

## Recuperación y reutilización de colorantes textiles

Daniel López-Rodríguez<sup>(1)</sup>, Bàrbara Micó-Vicent<sup>(2)</sup>, María Ángeles Bonet-Aracil<sup>(1)</sup>, Eva Bou-Belda<sup>(1)</sup>

### Introducción

Durante las últimas décadas estamos viviendo acontecimientos que afectan a la estabilidad de nuestro planeta. Como bien es sabido los recursos terrestres son limitados y debemos prestar atención a la contaminación que vertemos sobre el planeta. Es por ello que cada vez se implantan más sistemas que permitan reducir el consumo de aguas y reutilizarlas de la forma más eficiente posible con el mínimo impacto ambiental posible.

Si hablamos de la industria textil y más concretamente de la parte química, se observa que es una de las industrias que más contaminación vierte a los efluentes. La concentración de colorantes en dichos efluentes puede llegar hasta las 1.000 ppm, es por ello que cobra una gran relevancia buscar métodos que permitan eliminar estos productos de las aguas residuales. En la siguiente Tabla 1 se muestra el grado de fijación que tienen los diferentes colorantes en las fibras y la pérdida que hay en los efluentes.

La industria textil utiliza cada vez más frecuencia los colorantes sintéticos debido a que son fáciles de utilizar, son baratos, presentan una alta estabilidad y ofrecen una amplia variedad en comparación con los colorantes naturales. Los colorantes artificiales son compuestos orgánicos sintéticos, que están molecularmente dispersados y se unen a los sustratos textiles gracias a las fuerzas intermoleculares. En el mercado podemos encontrar más de 10.000 colorantes disponibles y la mayoría son difíciles de biodegradar lo cual se debe a su complicada estructura molecular aromática y su procedencia sintética.

| Familia        | Material         | Grado de fijación (%) | Perdida en efluente (%) |
|----------------|------------------|-----------------------|-------------------------|
| Ácidos         | Poliamida / Lana | 80-95                 | 5-20                    |
| Azoicos        | Celulósicos      | 75-90                 | 10-25                   |
| Básicos        | Acrílicos        | 95-100                | 0-5                     |
| Directos       | Celulósicos      | 70-95                 | 5-30                    |
| Dispersos      | Polyester        | 90-100                | 0-10                    |
| Premetalizados | Lana             | 85-95                 | 5-15                    |
| Reactivos      | Celulósicos      | 60-90                 | 10-40                   |
| Sulfurosos     | Celulósicos      | 60-86                 | 15-40                   |
| Tina           | Celulósicos      | 80-95                 | 5-20                    |

Tabla 1. Porcentaje de fijación de diferentes colorantes y pérdida estimada en efluentes

Son diversos los métodos que se han utilizado para separar este tipo de contaminación, uno de los que están más en auge es el uso de las nanoarcillas (halloisita, hidrotalcita, montmo-

illonita, etc). Este tipo de material posee unas propiedades concretas que le permiten tener una gran capacidad de adsorción de colorantes de toda clase y una vez adsorbidos dentro de su estructura es capaz de retenerlos para que no vuelvan al efluente, permitiendo al mismo tiempo su recogida y posterior reutilización.

### Objetivo

Así pues consecuentemente a lo descrito en la introducción el objetivo principal de estos trabajos es el de conseguir adsorber la máxima cantidad posible de colorante en disolución acuosa por parte de la nanoarcilla. De esta forma se consigue eliminar esta sustancia contaminante del efluente. Estos minerales arcillosos tienen un coste bajo y el proceso no es muy complejo por lo que supone una práctica ideal para esta práctica.

Una vez se ha conseguido adsorber el colorante y se ha recogido la arcilla del medio acuoso el segundo objetivo es la reutilización de este híbrido arcilla-colorante. En este aspecto se puede diferenciar tres líneas de reutilización posibles:

1. Se puede desorber parte del colorante para realizar nuevos baños de tintura. Para ellos se somete a la arcilla a un proceso térmico y a un pH alcalino o ácido según la característica de la interacción arcilla-colorante, lo cual permite romper ese enlace iónico y dejar el colorante nuevamente en disolución acuosa.
2. El híbrido obtenido puede utilizarse directamente como pigmento en un proceso de estampación. Las recetas realizadas para las estampaciones son iguales a las empleadas con pigmentos, utilizando ligantes y espesantes del mismo tipo. Al utilizar este híbrido en lugar de pigmentos diversos estudios afirman que mejora la solidez del color al encontrarse el colorante protegido por la arcilla.
3. Nuevamente se puede hacer uso del híbrido de forma directa en una extrusora para por ejemplo imprimir diferentes estructuras en una impresora 3D, por lo que se aprovecha el colorido que ya se ha conseguido dar a la arcilla.

Así pues los objetivos que recogen dicho estudio son los de eliminar el colorante residual de los baños de tintura antes de verterlo a cualquier efluente y una vez que se ha capturado por la nanoarcilla aprovecharlo de alguna forma, ya sea como pigmento de estampación, nuevos baños de tintura o polímeros para impresión 3D. En cualquier caso se estaría fomentando la economía circular.

## Desarrollo experimental y resultados

En los últimos años, el fenómeno de la adsorción se ha convertido en la herramienta más poderosa para la eliminación de varias clases de colorantes. El fenómeno está controlado por varios parámetros, como son la concentración inicial de adsorbato, pH, dosis de adsorbente, tiempo de contacto, tamaño de partícula del adsorbente, temperatura, etc., y este proceso es operativo en la mayoría de los sistemas naturales, físicos, biológicos y químicos. Las operaciones de adsorción que emplean sólidos como adsorbentes se utilizan ampliamente en aplicaciones industriales y para la purificación de agua y aguas residuales.

En estos trabajos se han utilizado diferentes tipos de arcillas como halloisita (HA), hidrotalcita (HC), montmorillonita (MMT). Las características que tienen pueden ser muy diferentes, polaridad positiva o negativa, forma laminar, tubular o a surcos, etc. También diferentes tipos de colorante; directos, reactivos, catiónicos, los cuales también tienen diferentes pesos moleculares, diferentes cargas y propiedades. Todo esto da una variabilidad que crea una necesidad muy diversa por los diferentes colorantes, pero que queda muy bien satisfecha por la gran diversidad de arcillas que existen las cuales permiten que se pueda adaptar este tipo de actuaciones a cualquier tintura residual.

En el desarrollo de la parte experimental se ha trabajado a diferentes concentraciones tanto de arcillas como de colorantes para ver el comportamiento en diferentes condiciones. Para ello se preparan disoluciones de 500 ml donde se introduce la arcilla y se deja con agitación durante 24 horas. Una vez se ha dejado que interaccione la arcilla y el colorante se filtra para separar el agua y el híbrido. Después de seca el híbrido para eliminar las partículas de agua que pueda tener. En la imagen 1 podemos ver diferentes imágenes de algunas nanoarcillas.



Imagen 1. a) HC SEM b) HA SEM c) MMT SEM

En este punto se observan elevados niveles de adsorción por parte de las arcillas, situándose siempre por encima del 95% de eliminación de colorantes en las aguas, lo cual es considerado como un excelente resultado. En la tabla 2 podemos ver algunos resultados de adsorción con hidrotalcita (HC).

Cabe señalar que el fenómeno que acontece es el de una adsorción del colorante por parte de la arcilla, ya que este último no llega a penetrar dentro del mineral, sino que se queda fuertemente ligado a su superficie. En otros procesos de adsorción se produce previamente esa fase de adsorción, pero en este caso no llega a ocurrir la absorción.

|                 | Muestra | Inicial conc. g·L <sup>-1</sup> | Final conc. g·L <sup>-1</sup> | % Adsorción |
|-----------------|---------|---------------------------------|-------------------------------|-------------|
| Direct Blue 71  | 1       | 0.05                            | $2.30 \cdot 10^{-3}$          | 95.40%      |
| Reactive Yellow | 2       | 0.05                            | $4.08 \cdot 10^{-4}$          | 99.18%      |
| Direct Red 23   | 3       | 0.05                            | $9.55 \cdot 10^{-4}$          | 98.09%      |
| Direct Blue 199 | 4       | 0.05                            | $1.56 \cdot 10^{-3}$          | 96.88%      |

Tabla 2. Diferencia en la concentración tras la adsorción por la HC

Una vez tenemos el híbrido arcilla-colorante podemos optar por las 3 líneas definidas anteriormente, hacer una desorción para una nueva tintura, estampar el híbrido como si fuera un pigmento o realizar una extrusión. Los resultados obtenidos en cualquier de los 3 procesos son excelentes, incluso en el caso de desorción la arcilla puede ser utilizada nuevamente en otros procesos de adsorción para baños residuales nuevos.

## Conclusiones

A la vista de los resultados queda demostrada la capacidad adsorbente de las arcillas para cualquier tipo de colorante. La fijación del color dentro de la arcilla es muy elevada, lo que permite su reutilización en otros procesos como los descritos. No obstante hay que tener en cuenta que las cargas superficiales de los colorantes y de las arcillas son diferentes en cada caso, salvo en el caso de arcillas como lo halloisita que tiene carga positiva y negativa, diferente en cada cara, y que por lo tanto la capacidad de adsorción de cada arcilla sobre cada tipo de colorante concreto se verá afectado por ese factor de carga.

Así pues el diseño de un sistema de depuración de aguas con colorantes mediante la utilización de nanotecnologías se vislumbra como una novedosa implantación que puede llevarse a cabo de forma industrializada en muchas manufacturas. Desde el punto de vista científico es una línea de investigación que está despertando el interés de numerosos centros de investigación y universidades, por lo que los avances en estas materias deben verse incrementados.

Recordar que la economía circular es una estrategia muy valiosa para mantener los recursos de nuestro planeta, ya que tiene como objetivo la reducción de los materiales vírgenes que entran y también reducir la producción de desechos, dejando un sistema cerrado de la interacción. En algunos países se conoce como las tres "R" (reciclar, reducir, reutilizar) y precisamente este tipo de trabajo es el objetivo que tiene, reducir el colorante vertido al agua, reciclar ese colorante y reutilizar el híbrido arcilla-colorante que se ha producido durante el proceso de adsorción.

1 Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoy, Spain;

2 Departamento de Ingeniería Gráfica, Universitat Politècnica de València Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoy, Spain;