

CATÁLISIS PARA UNA COSMÉTICA SOSTENIBLE

Natalia Morales Borreguero, Alfonso Vargas Hidalgo

Resumen—Instrucciones para preparar artículos para la revista de Ciencias de la UHU.

Palabras Claves—Cosmética, Cosmética sostenible, catálisis homogénea, activación C-H, pigmentos orgánicos, economía atómica, química verde, acoplamiento cruzado.

Natalia Morales Borreguero, Alfonso Vargas Hidalgo, Grado Química, Universidad de Huelva

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el maquillaje, perfumería, el cuidado de la piel o *skincare* ha dejado de ser una simple rutina de belleza para convertirse en una tendencia global impulsada por las redes sociales. Desde preadolescentes hasta adultos de todas las edades, buscan sus rutinas diarias en busca de la piel perfecta, alimentando una industria que no para de crecer.

La actual demanda no solo se centra en productos eficaces, sino también en productos seguros y respetuosos con el planeta. Aquí es donde la catálisis adquiere un papel crucial.

2. INDUSTRIA COSMÉTICA TRADICIONAL

La industria cosmética utiliza una enorme variedad de ingredientes: emolientes, fragancias, conservantes, polímeros, tensioactivos, filtros solares, antioxidantes, siliconas modificadas, derivados del petróleo, pigmentos minerales sin purificar, siliconas persistentes, ceras sintéticas y colorantes obtenidos mediante procesos antiguos poco controlados entre otros. La mayoría requiere múltiples etapas de síntesis que generan residuos, consumen mucha energía o emplean reactivos poco sostenibles.

2.1. ¿Cómo puede ayudar la catálisis en una cosmética más verde?

Los procesos catalíticos permiten reducir disolventes tóxicos, disminuir la energía de activación de las reacciones, mejorar la eficiencia atómica, y obtener productos altamente selectivos con menos subproductos.

3. REACCIONES CATALÍTICAS PARA UNA INDUSTRIA COSMÉTICA SOSTENIBLE

3.1. Acoplamiento cruzado

Los coloretes se formulan principalmente con pigmentos minerales, como óxido de hierro y micas, estos aportan color y brillo debido a la transición electrónica en los metales y tienen un impacto ambiental derivado a su proceso de extracción.

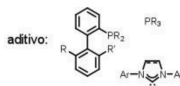
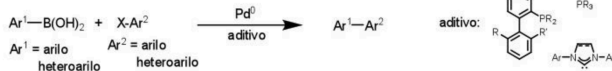
Hoy, gran parte de estos minerales están siendo sustituidos por pigmentos orgánicos, es decir, moléculas basadas en estructuras de carbono altamente conjugadas, que producen colores ajustables y libres de metales. Aunque, hay que destacar, que en el mercado no existen productos totalmente libres de minerales, es decir, no el 100% de los minerales son sustituidos por compuestos orgánicos sintetizados.



Figure SEQ Figure 1. Pigmento orgánico sintético: CI 15850
Pigmentos minerales: CI 77491, CI 77891

¿Cómo conseguimos fabricar estos pigmentos orgánicos?

Las reacciones de acoplamiento cruzado permiten unir dos fragmentos orgánicos (normalmente aromáticos) mediante un nuevo enlace C-C o C-heteroátomo para formar moléculas aromáticas conjugadas, que son la base de muchos pigmentos orgánicos sintéticos.



3.3. ACTIVACIÓN Y FUNCIONALIZACIÓN DE ENLACES C-H: LA NUEVA ERA DE LOS AROMAS

Históricamente, la industria cosmética se ha enfrentado a una encrucijada para obtener sus fragancias esenciales: o bien recurrir a la extracción natural (lo que implica procesar toneladas de biomasa para lograr apenas unos gramos de esencia), o bien optar por síntesis orgánicas clásicas, eficaces pero generadoras de una gran cantidad de subproductos contaminantes.

En este contexto, la activación de enlaces Carbono-Hidrógeno (C-H) se posiciona como una de las estrategias más potentes dentro de la Química Sostenible (*Green Chemistry*). Aunque los alcanos y arenos son materias primas abundantes y baratas, su alta estabilidad y baja polaridad siempre los han convertido en unos compuestos inertes difíciles de manipular. Sin embargo, el uso de catalizadores basados en metales de transición (como Rodio, Iridio o Platino) ha cambiado las reglas del juego, permitiendo romper esa inercia de forma controlada para introducir grupos funcionales sin los costosos pasos previos de pre-activación.

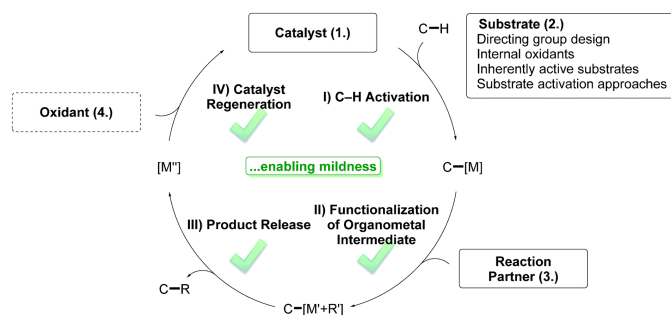
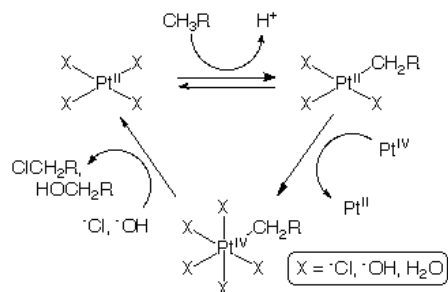


Imagen 1: Representación general del mecanismo de activación catalítica de enlaces C-H y clasificación de estrategias para lograr condiciones de reacción suaves.

Para lograr estas transformaciones, la química actual se apoya en mecanismos muy específicos. Destaca, por ejemplo, la adición oxidante, donde centros metálicos ricos en electrones (como los complejos de tipo Cp*Ir) logran escindir el enlace C-H.

Por otro lado, la activación electrofílica sigue siendo un pilar fundamental, ejemplificada en los clásicos sistemas de Shilov con Platino para funcionalizar moléculas tan simples como el metano. A esto se suma la funcionalización vía ligandos, donde el uso de catalizadores de Plata o Cobre facilita la inserción directa de carbenos y nitrenos. Esto último es crucial, ya que abre la puerta a la síntesis de estructuras complejas (nitrogenadas u oxigenadas) que mimetizan compuestos bioactivos y fragancias naturales.



Mecanismo del sistema de Shilov, un ejemplo clásico de activación electrofílica mediada por Platino.

El resultado de aplicar esta metodología es claro: la capacidad de sintetizar precursores de aromas sofisticados, como derivados de terpenos, iononas o almizcles, con una economía atómica drásticamente superior. Es, en definitiva, un salto cualitativo para reducir la huella ambiental en la formulación final de cualquier cosmético.

4. CONCLUSIONES

La industria cosmética atraviesa una transformación irreversible, la sostenibilidad ha llegado para convertirse en un imperativo ético y comercial. Frente al agotamiento que suponen la extracción masiva de biomasa y las síntesis químicas convencionales, la catálisis se consolida como el motor del cambio hacia una cosmética verde.

Como hemos visto, el salto tecnológico es notable. Por un lado, el acoplamiento cruzado nos permite diseñar pigmentos orgánicos que evitan la dependencia de minerales pesados. Por otro lado, la activación de enlaces C-H mediante metales de transición ha logrado convertir materias primas inertes en fragancias complejas con gran eficiencia atómica. El futuro del sector reside en integrar estos procesos catalíticos para garantizar productos que no solo sean eficaces, sino también respetuosos con el medio ambiente.

REFERENCIAS

- [1] <https://variacionxxi.com/2024/12/11/auge-skincare-moda-saludable-perjudicial/>
- [2] <https://www.samparfums.es/blog/consejos-de-belleza/cosmetica-natural-vs-tradicional/?srsltid=AfmBOoq0UcSMkqCjmc8kUv57HOQLw9vIE7ReccSFVSflduZH KC3ktrtf>
- [3] Presentación 7. Reacciones de acoplamiento cruzado
- [4] https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2025/04/mateconf_menec2025_03018.pdf
:MATEC Web of Conferences. (2025). *Application of Green Chemical Synthesis Technology in Fragrance Industry.*
- [5] https://www.researchgate.net/publication/233690090_Catalytic_Opportunities_in_the_Flavor_and_Fragrance_Industry :Chimica Oggi / Chemistry Today. *Catalytic Opportunities in the Flavor and Fragrance Industry.*
- [6] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35859624/> :PubMed Central. (2024). *Synthesis of odorants in flow and their applications in perfumery.*
- [7] imagen 1:
<https://pubs.rsc.org/image/article/2016/CS/c6cs00075d/c6cs00075d-s1.gif>
- [8] Imagen 2 :
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Shilov_cycle.png



Natalia Morales Borreguero y Alfonso Vargas Hidalgo,
Grado en Química, 4º curso.