

## LA MELANINA

### EL COLORANTE DE LA HUMANIDAD

*de Anna Shvets*

Existen muchas interrogantes a nuestro alrededor, una de ellas, quizás a la que menos importancia se le da, o simplemente pasa desapercibida es: ¿por qué la piel cambia de color cuando se expone al sol?, o la que tiene más relevancia: ¿por qué en las personas hay muchos tonos de piel? Para dar respuesta a esto, debe considerarse que la piel se compone por dos capas internas que son la hipodermis y la dermis y una capa externa que es la epidermis. En esta última, se encuentran unas células llamadas melanocitos que producen un pigmento conocido como melanina (Fig.1), la cual es un biopolímero con una estructura química compleja.

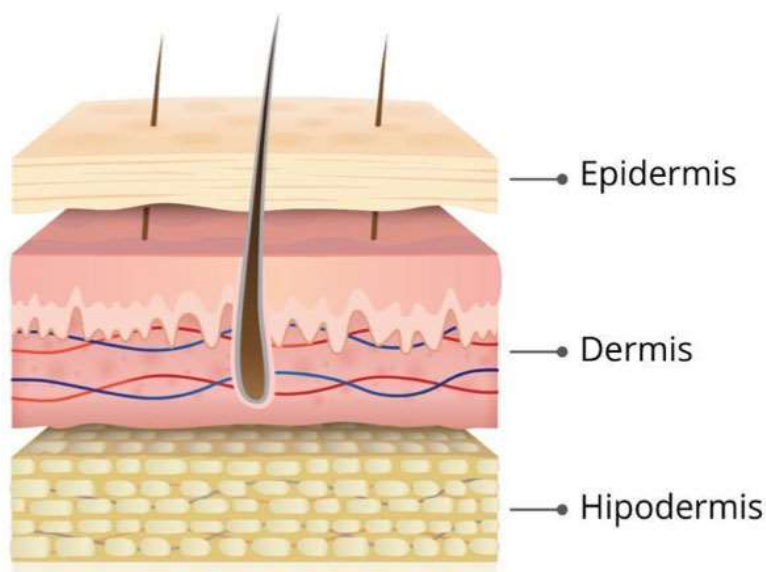


Figura 1. Capas que conforman la piel y los melanocitos de la epidermis que producen la melanina (Máxima Uriarte, 2020).

Existen diferentes tipos de melanina constituidas por pequeñas moléculas llamadas monómeros y que juntas forman lo que se conoce como un polímero. Así, dependiendo del estado de polimerización (unión) de las unidades monoméricas, es como se obtienen diversos tipos de melanina, (Fig. 2). El primer tipo es la eumelanina, (Fig. 2, A1 y A2), la cual es un pigmento de color oscuro insoluble muy abundante en la piel y en el cabello de las personas. Se obtiene de compuestos como la L-tirosina, L-dopa, 5,6- dihidroxindol o el ácido 5,6- dihidroxindol-2-

carboxílico. El segundo tipo es la feomelanina, (Fig. 2B), que es de color rojizo y se obtiene de compuestos como la cisteína. El tercer tipo es la piomelanina, (Fig. 2C), que presenta un color marrón oscuro; este pigmento se produce por compuestos como la L-tirosina y L-fenilalanina, o el ácido homogentísico. El último tipo, la neuromelanina, (Fig. 2D), es un pigmento oscuro que se encuentra en varios tipos de neuronas del sistema nervioso central y se origina a partir de compuestos como las catecolaminas y las interacciones con proteínas, lípidos y metales.

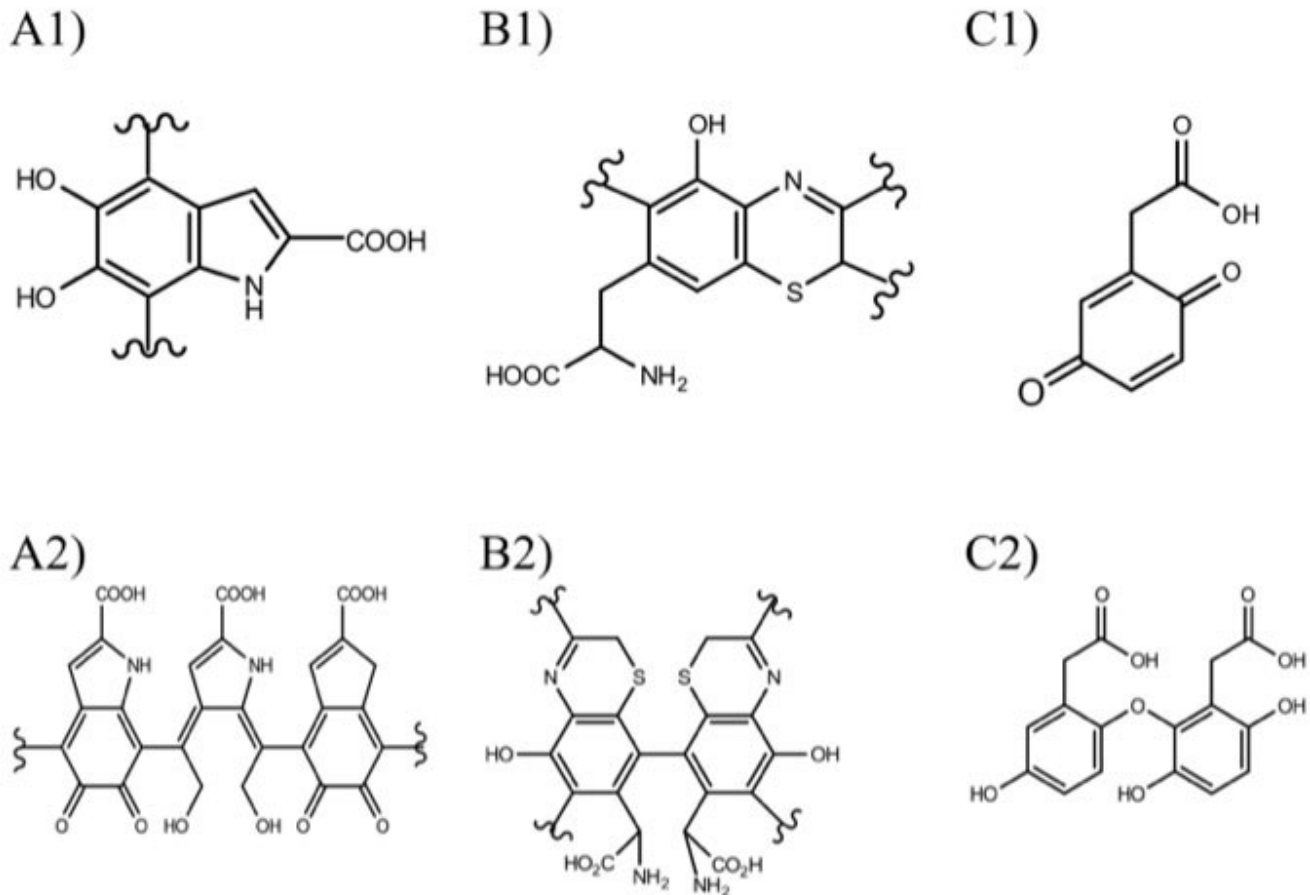


Figura 2. Monómeros (1) y polímeros (2) que forman las estructuras de diferentes tipos de melaninas: A) eumelanina, B) feomelanina, C) piomelanina y D) neuromelanina (autoría propia).

En los humanos se encuentra la melanina del tipo eumelanina, misma que se identifica en la piel, en el iris y en el cabello, y su concentración origina la coloración al cabello rubio, castaño, gris y negro. A mayor cantidad de eumelanina, más oscuros son el cabello, los ojos y la piel. Existen dos tipos de eumelanina, la marrón y la negra, que se distinguen por diferentes enlaces químicos formando polímeros en capas, como se representa en la (Fig. 3). La feomelanina produce una tonalidad entre rosa y roja, y se encuentra en grandes cantidades en el cabello rojo. Además, se halla particularmente en labios y pezones. La piomelanina produce una

tonalidad café y es posible localizarla en bacterias y hongos como *Pseudomonas aeruginosa* y *Yarrowia lipolytica*. La neuromelanina es el pigmento oscuro en las neuronas que recubren los núcleos del cerebro. Su función es desconocida.

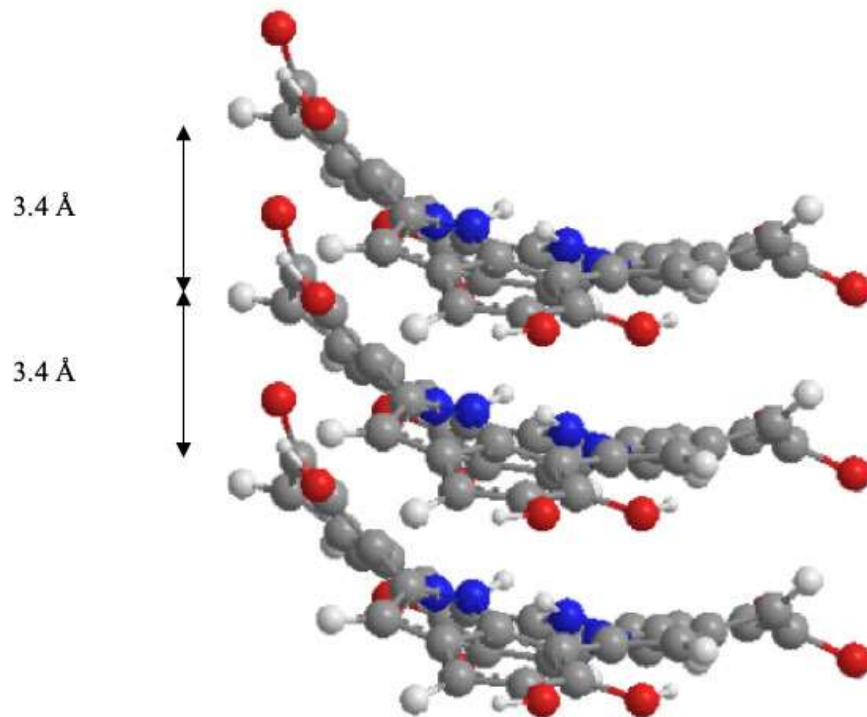


Figura 3.  
Representación de la estructura de la melanina en forma de capas (autoría propia).

Así, el tipo de melanina y su concentración, origina las diferentes tonalidades de piel, ojos y cabellos de las personas, que pueden ser clasificadas en seis fototipos (escala de Fitzpatrick), y se ordenan según las características físicas y étnicas de las personas, (Fig. 4).



Figura 4. Fototipos de piel según la escala de Fitzpatrick (Admin, 2021).

De manera general, la principal función de la melanina en los humanos es la de otorgar coloración a la piel y el cabello, con el fin de ofrecer protección contra las radiaciones ultravioleta emitidas por el sol, lo que la ubica como una molécula muy atractiva para la explotación científica.

Entre los tipos de melanina, la eumelanina es la más utilizada en estudios de diversas aplicaciones por su origen natural o sintético, además, es hidrofóbica y presenta cargas negativas en su superficie. Su fórmula química y peso molecular son  $C_{18}H_{10}N_2O_4$  y 318 g/mol, respectivamente. Esta variedad de macromolécula es insoluble tanto en soluciones acuosas como en solventes orgánicos, pero es soluble en soluciones alcalinas.



Figura 5. Jöns Jacob Berzelius, descubridor de la melanina (Foro Nuclear, 2020).

Transcurrieron muchos años para llegar a estos conocimientos. Sin embargo, es posible remontarse a los primeros acercamientos que se tuvieron con esta macromolécula. Por ejemplo, en 1840 Jöns Jacob Berzelius (Fig. 5) obtuvo por extracción un pigmento oscuro, la melanina, el cual contenía compuestos fenólicos, péptidos, carbohidratos y ácidos grasos, además de muchos grupos funcionales cargados negativamente, como son los grupos carboxilo, hidroxilo, metoxilo y las aminas.

Una forma de obtener melanina naturalmente es a través de hongos, como, por ejemplo, *Glioccephalotric*, *Phellophytic Phomopsis*, *Cirrenial pigmea* y *ophiocordyceps*. Algunas bacterias también la producen, tal es el caso de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, entre otros. Estas últimas son muy eficaces, debido a los procedimientos sencillos de obtención, en los que el rendimiento puede acelerarse optimizando los factores que afectan el desarrollo de las bacterias y hongos.

Estudios recientes demostraron que es posible obtener melanina sintética por varios métodos. El más conveniente es la polimerización de la L-dopa utilizando catalizadores como la cisteína y reacciones muy complejas [Guo *et al.*, 2021]

Considerando las distintas propiedades de la melanina, tanto natural como sintética, un gran número de investigaciones se desarrollan para su aplicación en campos tan variados como la electrónica, medicina, farmacia, por mencionar algunos. Por ejemplo, en electrónica se emplea como componente de supercondensadores de alto rendimiento o para facilitar de manera eficiente la

fabricación de materiales de electrodos híbridos con nanopartículas de MnO, generado una buena dispersión en su superficie, lo cual podría proporcionar una alta capacitancia específica y una ventana de potencial ampliada en aplicaciones electrónicas [Yang *et al.*, 2021].

Dentro de las propiedades de la melanina, está su gran capacidad para eliminar especies reactivas oxidativas, es decir, suprimir grupos funcionales que contienen oxígeno, los cuales tienden a generar reacciones de oxidación. Esta capacidad se atribuye a sus abundantes grupos funcionales reductores como el catecol, la amina y la imina, por lo que investigadores la han empleado para el desarrollo de antioxidantes que protegen, por ejemplo, ataques cerebrales isquémicos, o para disminuir la inflamación de las articulaciones [Liu *et al.*, 2017].

Referente a las propiedades de adsorción, los pocos estudios reportados demuestran que la melanina puede ser un buen adsorbente de metales pesados, dado que en su estructura contiene grupos funcionales activos para la retención de este tipo de iones. Además, los radicales libres de su estructura, también pueden contribuir a la interacción con los iones metálicos, a través de la formación de complejos metálicos [d'Ischia *et al.*, 2013].

Otro punto importante es que, en ocasiones es necesario conocer el contenido de melanina que tienen los sistemas biológicos; para ello, se detectan productos de degradación de eumelanina y feomelanina, mediante técnicas analíticas como la cromatografía líquida, la espectroscopia de absorción atómica, las espectrometrías de masas y la de resonancia paramagnética de electrones.

Uno de los grandes hallazgos de esta macromolécula, es su desempeño contra microorganismos patógenos. Por tanto, considerando que algunos materiales inorgánicos, como las arcillas, tienen la capacidad de actuar contra diversos microorganismos, la combinación de ambos compuestos genera materiales híbridos, en los que las propiedades antimicrobianas de los componentes individuales se potencian, generando materiales con características idóneas para el combate de microorganismos patógenos. Existen escasas evidencias de la inserción de melanina en la composición de híbridos, es decir, que combinen las propiedades inorgánicas y orgánicas en un solo material, lo cual genera características únicas.

Uno de los estudios se realizó con el fin de demostrar hallazgos importantes del efecto sinérgico de los híbridos, tal es el caso del trabajo de Cruz-Hernández *et al.*, (2021), en el que se desarrolla una propuesta de materiales híbridos basados en una arcilla natural muy conocida por su forma nanotubular, la halloysita; y una arcilla de carácter básico, la hidrotalcita, que combinadas con melanina natural, obtenida de la *Sepia officinalis*, generaron materiales híbridos con excelentes propiedades antimicrobianas.

Estos materiales se obtuvieron a través de la impregnación de melanina sobre las arcillas. Con ello, se encontró que la melanina presenta una aglomeración de cadenas poliméricas en forma de esférulas con un tamaño promedio entre 30 y 90

nm de diámetro, (Fig. 6A), y cuando la melanina se impregna en las arcillas, su forma de aglomeración depende de la clase de arcilla. En la hidrotalcita, la melanina se mantuvo en forma de esférulas, (Fig. 6B), mientras que en la halloysita se depositó en forma de películas delgadas cubriendo las superficies externas de los nanotubos, (Fig. 6C).

Los materiales híbridos se estudiaron como agentes antimicrobianos contra el hongo *Trichophyton mentagrophytes var. interdigitale*, el cual es conocido por causar infecciones en las uñas de pies y manos. Los resultados mostraron que el híbrido con hidrotalcita presentó actividad biocida razonable, la cual se atribuyó en gran parte a la arcilla, ya que posee gran cantidad de grupos hidroxilo, responsables de la actividad letal contra los microorganismos, mientras que el híbrido conformado con halloysita mostró una actividad biocida mucho mayor, que fue atribuida a la gran dispersión de las moléculas de melanina sobre la halloysita, exponiendo muchos más centros activos que cuando la melanina se encontraba en forma de esférulas. La actividad antifúngica de la melanina impregnada se atribuyó principalmente a su carácter anfipático: puede ser hidrofílica y permanecer en medios acuosos debido a interacciones electrostáticas entre grupos funcionales cargados (aminas secundarias y carbonilos) y agua, o ser hidrofóbica debido a la unión de los anillos aromáticos de la melanina con las cadenas de hidrocarburos de los fosfolípidos de la membrana celular del microorganismo.

