centro Universitario UAEM Amecameca para

continuar el estudio de la coloración y de otros rasgos importantes, como datos sanguíneos y la coloración dorsal, aunque con un enfoque distinto, ya que esta especie, como tantas otras de reptiles, se ha clasificado como vulnerable por la contaminación en su ecosistema y posiblemente tenga que migrar con asistencia humana a zonas con altitu-

Figura 2. Variación de la coloración azul a través de las estaciones del año en la lagartija de collar



des mayores para su conservación. En caso de un contexto crítico, se considera necesario examinar si la especie cuenta con los mecanismos para sobrevivir en estos nuevos ambientes. Por tanto, la información generada será de utilidad para proponer mejoras en los planes de conservación de la herpetofauna ante el cambio climático.

Referencias

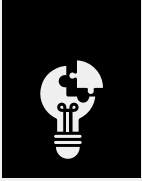
- Rivera-Rea, Jimena et al. (2024). "Seasonal changes in color patches and parasite load of male torquate lizards (*Sceloporus torquatus*)", en *Behavioral Ecology and Sociobiology*, vol.78, núm. 27.
- Rivera-Rea, Jimena et al. (2022). "Phenological variation in parasite load and inflammatory response in a lizard with an asynchronous reproductive cycle", en *The Science of Nature*, vol. 109, núm. 34.



Jimena Rivera Rea es Doctora en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Su línea de investigación se centra en el rol de los parásitos como reguladores de poblaciones y de rasgos asociados a la selección sexual. Actualmente desarrolla una cátedra de investigación Comecyt en el Centro Universitario UAEM Amecameca.



Eréndira Quintana Sánchez es Doctora en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI). Su línea de investigación se centra en examinar variación fenotípica de vertebrados ante el cambio climático y bienestar animal. Es profesora de tiempo completo en el Centro Universitario UAEM Amecameca.



Explorando la diferenciación sexual en lagartijas: efectos de la temperatura en el desarrollo embrionario

Por Gabriel Suárez-Varón, Gisela Granados-González y Oswaldo Hernández-Gallegos

La forma en que los reptiles determinan su sexo es un tema fascinante, y es que el sexo es un fenómeno muy antiguo que ha generado mucho interés en cómo los organismos se diferencian en machos y hembras. ¿Te has preguntado cómo ocurre? Desde el descubrimiento de los cromosomas sexuales por Nattie Maria Stevens en 1905, el estudio sobre diferenciación sexual cobró auge y para las siguientes décadas una creciente recopilación de trabajos permitió entender de mejor manera los mecanismos por los cuales se determina el sexo y cómo los testículos y ovarios se desarrollan.

Desde entonces, uno de los grupos que mayor atención y evidencia sostiene sobre la diferenciación del sexo son los reptiles, a pesar de la mala percepción de este grupo a causa de mitos, creencias y repugnancia. La mayoría de las especies de reptiles tienen determinación sexual genética (DSG), a partir de los cromosomas sexuales, y ocurre cuando el espermatozoide y el óvulo se fusionan. Sin embargo, en ausencia de estos cromosomas, la temperatura de incubación es la encargada de definir el sexo; esto se conoce como determinación sexual por temperatura (DST), un mecanismo presente en todas las especies de cocodrilos, tortugas marinas y algunas terrestres, así como en gran variedad de lagartijas. En ambos casos, la diferenciación de ovarios y testículos se da durante el desarrollo embrionario, un proceso que en lagartijas ha sido descrito y dividido para su estudio a través de las características morfológicas que presenta el embrión, desde el estadio 1 (fecundación) al estadio 40, donde el embrión se encuentra completamente formado previo a la eclosión o nacimiento.

En el caso de lagartijas, de las más de 7,000 especies que se conocen, 80% son ovíparas (ponen huevos). Sean especies genéticas o dependientes de la temperatura, existe un impacto de las condiciones ambientales que experimentan los huevos durante su incubación; particularmente en las especies con DST se han documentado proporciones sexuales sesgadas a uno de los sexos, variación en concentraciones hormonales, conducta, tiempo de incubación, etc., esto a partir de que un gradiente térmico estimula la expresión de algunos genes que participan en la determinación hacia machos o hembras (Warner *et al.*, 2019). Pero, ¿cómo la temperatura afecta el desarrollo embrionario, el tiempo de eclosión e incluso estrategias ecológicas en reptiles?

Para encontrar pistas de las implicaciones de los efectos de la temperatura en la diferenciación del sexo, el equipo de trabajo del Laboratorio de Herpetología y Morfofisiología de la Reproducción, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México, diseñó un experimento en el que

varias nidadas de la lagartija Jesucristo (*Basiliscus vittatus*, una especie con DSG) fueron sometidas a un tratamiento térmico de incubación de 26, 29 y 32 °C de manera constante. Los huevos de cada nidada fueron incubados en las diferentes temperaturas (Figura 1A) hasta que los embriones alcanzaron los estadios de desarrollo 35 a 37 (de 40 posibles); las gónadas deberían estar en las primeras etapas de diferenciación hacia ovarios o testículos; en este punto, se analizó la estructura de las gónadas a través de técnicas histológicas para conocer las directrices de la diferenciación del sexo a nivel microscópico.

Los hallazgos revelaron en la morfología externa un aspecto notable: órganos copuladores masculinos (en lagartijas llamados hemipenes) en todos los embriones (Figura 1B); sin embargo, en la descripción de la estructura gonadal a nivel histológico se observó una diferenciación de células germinales que proliferaron y dieron origen a ovogonias en las gónadas femeninas (Figura 1C y 1D) y espermatogonias en las masculinas (Figura 1E y 1F). Además, en aquellos embriones que fueron expuestos a temperaturas más elevadas, su crecimiento fue más rápido: se aceleró el desarrollo y se acortó el periodo de incubación. Esto sugiere que, independientemente de la temperatura de incubación, la proporción de sexos en las nidadas es estable: 1 macho por 1 hembra, propio de las expectativas observadas en especies con determinación sexual genética (Suárez-Varón *et al.*, 2022).

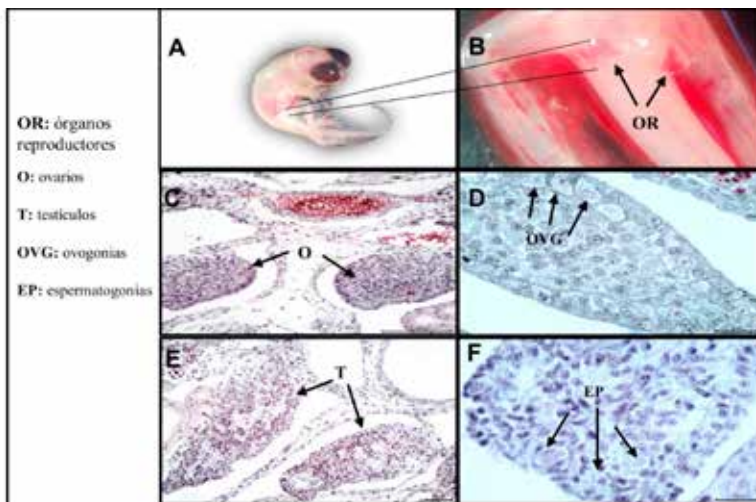


Ilustración: Fabian Alvarado

Estos resultados aportan información importante para nuestra comprensión de la biología reproductiva de los reptiles. A pesar de que existen especies con determinación sexual genética, hay implicaciones de la temperatura de incubación que afecta principalmente la velocidad de desarrollo embrionario, aunque no la proporción de sexos.



Figura 1. (A) Embrión de *Basiliscus Vittatus*, donde se resalta la presencia de órganos copuladores (B) y la vista histológica de ovarios (C y D) y testículos (E y F)



Fuente: Modificado de Suárez-Varón *et al.*, 2022.

Debido a que el calor también influye en el tamaño de las crías, el desempeño locomotor y la sobrevivencia en lagartijas con DSG, es complicado identificar el impacto de la temperatura per se en las mismas variaciones fenotípicas de una lagartija con DST.

Aunque varios estudios han probado un régimen de experimentos térmicos en laboratorio para probar los efectos de la temperatura, aún falta estudiar de

primera mano el comportamiento de lo que ocurre con las variaciones térmicas en nidos naturales, así como las consecuencias ante el cambio climático, un fenómeno que modifica características en la ecología y distribución de escamados, altera las proporciones sexuales en la naturaleza, causa la pérdida de biodiversidad y aumenta el riesgo de extinción. 

Referencias

- Suárez-Varón, Gabriel *et al.* (2022). "Genetic determination and JARID2 over-expression in a thermal incubation experiment in Casque-Headed Lizard", en *PLoS One*, vol. 17, núm. 7, e0263804. <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263804>>.
- Warner, Daniel *et al.* (2020). "Sex and Incubation Temperature Independently Affect Embryonic Development and Offspring Size in a Turtle with Temperature-Dependent Sex Determination", en *Physiological and Biochemical Zoology*, vol. 93, núm. 1. <<https://doi.org/10.1086/706786>>.



Gabriel Suárez Varón es Doctor en Ciencias por la UAEMéx, miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI). Su línea de investigación se establece sobre las implicaciones de la evolución de los sistemas de determinación sexual y la historia de vida en vertebrados, utilizando reptiles como modelo biológico.



Gisela Granados González es profesora de la UAEMéx, cuenta con Perfil PRODEP y es integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI). Su línea de investigación es la reproducción enfocada en aspectos morfológicos, fisiológicos y moleculares en vertebrados, principalmente en reptiles.



Oswaldo Hernández Gallegos realizó sus estudios de licenciatura, maestría y doctorado en la UNAM. Perfil PRODEP e integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI). Ha formado estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado. Colabora con investigadores nacionales e internacionales. Ha publicado 47 artículos en revistas indexadas y 32 notas científicas. Cuenta con participación en congresos nacionales e internacionales y ha desarrollado proyectos con financiamiento interno y externo.

En la cima de las montañas: la respuesta a la hipoxia en una lagartija de gran altitud

Por Luis Macotela y Arturo Venebra-Muñoz

¿Alguna vez te has preguntado cómo sería vivir a gran altitud? Si has subido un volcán o una montaña muy elevada, probablemente hayas sentido algunos de los efectos que estos ambientes causan en nuestro organismo. A medida que ascendemos es común notar una disminución en nuestra capacidad física; nos cansamos con mayor facilidad y sentimos que el aire que entra en nuestros pulmones no es suficiente. También podemos experimentar dolor de cabeza y mareos, que son parte de un conjunto de signos y síntomas más amplios conocidos como el síndrome del mal de altura. Estos síntomas pueden agravarse si ascendemos rápidamente o si no estamos en buen estado físico. En contraste, al nivel del mar, notamos cambios positivos en nuestro cuerpo, especialmente si venimos de lugares de gran altitud como la ciudad de Toluca, que se encuentra a 2671 metros sobre el nivel del mar (msnm). Sentimos una mejora en nuestra condición física, un estado de relajación, y actividades como correr o jugar en la playa se vuelven más fáciles, ya que respiramos con mayor facilidad, lo que indica una mejor oxigenación.

Esto refleja lo desafiante que pueden ser los ambientes de gran altitud. Pero ¿cuál es la razón de estos efectos? Aunque es común escuchar que la concentración de oxígeno (O_2) disminuye con la altitud, en realidad, permanece constante a diferentes altitudes, lo que cambia es la presión atmosférica, que disminuye a medida que ascendemos. Esto significa que, a mayor altitud, la fuerza que ejerce la atmósfera sobre una superficie es menor debido a que el peso del aire es menor. Como resultado, el aire es menos denso y, aunque la proporción de O_2 sigue siendo la misma, hay menos disponibilidad por unidad de volumen de aire.

La disminución en la presión atmosférica debido a la altitud limita la capacidad de los organismos para captar O_2 , lo que altera el metabolismo y la producción de energía que, en consecuencia, puede llevar a condiciones de hipoxia: reducción de la tensión de O_2 por debajo de los niveles normalmente experimentados a nivel del mar. Este fenómeno tiene un impacto profundo en los organismos nativos de ambientes alpinos, ya que restringe su capacidad para producir energía y, en

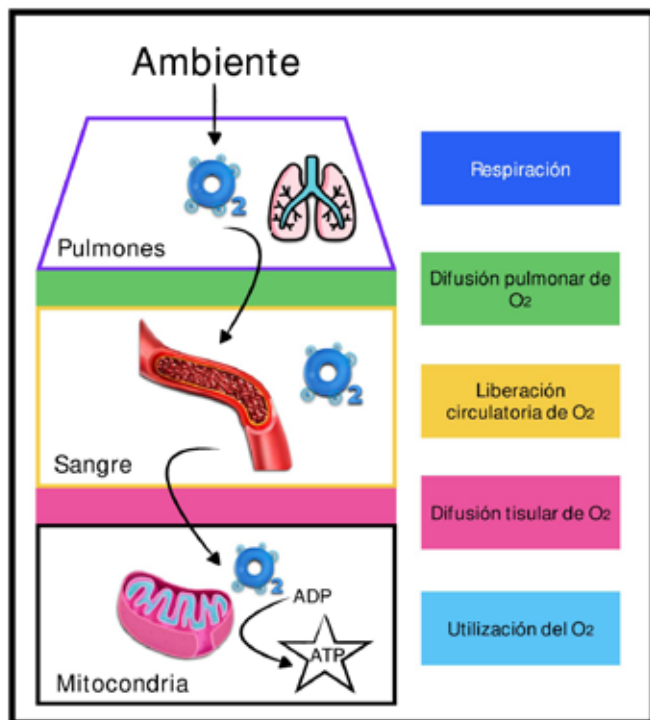
consecuencia, limita su capacidad para sobrevivir y reproducirse.

La tolerancia a diferentes niveles de O_2 bajo condiciones de hipoxia varía entre especies, y se manifiesta en varios niveles de organización. El O_2 se transporta desde el aire atmosférico hasta las mitocondrias celulares en varios pasos: primero, el aire es inspirado hacia los pulmones, donde el O_2 se expande a través de la membrana alveolocapilar hacia la sangre y luego es transportado por la sangre hacia los tejidos, donde se difunde desde la sangre hacia las células; finalmente, en las mitocondrias, el O_2 se usa para producir ATP (adenosín trifosfato), esencial para las funciones celulares. (Figura 1).

A pesar de lo desafiantes que son los ambientes alpinos, muchas especies animales habitan en ellos, sobreviviendo gracias a diversos ajustes fisiológicos que les permiten compensar la baja disponibilidad de O_2 . Entre ellas destaca la lagartija del mezquite *Sceloporus grammicus*, un reptil que habita en montañas y volcanes de la faja neovolcánica mexicana a más de 4500 msnm. A altitudes superiores a esta última, la fracción de O_2 inspirado



Figura 1. cima montañas



es solo del 60% respecto al nivel del mar, lo que sugiere que este organismo podría utilizar estrategias fisiológicas para adaptarse a la baja disponibilidad de O_2 .

Para entender cómo esta lagartija puede sobrevivir a las condiciones extremas que suponen los ambientes alpinos, biólogos de la Universidad Autónoma del Estado de México estudiaron distintas poblaciones que habitan desde los 2400 hasta los 4500 msnm en distintos sistemas montañosos en la entidad. Este estudio se llevó a cabo con el fin de saber si estos organismos presentan ajustes en algún nivel de organización (i.e. células, tejidos u órganos) que les permitan compensar la baja disponibilidad de O_2 .

Una respuesta común en diversos grupos animales es el aumento en el número y el tamaño de los glóbulos rojos. Como se mencionó, los glóbulos rojos transportan el O_2 desde los pulmones hacia las células del organismo. Dentro de ellos, se encuentra la hemoglobina, una molécula que tiene afinidad por el O_2 y que es responsable de su transporte. Por

lo tanto, al tener glóbulos rojos más grandes y numerosos, mejora la capacidad para captar y transportar O_2 , además de compensar su baja disponibilidad. Al estudiar la sangre de las poblaciones de la lagartija del mezquite, se observó que estos organismos efectivamente aumentan el número y el tamaño de sus glóbulos rojos en función de la altitud. Sin embargo, los individuos que habitan en altitudes extremas (por encima de los 4000 msnm) mostraron valores más bajos en comparación con aquellos que viven en altitudes intermedias (alrededor de los 3000 msnm). Esto se debe a que un aumento excesivo en estos rasgos sanguíneos puede ser perjudicial, debido a que al incrementar el número y tamaño de las células aumenta la viscosidad de la sangre, lo que genera un flujo sanguíneo menos eficiente, mayor gasto cardíaco y una menor tasa de consumo de O_2 en los tejidos. Así, este rasgo puede ser beneficioso a ciertas altitudes, pero no en las extremas. Estos hallazgos llevaron a los biólogos a considerar que los organismos podrían estar realizando distintos ajustes fisiológicos a otros niveles de organización.

Además de los ajustes sanguíneos, otro cambio importante es el aumento en el tamaño de los órganos cardiorrespiratorios. Se encontró que, en las lagartijas, tanto el corazón como los pulmones aumentan su tamaño con la altitud, lo que también puede mejorar la captación y el transporte de O_2 . En mamíferos, se ha descrito que un mayor tamaño pulmonar incrementa la superficie respiratoria, facilitando así la obtención de O_2 , mientras que un corazón más grande puede bombear más sangre a los tejidos. Sin embargo, este aumento de tamaño podría deberse a una mayor concentración de agua o sangre en los tejidos, y no necesariamente a cambios en la estructura celular. Por lo tanto, se realizó una evaluación histológica para verificar si existen modificaciones que mejoren la capacidad funcional de estos órganos.

Al examinar los tejidos pulmonares bajo el microscopio, se observó que los faveolos, las estruc-

Ilustración: Fabian Alvarado



que puede realizar distintos ajustes fisiológicos en respuesta a la hipoxia. Es probable que, además de las adaptaciones observadas en la sangre y los órganos cardiorrespiratorios, existan otras estrategias que faciliten a esta especie compensar las condiciones hipóxicas. Estas investigaciones pueden tener aplicaciones prácticas en medicina y biología de la conservación, ayudando a mejorar nuestra comprensión sobre la adaptación de los organismos y su adecuación a entornos extremos. 

turas donde ocurre la difusión de O_2 en los reptiles, aumentan con la altitud, lo cual brinda una mayor capacidad respiratoria. En el corazón, la cámara del ventrículo, que es el área interna encargada de recibir la sangre que luego será bombeada al resto del cuerpo, también aumenta con la altitud. Este ajuste permite, por tanto, que ingrese una mayor cantidad de sangre al corazón. Así, estos organismos pueden lograr una mejor oxigenación sanguínea al contar con una mayor superficie para el intercambio gaseoso y al distribuirla de manera más eficiente a todos los tejidos del cuerpo.

Vivir a grandes altitudes presenta desafíos únicos, debido a la baja disponibilidad de O_2 . La lagartija del mezquite es un ejemplo de organismo

Referencias

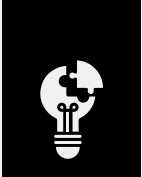
- González-Morales, Juan Carlos *et al.* (2023). "Elevation and blood traits: Are patterns repeatable between mountains?" en *Comparative Biochemistry & Physiology Part A*, vol. 276. <<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2022.111338>>.
- Macotela, Luis *et al.* (2023). "Altitudinal variation in organ mass from three mountain systems: The case of mesquite lizard *Sceloporus grammicus*", en *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, vol. 281. <<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2023.111426>>.



Luis Macotela es Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Actualmente realiza una cátedra COMECYT en el Laboratorio de Neurobiología de la Adicción y Plasticidad Cerebral de la UAEMéx. Su línea de investigación se centra en entender como los factores ambientales afectan la fisiología de los reptiles.



Arturo Venebra-Muñoz es Doctor en Neuroetología. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI), responsable del Laboratorio de Neurobiología de la Adicción y Plasticidad Cerebral de la Facultad de Ciencias de la UAEMéx, institución en la cual también es docente.



En la ciudad la vida es más azul: efecto de la urbanización de la coloración sexual en lagartijas del Estado de México

Por Juan Carlos González Morales y Heliot Zarza

La urbanización implica la transformación de áreas naturales en espacios ocupados por asentamientos humanos, lo que conlleva a la construcción de entornos con baja filtración de agua, escasa vegetación (frecuentemente exótica) y temperaturas ambientales generalmente más altas en comparación con zonas rurales o sin perturbación cercanas, generando el efecto conocido como “isla de calor”. Además, la fauna se enfrenta a nuevas presiones ambientales como la exposición a contaminantes (químicos, sonoros, lumínicos y visuales), la aparición de nuevos depredadores (a menudo en forma de animales domésticos y de compañía) y la alteración de las interacciones entre especies, como las relaciones parásito-hospedero. Este fenómeno global crece año con año y la probabilidad de que se detenga es remota, tan solo la Ciudad de México cuenta con una densidad poblacional de 6,163 habitantes por kilómetro cuando para todo nuestro país es de 63 habitantes por kilómetro cuadrado, es decir casi 100 veces más! Las proyecciones actuales estiman que para el año 2050, alrededor de 65% de la población mundial vivirá en ciudades, lo que hace crucial identificar qué características morfológicas, fisiológicas y conductuales (fenotipo) permiten a la fauna persistir o colonizar los entornos urbanos a pesar del cambio que hay en su ambiente. Esto será esencial para promover mejores planes de conservación y ordenamiento territorial que faciliten la coexistencia entre humanos y la fauna urbana.

La ecología urbana como disciplina ha investigado ampliamente los efectos de la urbanización en mamíferos y aves. Sin embargo, en el caso particular de los reptiles, la información disponible es limitada: las investigaciones suelen centrarse en la regulación de la temperatura corporal (termorregulación) y en comparaciones morfológicas como la masa corporal y la longitud de los animales. A pesar de que la selección sexual puede funcionar como un motor evolutivo que permita la colonización de los ambientes

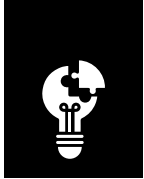
urbanos, rara vez se presta atención a los ornamentos sexuales que los animales exhiben, a pesar de su importancia en la transferencia de información acerca de la calidad de los machos hacia las hembras como parte de la selección de parejas reproductoras y en la señalización del estatus social o dominancia a otros machos para evitar peleas costosas, lo cual también puede ser un factor clave en la colonización de los entornos urbanos.

Actualmente, uno de nosotros (ICGM) lleva a cabo una Cátedra Comecyt (Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología) en el laboratorio de Biología de la Conservación de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, bajo la supervisión del Dr. Heliot Zarza. El objetivo es investigar cómo el incremento de la urbanización modula los rasgos fenotípicos en lagartijas en el Estado de México en una amplia variedad de especies. Nuestro estudio más reciente se centró en examinar si, en ambientes urbanos, el número de parásitos sanguíneos y extracorporales y la coloración azul ventral asociada a la reproducción, además de la interacción entre estas variables es distinta en comparación con las zonas naturales, con bajos niveles de perturbación.

Descubrimos que, en las zonas urbanas, las lagartijas presentan una coloración ventral azul más intensa (son más azules) y una menor cantidad de parásitos sanguíneos y extracorporales en comparación con las lagartijas de ambientes naturales. Por otro lado, las lagartijas de zonas naturales mostraron una respuesta inmune más alta, probablemente para enfrentar a la

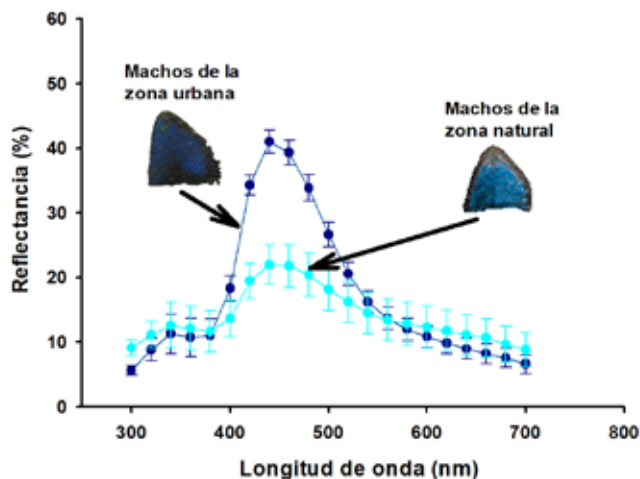


Ilustración: Fabian Alvarado



Dossier

mayor cantidad de parásitos en sus cuerpos y mitigar el daño y gasto en energía que representa combatirlos. Por otra parte, solo en las lagartijas de ambientes naturales encontramos una relación negativa entre la coloración y los parásitos, por lo que en estos ambientes las lagartijas más azules tenían menos parásitos. En la población urbana no encontramos esta relación, lo que indica que la relación parásito-hospedero se ha modificado en ambientes urbanos. Nuestros resultados sugieren que, al menos en los rasgos evaluados, las lagartijas urbanas podrían tener una ventaja. Su mayor coloración podría estar relacionada con la menor carga parasitaria, posiblemente a causa de que el ciclo de vida de los parásitos se ve afectado por la falta de vegetación y humedad en entornos urbanos. Además, las lagartijas urbanas podrían estar utilizando el excedente de minerales, como calcio y hierro, para estimular la producción de las células responsables de generar los pigmentos que resultan en la coloración azul. (Figura 1)



Nuestros resultados deben ser tomados con cautela, ya que otros rasgos o indicadores de la salud de las lagartijas urbanas podrían verse afectados por la urbanización, como la tasa de depredación, el estrés oxidativo o eventos reproductivos. Por ello, es necesario continuar investigando este tema para que, eventualmente, podamos proponer mejores planes de manejo y desarrollo territorial, de tal forma que la integración entre la ecología urbana, ecología fisiológica y ecología conductual sean herramientas útiles para la conservación de la herpetofauna urbana.

Referencias

- Brum, Paulo et al. (2023). "A global assessment of research on urban ecology of reptiles: Patterns, gaps and future directions", en *Animal Conservation*, vol. 26, pp. 1.13. <<https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/acv.12799>>.
- González-Morales, Juan Carlos et al. (2024). "Bluer in the City: Urban male lizards exhibit more intense sexual coloration and lower parasite loads than non-urban males", en *Integrative Zoology*, vol. XX, núm. XX, pp. XX.



Juan Carlos González es Doctor en Ciencias y miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI). Actualmente, lleva a cabo una cátedra de investigación COMECYT en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, en el Laboratorio de Ecología de la Conservación. Su línea de investigación se enfoca en examinar cómo los ectotermos responden a las presiones ambientales desde una perspectiva ecofisiológica.



Heliot Zarza es Doctor en Ciencias y miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI). Actualmente es profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, donde está a cargo del Laboratorio de Ecología de la Conservación. Su línea de investigación se centra en el manejo y conservación de vertebrados silvestres, colaborando con un gran número de instituciones y comunidades.

Historia del amor ecofisiológico

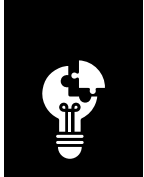
Por Steicy Figueroa-Delgado, Luz Irene Pascual-Mathey y Arturo Venebra-Muñoz

En 1906, el fisiólogo británico Sir Henry H. Dale descubrió que la administración intravenosa de extractos obtenidos a partir de la porción posterior de la hipófisis del buey facilitaba las contracciones uterinas al momento del parto en ratas. Este hallazgo motivó al ginecólogo William Blair Bell a investigar la naturaleza de las sustancias secretadas a nivel del infundíbulo hipofisario, así como el efecto que estas ejercían en las contracciones y las hemorragias posparto. Gracias a sus aportaciones, entre 1909 y 1913, se descubrió que el componente causante de esos efectos era la oxitocina (OXT), además de mostrarse que interviene en la eyección láctea en mamíferos.

Hasta finales de 1930, se pensaba que los pituiticos (células gliales modificadas) eran los responsables de la síntesis de hormonas hipofisarias. Sin embargo, en 1937, Ernst y Berta Scharrer proporcionaron las primeras evidencias sobre la existencia de neuronas localizadas en el núcleo paraventricular del hipotálamo (PVN) y el núcleo supraóptico (SON), proponiéndolas como las principales generadoras de OXT y vasopresina (AVP) debido a que sus proyecciones sinápticas eran enviadas a la neurohipófisis. Posteriormente, en 1953, Vincent du Vigneaud descubrió la secuencia de aminoácidos de la OXT (cisteína-tirosina-isoleucina-glutamina-asparagina-cisteína-prolina-leucina-glicina), sentando las bases para el descubrimiento de sus propiedades conformacionales. Desde entonces, la OXT se ha convertido en una de las neurohormonas más estudiadas a nivel del sistema nervioso.

Por su parte, las aportaciones de Ernst, Berta Scharrer y Bargmann en 1949 han demostrado que, en mamíferos, reptiles y aves, la OXT es sintetizada en neuronas magnocelulares del PVN y SON. Estas grandes neuronas oxitocinérgicas (20 a 30 μm (micromoles) de diámetro) envían sus terminales sinápticas a varias regiones del sistema nervioso, entre las que se encuentran: la amígdala central (CeA), corteza prefrontal (PFC), área tegmental ventral (VTA), hipófisis posterior (PP), sustancia negra (SN), bulbo olfatorio (OB), y el núcleo parabraquial (PBN). Hallazgos que han abierto el camino a más investigadores para indagar las funciones de la OXT.

En la actualidad, se sabe que no solo desempeña un papel clave en el área obstétrica, sino que participa en una gran variedad de procesos fisiológicos y conductuales como la ingesta de alimentos, el metabolismo lipídico, la regulación de la temperatura corporal y la osmolalidad sanguínea. Se podría decir que el efecto más atractivo es el que tiene sobre el establecimiento de la relación madre-cría y, sobre todo, en el establecimiento de vínculos afectivos, por lo que se ha propuesto como la neurohormona del amor.



Dossier

Si nos enfocamos en el sistema nervioso central (SNC) y la conducta, encontramos que la OXT tiene funciones moduladoras en el comportamiento social, la formación de vínculos afectivos, el aprendizaje y la memoria, entre otras. Curiosamente, la expresión de OXT está influenciada por algunos factores, entre los que se encuentran el juego, la ingesta de alimentos, el consumo de edulcorantes, el orgasmo, el cuidado parental y el consumo de drogas (nicotina, alcohol, cocaína, *cannabis*, etc), los cuales generan sensaciones de recompensa (placenteras) en el organismo. De manera interesante, se ha observado que algunos factores ambientales negativos, como la falta de cuidados parentales o la separación materna (SM), afectan significativamente la síntesis de OXT en el PVN de ratas, provocando alteraciones en la morfología de las neuronas oxitocinérgicas, lo que podría estar relacionado con una disminución en el establecimiento de sinapsis. Estas alteraciones pueden modificar el comportamiento en la adultez, pues si el individuo es sometido a SM, se disminuye la socialización, teniendo un comportamiento mayormente agresivo. Al respecto, se ha reportado que la administración de OXT contrarresta los efectos negativos generados por la SM, mejorando el comportamiento social y disminuyendo las peleas entre los individuos.

En otros vertebrados como los anfibios, peces y agnatos, las neuronas magnocelulares están presentes en el núcleo preóptico ancestral (PON) y sintetizan homólogos de OXT como la mesotocina, isotocina (IT), glumitocina,

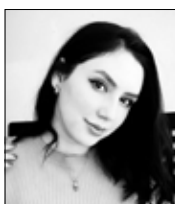


Ilustración: Fabian Alvarado

valitocina, asparagtocina y vasotocina (VP). De forma específica, en anfibios, las terminales nerviosas de estas neuronas llegan al prosencéfalo límbico, el mesencéfalo y el locus coeruleus. La síntesis y liberación de vasotocina (VP) desempeña un papel antipirético, así mismo, participa en la locomoción, vocalización, el desove y, en conjunto con las hormonas esteroides gonadales, interviene en las conductas sexuales de los anfibios. En el caso de los peces, la IT y la VP están asociadas al cortejo bucal en épocas de reproducción. Aunado a lo anterior, se ha reportado que los homólogos de OXT en peces payaso juegan un papel importante en los cuidados parentales. Por ejemplo, en tortugas, la expresión de homólogos de OXT estimula el comportamiento de anidación, así como la selección y preparación del sitio, incluida la oviposición y cobertura del nido. Como podemos observar, la OXT y sus homólogos se encuentran presentes en una gran variedad de especies, pero sus efectos a nivel conductual en varias de ellas aún son poco claros. Por tanto, se piensa que es la principal responsable del establecimiento de relaciones de pareja y cuidados parentales, proponiéndola como la responsable del amor ecofisiológico. 

Referencias

- Bell Blair, W. (1909). "The pituitary body and the therapeutic value of the infundibular extract in shock, uterine atony, and intestinal paresis", en *Br Med*, vol. 2.
- Dale, H. H. (1909). "The action of extracts of the pituitary body", en *Biochem*, vol. 4, núm. 9.
- Knobloch, H. Sophie y Valery Grinevich (2014). "Evolution of oxytocin pathways in the brain of vertebrates", en *Frontiers in behavioral neuroscience*, vol. 8.
- Figueroa, S. (2024). *Análisis morfológico de neuronas oxitocinérgicas en el núcleo paraventricular del hipotálamo en ratas criadas con separación materna y ante una prueba de novedad social*, [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Olalde, A. (2024). *Efecto de la administración de oxitocina sobre la conducta social de ratas macho juveniles criadas con separación materna*, [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma del Estado de México.



Steicy Figueroa Delgado es bióloga adscrita al Laboratorio de Neurobiología de la Adicción y Plasticidad Cerebral de la Facultad de Ciencias de la UAEMéx.



Luz Irene Pascual Mathey es Doctora en Neuroetología. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI). Es coordinadora de la Maestría en Farmacia Clínica e integrante del Cuerpo Académico Química Biomolecular, donde desarrolla las líneas de generación y aplicación de conocimiento de Servicios Farmacéuticos e Investigación en Biología molecular y funcionalidad de biomoléculas. Está adscrita a la Facultad de Química Farmacéutica Biológica de la Universidad Veracruzana, institución en la cual también es docente.



Arturo Venebra-Muñoz es Doctor en Neuroetología. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI), responsable del Laboratorio de Neurobiología de la Adicción y Plasticidad Cerebral de la Facultad de Ciencias de la UAEMéx, institución en la cual también es docente.