

# Lentes de Contacto y Daltonismo

Marisa Ramos Ibáñez, MSc<sup>1\*</sup>

1: General Óptica Plenilunio, Madrid, España.

\* [ramosmarisa92@gmail.com](mailto:ramosmarisa92@gmail.com)

**Significancia:** Actualmente, los sistemas convencionales como las lentes de contacto blandas se pueden usar para compensar problemas visuales como el daltonismo, mejorando la calidad de vida del paciente.

**Resumen:** La compensación de la deuteranopia en pacientes daltónicos se consigue mediante el desarrollo de lentes de contacto blandas con nanocompuestos de oro diseñadas con propiedades ópticas específicas en la luz y un tamaño concreto, que dan lugar al filtrado del color percibido en exceso haciendo aumentar la gama de tonalidades del sujeto.

**Palabras clave:** Lentes de Contacto, Daltonismo, Deuteranomalia, Nanopartículas.

---

## INTRODUCCIÓN

### ¿Qué es daltonismo?

El daltonismo es un trastorno ocular que impide percibir y distinguir ciertos colores, el cual se estima que padecen alrededor de 350 millones de personas a nivel mundial. Se trata de una deficiencia generalmente genética y congénita que se hereda en el cromosoma x, afectando en un 8% al sector masculino y en 0,4% al femenino (2,3). La percepción del color comienza con la percepción de la luz por parte de los conos, los fotorreceptores responsables de la percepción del color. Los conos son sensibles a diferentes longitudes de onda diferenciando tres tipos: conos cortos (S) correspondientes al color azul, conos medianos (M) correspondientes al color verde y conos largos (L) correspondientes al color rojo, siendo máxima a 440 nm (nanómetros), 540 nm y 560 nm respectivamente. En una correcta y funcional visión del color, todos los conos están presentes generando una visión tricromática. Hablamos de deficiencia del color cuando uno o varios de los tres fopigmentos sensibles a la luz de los conos no

son correctamente funcionales y su sensibilidad se ve desplazada en la región del espectro (3,4).

Existen diferentes tipos de daltonismo según el tipo de cono o conos que se vean alterados. Los individuos acromáticos no presentan, o tienen anomalías en los tres tipos de conos, teniendo una visión en blanco y negro. Los individuos monocromáticos poseen únicamente uno de los tres fotorreceptores existentes en los conos por lo que verán en distintas intensidades, pero el mismo color y sin distinguir ningún otro. Por otro lado, el dicromatismo se da cuando no existe uno de los tres tipos de fotorreceptores o la disfunción en uno de ellos es importante. Esta diferencia es hereditaria y se da en una proporción mucho mayor.

La forma más frecuente de dicromatismo es la deuteranopia, en donde la sensibilidad espectral del cono M se desplaza hacia las longitudes de onda más largas de forma completa o parcial (deuteranomalia), de modo que recibe efectivamente demasiada luz roja y poca luz verde. Estos pacientes presentan dificultades a la hora de

discriminar entre los colores rojo y verde, pudiendo sólo distinguir de 2 a 3 colores diferentes, mientras que alguien con visión normal ve 7.

Otro tipo de dicromacia frecuente es la protanopia, en donde la sensibilidad espectral del cono L se desplaza hacia longitudes de onda más cortas de manera completa o de forma parcial (protanomalia) de modo que no recibe suficiente luz roja y recibe demasiada luz verde en comparación con un cono L normal. Esto no sólo significa que tienen dificultades para distinguir entre los colores rojo y verde sino también entre el azul y el verde. Se estima que alrededor del 25% de los casos de daltonismo rojo-verde son del tipo protan.

Por último, otro tipo de dicromacia menos frecuente, es la tritanopia, que se caracteriza generalmente por una sensibilidad reducida en las células de cono S sensibles al azul. En este caso confunden el azul con el verde y el amarillo con el violeta.

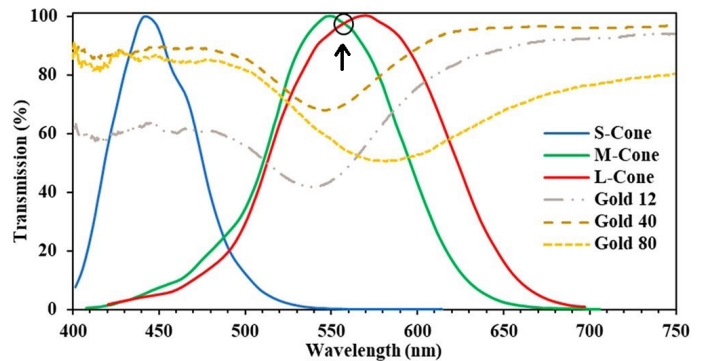
Además de los tipos anteriormente citados, existe uno más: el daltonismo tricromático anómalo. En este caso, los colores sí pueden verse, pero los receptores de los ojos están alterados y, por lo tanto, los pacientes que padecen daltonismo tricromático anómalo confunden unos con otros. (5,6)

### ¿Cómo se ha conseguido compensar?

De la misma forma que sucede con la plata, también el oro y el cobre cambian sus propiedades si se transforman en nanopartículas (7). Parte del interés en las nanopartículas de oro radica en su destacada absorción en el rango visible y la sensibilidad de ésta a los cambios en sus dimensiones. En este caso se ha recurrido a las metasuperficies plasmónicas: películas delgadas hechas de elipses de oro a nanoescala diseñadas con propiedades ópticas específicas en la luz dando lugar al filtrado de regiones espectrales superpuestas. Respecto a la alteración rojo-verde, como el fotorreceptor responsable de detectar la luz verde responde a la luz asociada con colores más rojos, estas metasuperficies filtran el color percibido en exceso haciendo aumentar la gama de tonalidades del observador (8).

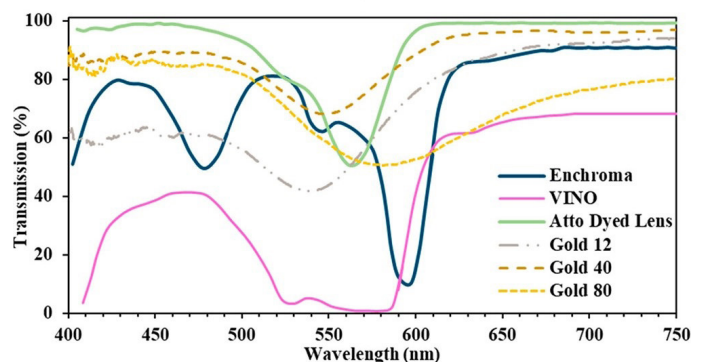
El tamaño de las nanopartículas se seleccionó utilizando microscopía electrónica de transmisión, midiendo sus espectros en relación a la sensibilidad espectral de los conos fotorreceptores de pacientes

daltónicos y en comparación a la filtración que generan dispositivos del mercado actuales, como la lente Cx-65® (Enchroma, California), lente VINO 02 Amp Oxy-Iso® (VINO, EE.UU) y la lente teñida con colorante Atto® (9,10) para las deficiencias cromáticas.



**Figura 1:** Espectros de transmisión de los nanocompuestos de oro de 12, 40 y 80 nm en comparación con la sensibilidad espectral de los conos fotorreceptores S, M y L.

**Leyenda:** S: Small (cortos); M: Medium (medianos); L: Large (largos)



**Figura 2:** Espectros de transmisión de los nanocompuestos de oro de 12, 40 y 80 nm en comparación con los espectros de lente Enchroma, lente VINO y la lente teñida Atto.

Como se puede observar en la gráfica de la figura 2, dentro de los dispositivos ya existentes la lente teñida Atto es la más efectiva en el filtrado de longitud de onda, por lo que las lentes de nanocompuestos de oro de 12 y 40 nm también podrían tener un éxito similar. De entre los tres tipos de nanopartículas evaluadas, las de 40 nm de diámetro resultaron ser las más adecuadas, dado que no formaron agregados, ni produjeron un filtrado excesivo de la luz (11).

### ¿Qué tipo de lente de contacto se ha usado?

El hidrogel es un material con capacidad de absorber y retener gran cantidad de agua, suave, flexible y biocompatible. Al ser materiales porosos, ofrecen la posibilidad de integrar en su matriz diferentes tipos de moléculas como pueden ser fármacos que se vayan liberando o bien que tengan una acción de respuesta ante un estímulo (12,13).

Sumergir las lentes de contacto comerciales directamente en nanopartículas generalmente no da lugar a la permeación de las nanopartículas a través de los poros de las lentes, por ello, la introducción de las nanopartículas en el gel de la lente de contacto se da lugar en dos pasos: el gel hinchado se coloca primero en acetona, un disolvente aprótico, haciendo que expulse el agua y que el material se deshinche. Después, para que el hidrogel se recomponga de nuevo, se introduce en una solución acuosa compuesta de nanopartículas, haciendo que éstas se adhieran a la matriz del gel y consiguiendo una estabilidad con fugas mínimas o nulas. Este ciclo se llevó a cabo repetidas ocasiones para mostrar su efecto sobre las propiedades ópticas, siendo la cantidad de carga de las nanopartículas dentro de la lente proporcional al número de ciclos (14).

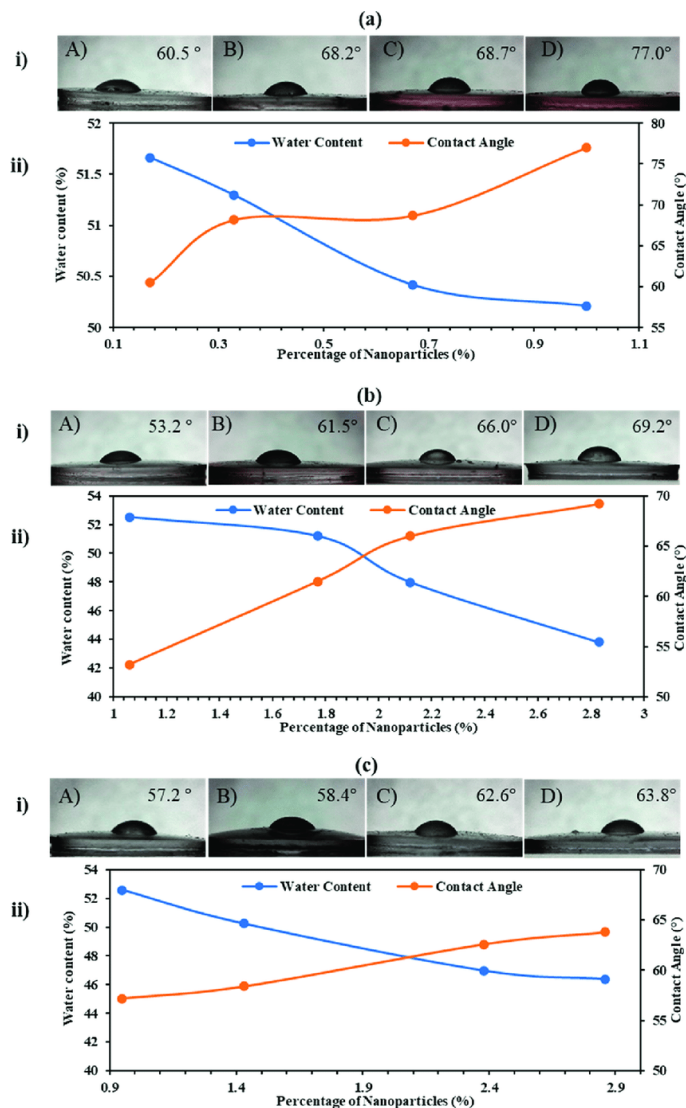
Al introducir los nanocompuestos de oro en un polímero de hidrogel, es decir, en el material más empleado para la fabricación de lentes de contacto en la actualidad, otro factor a valorar ha sido su humectabilidad e hidratación.

En la Figura 3, el rango de cambio del ángulo de contacto fue de casi  $17^\circ$  para los nanocompuestos de 12 y 40 nm, mientras que con 80 nm fue de  $6,5^\circ$ . Esto podría ser generado debido a que las nanopartículas no eran abundantes en la superficie, sino en la matriz del hidrogel.

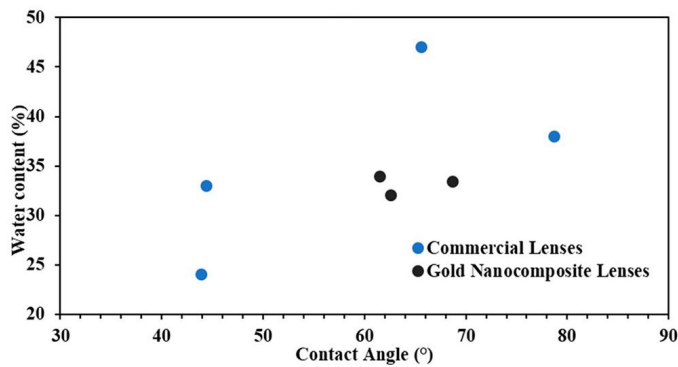
El aumento en la concentración de nanopartículas provoca una disminución en los niveles de retención de agua y la humectabilidad de la superficie de las lentes. Se esperaba que el tamaño de las nanopartículas influyera en ambas propiedades, ya que las nanopartículas de gran tamaño tienen una mayor influencia en el contenido de agua y el ángulo de contacto que las más pequeñas, debido a que por su tamaño, llenan los espacios entre las cadenas poliméricas del hidrogel reduciendo el

tamaño del poro que retiene el agua.

El mayor nivel de retención de agua alcanzado fue del 52,5 %, mientras que el ángulo de contacto más alto fue de  $77^\circ$ , lo que indica que las nanopartículas no hicieron que la lente fuera completamente hidrofóbica y, por lo tanto, se pueden usar en aplicaciones de lentes de contacto. (8)



**Figura 3:** Mediciones de humectabilidad y contenido de agua de (a) nanocompuestos de 12 nm, (b) 40 nm y (c) 80 nm: (i) mediciones del ángulo de contacto de los cuatro nanocompuestos; (ii) efecto de la concentración de nanopartículas sobre el contenido de agua y el ángulo de contacto de los nanocompuestos.



**Figura 4:** Ángulo de contacto y el contenido de agua de algunas lentes de contacto comerciales comunes en comparación con las lentes nanocompuestas desarrolladas.

Como se muestra en la Figura 4, el ángulo de contacto de hidratación de los lentes de contacto comerciales oscila entre 44° y 79°, mientras que su contenido de agua varía entre 24% y 47% (11,12).

El estudio mostró que los espectros de transmisión de las lentes de nanocompuestos de oro de 12 y 40 nm eran muy comparables a los de los dispositivos portátiles comerciales ya existentes y basados en la investigación. Además, las propiedades de retención de agua y humectabilidad de los nanocompuestos fabricados fueron superiores a algunas de las lentes de contacto disponibles en el mercado; por lo tanto, se concluyó que estas lentes se pueden usar para ayudar a los pacientes con disfunción cromática.

## CONCLUSIONES

Los compuestos de oro, en su forma de nanopartícula, han resultado eficaces por su absorción en el rango visible y su capacidad de filtrado de regiones espectrales superpuestas.

El hidrogel es un material capaz de absorber y retener gran cantidad de agua, suave, flexible y biocompatible, por lo que se consideró apto como base.

Las lentes de contacto con nanocompuestos no resultaron hidrofóbicas en su totalidad, siendo válidas para su uso comercial y comparables con otros dispositivos para la compensación del daltonismo en el mercado actual.

El uso de este sistema de compensación aporta un grado de comodidad alto al paciente frente al uso de otros dispositivos.

## CONFLICTO DE INTERESES

La autora declara no tener conflictos de intereses.

## REFERENCIAS

1. Sharon Karepov y Tal Ellenbogen, "Lentes de contacto basados en meta-superficies para la deficiencia de la visión del color: respuesta", *Opt. Letón* 2020;45 , 5119-5120.
2. Khalaj M, Mohammadi M, Barikani A. Prevalencia de la deficiencia de visión del color en Qazvin. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*. 2013;16(1):91-93.
3. Krawczyński MR. Genetyka wrodzonych zaburzeń widzenia barwnego Cześć I: Popularne formy ślepoty barwniej. *Genetics of congenital color vision defects. I. Common types of color blindness*. 1995;97(1-2):34-8.
4. Bernardino MG y Herrero AG. Deuteranomalía. Caso clínico. *REDUCA*. 2011;3(2):41-42.
5. Menéndez JA. Ser daltónico para ver más. Hipótesis para explicar las ventajas evolutivas de ser daltónico. 2014.
6. Puell Marín MC. Anomalias de la visión del color. 2020.
7. Luna Criado C, Castañeda Rodríguez D, Rosas Torres RA, et al. Fenómenos físicos de las nanopartículas de oro. *Cel-erinet*. 2013;1:97-103.
8. Salih AE, Elsherif M, Alam F, et al. Nanocomposite Contact Lenses for Color Blindness Management. *ACS Nano*. 2021;15(3):4870-4880.
9. Martínez Domingo MA, Gómez Robledo L, Valero EM, et al. 2019;27(13):17954-17967.
10. Elsherif M, Salih AE, Yetisen AK, et al. Lentes de contacto para la deficiencia de la visión del color. *Tecnologías Avanzadas de Materiales*. 2021;6(1):2000797
11. Ahmed ES, Elsherif M, Fahad A, et al. Lentes de contacto de nanocompuestos de oro para el tratamiento del daltonismo. 2021;15(3):4870-4880.
12. Martínez García R. Hidrogeles nanocompuestos para aplicaciones oftalmológicas (TFM). 2021.
13. Tito Guitarra, Jesús Rueda, Juan Carlos, et al. Elaboración de nanopartículas de oro en hidrogeles termosensitivos. 2017, vol.83, n.1 [citado 2022-09-13], pp.78-90.
14. *ACS Biomater. Ciencia Ing.* 2022; 8,5, 2111-2120.

## ABREVIATURAS

- Nm: Nanómetros
- S: Conos cortos
- M: Conos medianos
- L: Conos largos