

REVELANDO EL SECRETO DE LOS PELIRROJOS

Paola A. Tenorio-Rodríguez^{1*}, Luis Daniel Moreno-Figueroa^{2,3} y Leticia Cab-Sulub⁴

¹Independiente. Ooch. Mérida, Yucatán, México. paostenro@gmail.com

²Grupo de Investigación Interdisciplinario en Biotecnología, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz. Baja California Sur, México. Id.moreno@uabcs.mx

³Grupo de Nanotecnología y Biocontrol Microbiano, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz. Baja California Sur, México. morenofidaniel@gmail.com

⁴Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. lety.cs90@gmail.com

*Autor de correspondencia

Si observas a las personas a tu alrededor, seguro te darás cuenta de que existe una diversidad en el color del pelo de las personas, entre negro, rubio, castaño y pelirrojo. ¿Te has preguntado si sucede lo mismo en otras especies de mamíferos?

La variación en el color del pelo de los mamíferos se debe a procesos biológicos complejos que afectan la producción de melanina y determinan el color del pelo. Existe una diversidad en el color del pelo de las personas, por ejemplo, pelo negro, rubio, castaño y pelirrojo. Pero esto no ocurre solamente en las personas, en otros mamíferos, también pasa algo similar. Seguro has visto a especies con pelajes de diferentes coloraciones, como los camellos (*Camelus* sp.) con su pelaje café, a los chimpancés (*Pan troglodytes*) y gorilas (*Gorilla gorilla*) con el pelo negro y aunque menos comunes, también hay mamíferos pelirrojos como el orangután (*Pongo abelii*), la ardilla roja común (*Sciurus vulgaris*) y el panda rojo (*Ailurus fulgens*).

El pelo, característica diagnóstica de los mamíferos, es una estructura modificada y filamentososa muy delgada que surge de la piel. Se compone de una fibra de queratina y crece hacia arriba, el cual en conjunto forma el pelaje. Quizás te preguntes ¿quién o cuál es el proceso detrás del desarrollo de los pelajes distintivos en los mamíferos que los hacen tan únicos? La respuesta está en las enzimas, en la producción de una proteína llamada melanina y otros procesos biológicos, cada especie lleva consigo una historia en su coloración.

La melanina desempeña un papel protagónico en la determinación del color de la piel y el cabello. Está presente en casi todos los individuos y puede formar combinaciones complejas que dan origen a tonalidades diferentes de piel y cabello. La melanina es sintetizada continuamente por células especializadas llamadas melanocitos, específicamente dentro de unos orgánulos subcelulares llamados melanosomas (sitio donde se organizan todas las enzimas necesarias para la biosíntesis de este pigmento) y bajo la dirección de la enzima tirosinasa. Una vez que los melanocitos producen pigmento, transfieren los melanosomas a los queratinocitos. Los melanocitos están presentes en la piel, el pelo y también en el iris del ojo.

Existen dos tipos de melanina: la eumelanina, que proporciona tonalidades oscuras como el castaño y el negro, y la feomelanina, que proporciona las tonalidades claras como los amarillos o parduscos. Para que una u otra se produzca

requiere de procesos bioquímicos específicos. La formación de eumelanina inicia cuando la enzima tirosinasa está activada, entonces convierte el aminoácido tirosina en una molécula (la unidad básica de cualquier sustancia) más compleja llamada L-DOPA, la cual, a través de una serie de reacciones químicas se une a otras moléculas para formar la melanina oscura. Por otro lado, la formación de feomelanina inicia de manera similar al de la melanina oscura, pero, en una de las reacciones químicas la tirosinasa se desactiva o "apaga", y, en vez de formar L-DOPA, se une con el aminoácido llamado cisteína para formar la melanina clara. Esta pequeña variación dará lugar a las tonalidades claras en el pelo.

Entonces, ¿quién controla o decide si debe producirse melanina oscura o melanina clara? Se ha observado que una molécula llamada receptor MC1R (melanocortina de tipo 1) controla este proceso, activando o desactivando la enzima. Factores como mutaciones, la presencia o deficiencia de algún elemento químico, exposición a la radiación solar, así como variación en los niveles hormonales pueden intervenir en la activación o bloqueo del receptor MC1R. En el día a día, las moléculas activadoras y las inhibidoras coexisten y determinan la cantidad, ubicación y tipo de pigmento que se produce en cada momento, dando lugar a una amplia variedad de tonalidades en el pelo. Este proceso también es el responsable de patrones distintivos, como lo son las rayas de las cebras



Dos crías de tlacuachos huérfanos (*Didelphis* sp.) rescatadas de un domicilio particular en Mérida, Yucatán; uno de ellos presenta una coloración anómala en el pelaje, el otro mantiene la coloración gris típica de la especie.
Fotografía: Paola A. Tenorio-Rodríguez.

(*Eqqus* spp.) o las manchas del jaguar (*Panthera onca*), la estimulación e inhibición en ciclos sucesivos del receptor MC1R les permite acumular diferentes melaninas en cada momento de crecimiento del pelo y así mezclar los dos pigmentos en distintas proporciones. La capacidad para activar o desactivar la eumelanina y feomelanina brinda a numerosos mamíferos la posibilidad de mostrar pelajes diversos según el lugar que habiten, la estación del año e incluso su edad. Esto les permite pasar desapercibidos o camuflarse de manera efectiva.

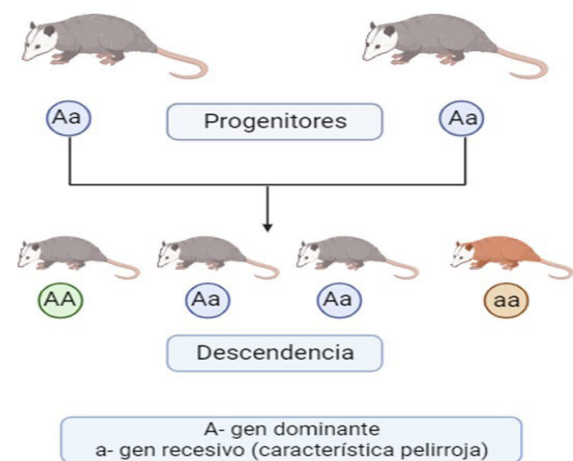
Pero ¿qué ocurre cuando el receptor MC1R no funciona correctamente o está mutado? No puede recibir ni estímulos ni inhibiciones, por lo cual es incapaz de activar la síntesis de eumelanina, es decir, todo tipo de coloración oscura. Entonces solo se acumula feomelanina. Esto es exactamente lo que sucede en el caso de individuos pelirrojos, una mutación en el gen MC1R (si bien existen otros genes que pueden dar lugares pelirrojos, su participación es mucho menor).

En términos numéricos, los pelirrojos son una minoría en nuestro planeta, y esto se debe principalmente a que la mayoría de las mutaciones son recesivas, esto implica que la presencia de un individuo pelirrojo solo se manifiesta cuando ambos padres aportan genes mutados. En otras palabras, la herencia de la característica pelirroja implica influencias genéticas específicas transmitidas por ambos progenitores. ¿Qué significa esto? exploremos este concepto paso a paso. En primer lugar, recordemos que heredamos dos copias de cada gen, una de nuestro padre y otra de nuestra madre. Si ambos progenitores tienen el gen MC1R en su forma funcional, es poco probable que tengan un hijo pelirrojo y tampoco transmitirán mutaciones a su descendencia. No obstante, si uno de los progenitores es portador de una mutación en el gen MC1R, transmitirá la copia mutante al 50 % de su descendencia, distribuyendo así el gen mutante entre ellos. A pesar de esto, seguirán sin tener hijos pelirrojos.

Como bien lo explicó Gregorio Mendel, padre de la genética, la posibilidad de expresión de un gen recesivo, o en este caso la aparición de un pelirrojo en la descendencia aumenta cuando ambos progenitores son portadores de mutaciones en el gen MC1R, con una probabilidad del 25 %. Es decir, 1 de cada 4 hijos podría expresar la característica pelirroja. Entonces, si ambos miembros de la pareja son pelirrojos, sus hijos seguramente también lo serán debido a que ambos padres son portadores del gen recesivo en ambas copias heredadas para el mismo gen.

Cabe destacar que existen otras mutaciones genéticas que también generan coloraciones poco comunes en el pelaje. El melanismo, producto de un exceso de eumelanina, resulta en un pelaje negro. A diferencia del melanismo, el albinismo se caracteriza por la ausencia total de pigmentos, lo que resulta en individuos con ojos rojos debido a la falta de pigmentación en el iris, junto con pelaje blanco, incluyendo bigotes y pestañas. El leucismo, aunque semejante al albinismo, conserva el color típico de los ojos de la especie. Lamentablemente, estas mutaciones a menudo conllevan desventajas para los individuos, ya que suelen tener una vida más corta al ser más visibles ante los ojos de los depredadores. Además, estas mutaciones pueden estar vinculadas a efectos negativos como deficiencia visual, compromiso del sistema inmune o incluso representar un riesgo ante la exposición a la radiación solar.

Si bien todas estas coloraciones muestran una baja frecuencia de aparición, han sido observadas en un gran número de mamíferos en los últimos años y a lo largo del tiempo pueden llegar a fijarse en una población. Sin embargo, la probabilidad de nacer pelirrojo es baja y este fenotipo (rasgos físicos observables) peculiar se manifiesta solo en circunstancias genéticas específicas.



Esquema de segregación genética (Segunda Ley de Mendel) en la que se indica que el gen recesivo de la primera generación parental (a) se expresará en uno de cada cuatro descendientes.

Ilustración: Luis Daniel Moreno-Figueroa.

AGRADECIMIENTOS

LDM-F (CVU 336817) y LC-5 (CVU 636320) agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por las becas posdoctorales otorgadas.

LITERATURA CONSULTADA

- Abreu, M. S., *et al.* 2013. Anomalous color in Neotropical mammals: a review with new records for *Didelphis* sp. (Didelphidae, Didelphimorphia) and *Arctocephalus australis* (Otariidae, Carnivora). *Brazilian Journal of Biology* 73:85-194.
- Caro, T. 2005. The adaptive significance of coloration in mammals. *BioScience* 55:125-136.
- Cichorek, M., *et al.* 2013. Skin melanocytes: biology and development. *Postępy Dermatologii Alergologii* 30:30-41.
- Gong, Y., *et al.* 2021. Prevalence of varied coat coloration in a Yellow-Throated Marten (*Martes flavigula*) population. *Animals* 11:2838.
- Haga, S. B., *et al.* 2009. Cómo entender la genética: una guía para pacientes y profesionales médicos en la región de Nueva York y el Atlántico Medio. Genetic Alliance. Washington DC, EE.UU.
- Hoekstra, H. E. 2006. Genetics, development, and evolution of adaptive pigmentation in vertebrates. *Heredity* 97:222-234.
- Hubbard, J. K., *et al.* 2010. Vertebrate pigmentation: from underlying genes to adaptive function. *Trends in Genetics* 26:231-239.

Sometido: 23/ene/2024.

Revisado: 23/ene/2024.

Aceptado: 25/ene/2024.

Publicado: 01/feb/2024.

Editor asociado: Dr. Francisco Botello.