



# Descubrimiento de un nuevo sistema de cromosomas sexuales en lagartijas

Discovery of a new sex chromosomes system in lizards

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

**Resumen:** Los reptiles presentan dos mecanismos para determinar su sexo: la genética (DSG) y la dependiente de temperatura (DST). Ambos son variables, pero existe un grupo de lagartijas llamado pleurodotes, el cual ha compartido el mismo sistema ancestral de cromosomas sexuales XY desde hace 170 millones de años. En este artículo, exponemos el descubrimiento de un nuevo sistema de cromosomas sexuales XY en lagartijas de la familia *Corytophanidae* que evolucionó de manera independiente al resto de pleurodotes.

**Palabras clave:** cromosomas sexuales, evolución, *Corytophanidae*.

**Abstract:** Reptiles present two mechanisms to determine their sex: genetic (DSG) and temperature-dependent (dst). Both are variable, but there is a group of lizards called pleurodotes, which have shared the same ancestral XY sex chromosome system for 170 million years. In this article, the discovery of a new XY sex chromosome system in lizards of the *Corytophanidae* family that evolved independently of the rest of the Pleurodotes is exposed.

**Keywords:** sex chromosomes, evolution, *Corytophanidae*.

**Los reptiles** son organismos que han existido por más de 300 millones de años, actualmente están representados por cuatro grupos: tortugas, cocodrilos, tuátaras y escamados. Este último se encuentra integrado por 7,310 especies de lagartijas. Con esta gran diversidad de especies, las lagartijas también varían la forma en que establecen el sexo de su descendencia, ya que presentan dos formas de determinación sexual: genética (DSG) y dependiente de temperatura (DST). En la primera existen cromosomas sexuales que controlan el desarrollo y el proceso de diferenciación de las gónadas (ovarios y testículos); estos cromosomas especializados, en el caso de humanos y algunos reptiles, se llaman XY. En la segunda hay señales externas, específicamente la temperatura ambiental durante el desarrollo embrionario; de esta manera, las lagartijas regulan el proceso de diferenciación sexual de ovarios y testículos para que los organismos se desarrollen como hembras o machos, respectivamente, sin la presencia de cromosomas sexuales. En particular, en los reptiles existen especies con DST o DSG, además de que han experimentado cambios y transiciones entre ambos métodos lo cual ha generado una compleja historia evolutiva en la asignación

biológica del sexo, lo cual convierte a los reptiles en un excelente objeto de estudio para analizar la evolución de los sistemas de determinación sexual.

A pesar del prolífico avance en investigación de los últimos años, los datos moleculares sobre la estabilidad evolutiva de los cromosomas sexuales en lagartijas existían solo para iguanas, y esto es alarmante si consideramos que México sigue ocupando el segundo lugar mundial en biodiversidad de reptiles. Entre los escamados existe un grupo de lagartijas llamado pleurodotes, que incluye iguanas, lagartijas espinosas y basiliscos, por mencionar algunas especies. Hasta donde se conocía, todo este grupo de lagartijas ha compartido el mismo sistema ancestral

de cromosomas sexuales XY desde hace 170 millones de años. No obstante, muchas familias de lagartijas en la actualidad no tienen especies clasificadas con un método de determinación sexual bien establecido, lo cual ha restringido de manera significativa las hipótesis evolutivas sobre el origen de los cromosomas sexuales, no solo en reptiles, sino también en la relación con los humanos y otros vertebrados.

El estudio de la determinación sexual en lagartijas surgió en una colaboración durante los estudios de maestría y doctorado de GS-V, entre el Laboratorio de Herpetología de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx), bajo la dirección del doctor Oswaldo Hernández Gallegos, junto con el doctor Diego Cortez (Centro de Ciencias Genómicas) y la doctora Maricela Villagrán Santa Cruz (Laboratorio de Biología Tisular y Reproductora), ambos de la unam. Nuestro objetivo es proporcionar información respecto a una línea de investigación, punta de lanza en México, sobre la determinación del sexo. Especialmente estudiamos al basilisco marrón o lagartija Jesucristo (*Basiliscus vittatus*) y al turipache de montaña (*Corytophanes hernandezii*), que se encuentran en la familia *Corytophanidae*, pues la evidencia sobre la determinación sexual era limitada por pequeños tamaños de muestra o experimentación, además de lo difícil que es analizarlos en su hábitat natural (Fig. 1).

**Figura 1. Turipache de Montaña (*Corytophanes hernandezii*)**



Foto: Oswaldo Hernández.

En este estudio, exploramos hipótesis sobre los mecanismos próximos de la determinación del sexo y probamos si, en el basilisco, la temperatura de incubación provoca que los organismos desvíen su diferenciación sexual (desarrollo de ovarios o testículos) hacia el sexo opuesto al que estaban destinados a ser, un fenómeno conocido como reversión sexual. Además, de la posibilidad de que *B. vittatus* exhibiera vestigios de un sistema ancestral de determinación del sexo dependiente de la temperatura (DST) o de la expresión genética (DSG). Pero, ¿cómo descubrimos eso?

Observaciones iniciales, mediante experimentos piloto en nuestro laboratorio con nidadas del basilisco marrón, indicaron que la descendencia puede sesgarse hacia el nacimiento de hembras cuando los huevos son sometidos a temperaturas de incubación relativamente altas ( $-29^{\circ}\text{C}$ ). Este resultado nos hizo pensar que la lagartija mostraba una DST; no obstante, para estar seguros de ello, realizamos nuevas pruebas que incluyeron temperaturas de incubación más extremas ( $26$  y  $32^{\circ}\text{C}$ ) y análisis con nuevas técnicas de genómica y transcriptómica a partir del tejido de embriones. Estas técnicas consistieron en la extracción de ADN para secuenciar el genoma y de ARN para reconstruir el transcriptoma de los basiliscos, estos datos fueron procesados con herramientas bioinformáticas y comparados con el anolis verde (*Anolis carolinensis*), un miembro de los pleurodontes del que se conoce su genoma completo y del cual se obtuvieron diferencias en la posición de sus cromosomas sexuales respecto al basilisco.




Fue así que descubrimos que los coritofánidos (*familia del B. vittatus*) son la única familia dentro los pleurodontos que reemplazaron el sistema de cromosomas sexuales XY que se hipotetizaba compartía todo el grupo, curiosamente con un nuevo par de cromosomas XY, tan pequeños en tamaño que se consideran micro-cromosomas. Es decir, que los coritofánidos hicieron una transición del sistema ancestral de cromosomas sexuales XY a un par de micro-cromosomas XY más reciente y novedoso que se originó hace aproximadamente 63 millones de años (Acosta *et al.*, 2019).

Por otra parte, en el análisis genético no detectamos el fenómeno de reversión sexual inducido por la temperatura de incubación; sin embargo, encontramos que la expresión del gen JARID2 (un gen termosensible que participa en la determinación del sexo) se encuentra en niveles más altos a lo normal cuando los huevos fueron incubados a 26 °C, un aspecto similar que ocurre en la tortuga (*Trachemys scripta*), el aligátor americano (*Alligator mississippiensis*) y el dragón barbudo (*Pogona vitticeps*), especies donde la reversión del sexo está bien documentada.

Aunque en los basiliscos no encontramos influencia de la temperatura en la determinación del sexo, observamos que todos los organismos (machos y hembras) durante su desarrollo embrionario presentaron hemipenes (órganos reproductores en lagartijas), un hallazgo muy interesante y con el cual no podemos excluir, por el momento, si temperaturas de incubación más altas

o más bajas a las que utilizamos podrían tener un efecto en los lagartos de la familia *Corytophanidae*. Se requerirán experimentos adicionales para explorar esta posibilidad (Suárez-Varón *et al.*, 2022).

Actualmente, uno de nosotros (GS-V) realiza una cátedra Comecyt (Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología) en el Laboratorio de Morfofisiología de la Reproducción (uaeméx) con la investigadora Gisela Granados González. El objetivo es continuar develando los sistemas cromosómicos de este grupo de reptiles mediante los proyectos: Dimorfismo sexual en *Barisia imbricata*: ¿un caso de pseudohermafroditismo temporal? y Caracterización del sistema de determinación sexual de *Barisia imbricata* (Squamata: Anguinae); por cierto, este último financiado por la UAEMÉX.

Dado que las características que impulsan la variación en los mecanismos de determinación del sexo entre las especies siguen sin comprenderse en su totalidad, estas investigaciones y nuevos estudios en reptiles permitirán identificar factores que participan en el proceso por el cual se producen machos o hembras y son clave para contestar nuevas preguntas sobre la evolución de los cromosomas y los sistemas de determinación sexual. 

### Referencias

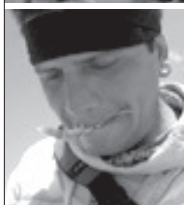
- Acosta, Armando *et al.* (2019). "Corytophanids Replaced the Pleurodont XY System with a New Pair of XY Chromosomes", en *Genome Biology and Evolution*, vol. 11, núm. 9, pp. 2666-2677. <<https://doi.org/10.1093/gbe/evz196>>.
- Suárez-Varón, Gabriel *et al.* (2022). "Genetic determination and JARID2 over-expression in a thermal incubation experiment in Casque-Headed Lizard", en *PLoS ONE*, vol. 17, núm. 7, pp. e0263804. <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263804>>.



**Gabriel Suárez-Varón** es doctor en Ciencias por la UAEMÉX, miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Actualmente realiza una cátedra Comecyt en el Laboratorio de Morfofisiología de la Reproducción, UAEMÉX. 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, particularmente utilizando reptiles cómo modelo biológico.



**Gisela Granados-González** es profesora de la UAEMÉX. Su línea de investigación es la reproducción enfocada en aspectos morfológicos, fisiológicos y moleculares en vertebrados, principalmente reproducción en reptiles.



**Oswaldo Hernández Gallegos** realizó sus estudios de licenciatura, maestría y doctorado en la UNAM. Perfil PROMEP y miembro del sni nivel I. Ha formado estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado. Colabora con investigadores nacionales e internacionales. Ha publicado 47 artículos en revistas indexadas. Tiene participación en congresos nacionales e internacionales, y ha desarrollado 15 proyectos con financiamiento interno y externo.