

# Spectral simulations for the teaching of metamer colour pairs at various educational levels

## Simulaciones espectrales para la enseñanza de pares de colores metámeros en varios niveles educativos

F. L. Naranjo-Correa<sup>1\*</sup>, G. Martínez-Borreguero<sup>2</sup>, Á. L. Pérez-Rodríguez<sup>1,S</sup>, P. J. Pardo-Fernández<sup>3,S</sup>, M. I. Suero-López<sup>1,S</sup>

1. Departamento de Física. Universidad de Extremadura

2. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Extremadura

3. Departamento de Ingeniería de Sistemas Informáticos y Telemáticos. Universidad de Extremadura

(\*) E-mail: [naranjo@unex.es](mailto:naranjo@unex.es)

S: SEDOPTICA member

Received: 31/07/2018

Accepted: 07/02/2019

DOI: 10.7149/OPA.52.1.51009

### ABSTRACT:

This work presents a series of didactic simulations to improve the teaching of colour at different educational levels. Specifically, the objective of these simulations was to show the student concepts related to metameric colour pairs. The simulations were developed using the software POV-Ray. This program was chosen because of its ability to generate images with a high degree of realism, producing hyper-realistic simulations of the optical phenomena explained.

**Key words:** Simulations, teaching, metamer pairs

### RESUMEN:

Este trabajo presenta una serie de simulaciones didácticas para mejorar la enseñanza del color en diferentes niveles educativos. En concreto, el objetivo de estas simulaciones era mostrar a los alumnos conceptos relacionados con pares de colores metámeros. Las simulaciones se realizaron con el programa informático POV-Ray. Se eligió este programa por su capacidad de generar imágenes con un alto grado de realismo, produciendo simulaciones hiperrealistas de los fenómenos ópticos explicados.

**Palabras clave:** Simulaciones, enseñanza, pares metámeros

### REFERENCES AND LINKS / REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models (3<sup>rd</sup> ed.)*, West Sussex, John Wiley & Sons (2013).
- [2] G. Wyszecki, and W. S. Stiles, *Color Science - Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae (2<sup>nd</sup> ed.)*, New York, Wiley-Interscience (2000).
- [3] G. Martinez, A.L. Pérez, M.I. Suero, and P.J. Pardo, "Detection of Misconceptions about Colour and an Experimentally Tested Proposal to Combat them," *Int. J. Sci. Educ.*, **35**, 1299-1324 (2013).
- [4] E. Feher and K. Rice, "Children's Conceptions of Color", *J. Res. Sci. Teac. Educ.*, **29**, 505-520 (1992).
- [5] N. Valanides and C. Angeli, C., "Distributed Cognition in a Sixth-Grade Classroom: An Attempt to Overcome Alternative Conceptions about Light and Color", *J. Res. Technol. Educ.*, **40**, 309-336 (2008).
- [6] J. V. Koleske (ed.), *Color and Light, Paint and Coating Testing Manual (14<sup>th</sup> ed.)*, West Conshohocken, ASTM International (1995).
- [7] ASTM D1729-16, *Standard Practice for Visual Appraisal of Colors and Color Differences of Diffusely-Illuminated Opaque Materials*, West Conshohocken, ASTM International, 2016.
- [8] The Munsell Books of Color, Munsell Color (2012).

- [9] F. L. Naranjo-Correa, G. Martínez-Borreguero, A. L. Pérez-Rodríguez, P. J. Pardo-Fernandez, and M. I. Suero-Lopez, "Didactic simulations of metameric colour pairs using POV-Ray," presented at the XII Reunión Nacional de Óptica (2018).
- [10] F. L. Naranjo-Correa, G. Martínez-Borreguero, A. L. Pérez-Rodríguez, P. J. Pardo-Fernandez, and M. I. Suero-Lopez, "Teaching rainbows with simulations: revisiting Minnaert's lab experiment," *Appl. Opt.* **56**, G69-G74 (2017).
- [11] G. Martínez, F. L. Naranjo, A. L. Perez, M. I. Suero, and P. J. Pardo, "Comparative study of the effectiveness of three learning environments: Hyper-realistic virtual simulations, traditional schematic simulations and traditional laboratory," *Phys. Rev. Spec. Top. Ph.* **7**, 020111 (2011).
- [12] G. Martínez-Borreguero, F. L. Naranjo-Correa, A. L. Pérez-Rodríguez, M. I. Suero-López, and P. J. Pardo-Fernández, "Use of computer generated hyper-realistic images on optics teaching: The case study of an optical system formed by two opposed parabolic mirrors," *J. Sci. Educ.* **14**, 25-28 (2013).
- [13] G. Martínez-Borreguero, F. L. Naranjo-Correa, A. L. Perez-Rodríguez, and M. I. Suero-Lopez, "Development of hyperrealistic simulations to teach concepts about colors," *Color Res. Appl.* **41**, 330-332 (2016).
- [14] F.L. Naranjo-Correa, G. Martínez-Borreguero, A.L. Pérez-Rodríguez, M.I. Suero-López, P.J. Pardo-Fernández, "Análisis del tratamiento de conceptos relacionados con la enseñanza de la óptica en el currículo de educación primaria y secundaria", in *21ª Conferência Nacional de Física e 28º Encontro Ibérico para o Ensino da Física*, (2018).
- [15] D. Palmer, "Situational interest and the attitudes towards science of primary teacher education students," *Int. J. Sci. Educ.*, **26**, 895-908 (2004).
- [16] S. I. van Aalderen-Smeets, J. H. W. van der Molen, and L. J. F. Asma. "Primary teachers' attitudes toward science: A new theoretical framework," *Sci. Educ.*, **96**, 158-182 (2012).
- [17] D. Heywood, "Primary Trainee Teachers' Learning and Teaching About Light: Some pedagogic implications for initial teacher training," *Int. J. Sci. Educ.*, **27**, 1447-1475 (2005).
- [18] D. Kaltakci-Gurel, A. Eryilmaz, and L. McDermott, "Identifying pre-service physics teachers' misconceptions and conceptual difficulties about geometrical optics," *Eur. J. Phys.*, **37**, 045705 (2016).
- [19] E. Van Zee, D. Hammer, M. Bell, P. Roy, and J. Peter, "Learning and teaching science as inquiry: A case study of elementary school teachers' investigations of light," *Sci. Educ.*, **89**, 1007-1042 (2005).
- [20] S. Uzun, N. Alev, and I.S. Karal, "A cross-age study of an understanding of light and sight concepts in physics," *Sci. Educ. Int.*, **24**, 129-149 (2013).
- [21] F.L. Naranjo-Correa, G. Martínez-Borreguero, A.L. Pérez-Rodríguez, P.J. Pardo-Fernández, and M.I. Suero-López, "Analysis of misconceptions about optics concepts in teachers in training: development and validation of an interactive test", in *10<sup>th</sup> International Conference on Education and New Learning Technologies – EDULEARN18 Proceedings*, Valencia, IATED (2018).
- [22] POV-Ray, The persistence of vision raytracer, <http://www.povray.org/>
- [23] R. Wahler, Spectral rendering with POV-Ray, [http://www.lilysoft.org/CGI/SR/Spectral\\_Render.htm](http://www.lilysoft.org/CGI/SR/Spectral_Render.htm)
- [24] F.L. Naranjo, G. Martínez, A.L. Perez, P.J. Pardo, & M.I. Suero, & P.J. Pardo, "A new online tool to detect color misconceptions", *Color Res. Appl.* **41**, 325-329 (2016).
- [25] G. Martínez-Borreguero, F.L. Naranjo-Correa, A.L. Pérez-Rodríguez, P.J. Pardo-Fernández, M.I. Suero-López, "Validación de simulaciones didácticas y experiencias STEM para mejorar la enseñanza de contenidos sobre luz y color con docentes en formación", in *10<sup>th</sup> International Conference on Education and New Learning Technologies – EDULEARN18 Proceedings*, Valencia, IATED (2018).

---

## 1. Introducción

El concepto de metamerismo puede definirse [1,2] como la percepción coincidente de dos estímulos de color a pesar de que sus distribuciones de potencia espectral sean distintas. Las muestras de color que coinciden bajo unas condiciones determinadas, pero no bajo otras distintas, se llaman metámeros. Existen varios tipos de metamerismo, siendo el del iluminante el más conocido generalmente. Se da cuando dos objetos se ven del mismo color bajo un iluminante, pero se ven de colores distintos al cambiar de iluminante. En esencia, las funciones de reflectancia espectral de los dos objetos difieren, pero esas diferencias no son

significativas con respecto a las funciones de respuesta visual cuando se integran con la distribución de potencia espectral del primer iluminante. Al cambiar el iluminante, sin embargo, estas diferencias pueden ser evidentes para el observador [1,2]. Este efecto es mucho más evidente cuando se comparan al menos dos muestras de color, por lo que se suele hablar de un par metámero, que puede resumirse como dos colores con diferentes distribuciones espectrales que generan los mismos estímulos de color bajo ciertas condiciones.

Cuando se explica el concepto de color a los estudiantes de diferentes niveles educativos, desde la etapa de primaria hasta la etapa universitaria, se encuentra que algunos tienen ciertas dificultades para entender los conceptos básicos implicados en la visión del color [3-5]. Estas dificultades de comprensión son más evidentes cuando se les introduce el concepto de metamerismo. Para poder explicarlo de forma ideal deberíamos utilizar una cabina de iluminación de calidad [6,7] junto con pares de colores metámeros definidos con precisión procedentes de fuentes estandarizadas, como los libros de color de Munsell [8], de forma que los alumnos pudieran ver el fenómeno directamente. Sin embargo, tanto las cabinas de iluminación como los atlas de color son bastante costosos, lo que significa que no suelen estar disponibles en la mayoría de las aulas, ya que sólo unos pocos laboratorios especializados en color pueden permitírselos.

Para intentar compensar esto, en este trabajo se han llevado a cabo simulaciones espectrales hiperrealistas para la enseñanza del color [9]. Específicamente, hemos simulado una cabina de iluminación y varios pares metámeros, ampliando nuestra investigación previa en color y simulaciones hiperrealistas [10-13]. El objetivo principal de las simulaciones desarrolladas es proporcionar a nuestros alumnos una herramienta didáctica que pueda implementarse fácilmente en plataformas de enseñanza a distancia, de forma complementaria a las prácticas de laboratorio.

Las simulaciones diseñadas resultan de utilidad desde un punto de vista didáctico para los docentes en formación, tanto del nivel de primaria como del nivel de secundaria. Este colectivo debe aprender a enseñar los conceptos relacionados con luz y color que se imparten en los diferentes niveles educativos [14], por lo que deben tener un conocimiento didáctico elevado de esos contenidos. Por ello, los sujetos para los que se han desarrollado las simulaciones didácticas en este trabajo han sido los futuros maestros de primaria y los futuros profesores de enseñanza secundaria de las ramas científicas.

Concretamente, impartimos docencia en cada curso académico a unos 180 futuros maestros en el Grado de Educación Primaria, que llegan al último curso de su formación con bajos conocimientos en las áreas de ciencias, debido a que provienen en su mayoría de bachilleratos de ciencias sociales o humanidades. Tal y como afirman algunos autores [15], un elevado porcentaje de estos alumnos, maestros en formación, presentan bajos conocimientos científicos e incluso actitudes negativas hacia estas áreas. Asimismo, otros autores [16] añaden que, independientemente del país, los docentes de primaria no están adecuadamente entrenados para enseñar contenidos científicos, y presentan dificultades en la comprensión de conceptos de Óptica [17-19].

Por otro lado, impartimos docencia a estudiantes en el Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria en las diferentes especialidades, tales como Física y Química o Tecnología, unos 30 alumnos en cada especialidad. Estos alumnos proceden de diversas disciplinas científicas, ingenierías o arquitectura y presentan diferentes niveles de competencia científica, así como algunas preconcepciones respecto al tema de color, a pesar de haber recibido una instrucción formal de esos contenidos [3,20,21].

Por todo ello, se hace necesario facilitar a todos nuestros alumnos, docentes en formación, herramientas didácticas [10-13] que les permitan aprender a enseñar los bloques de contenidos de luz y color a su futuro alumnado. Específicamente, el objetivo principal de este trabajo ha sido desarrollar simulaciones didácticas espectrales para facilitar el proceso de enseñanza y aprendizaje de los conceptos de metamerismo y pares metámeros a docentes en formación de diferentes niveles educativos.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Un nuevo uso para un software clásico: Imágenes espectrales con POV-Ray

En este trabajo se ha utilizado el software POV-Ray [22], un trazador de rayos (*raytracer*) que permite que los objetos sean representados internamente usando funciones matemáticas usando un lenguaje de descripción de escenas (SDL). Los *scripts* de POV-Ray son archivos ASCII de pequeño tamaño y bastante

intuitivos, cuya sintaxis ha permanecido prácticamente inalterada durante años. También se dispone de una extensa documentación de usuario, una amplia gama de soporte de terceros y un número significativo de escenas, modelos y tutoriales que se pueden encontrar en línea. Además, el programa es gratuito, de código abierto, y está disponible para casi todas las plataformas informáticas.

Una de las limitaciones originales del POV-Ray para la simulación realista de color es que internamente funciona usando el sistema RGB, por lo que la simulación espectral necesaria para representar los fenómenos de metamerismo no es, en principio, posible. Existen trazadores de rayos espectrales comerciales de alta calidad, pero su alto costo impide su uso con fines didácticos. Para solucionar esto, se ha implementado una solución específica [23] que permite a POV-Ray generar imágenes espectrales. La idea básica es generar una serie de imágenes en escala de grises, cada una de las cuales corresponde a una longitud de onda dada, y combinarlas utilizando las funciones de correspondencia de color CIE 1931 para el observador estándar. La Fig.1 muestra un resumen de este procedimiento.

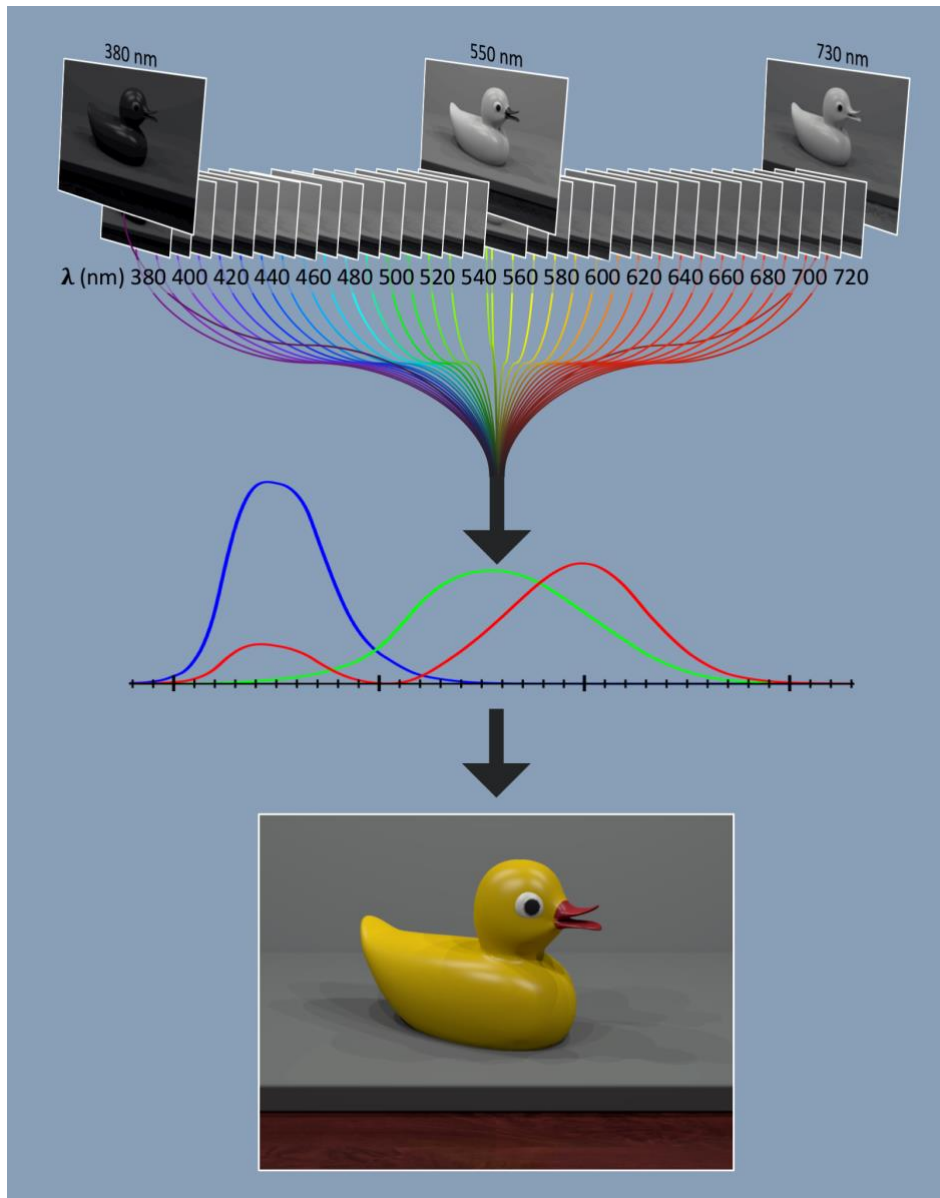


Fig.1. Proceso de simulación espectral en POV-Ray.

## 2.2. Objetos simulados

Dado que se pretendía que la simulación resultara lo más realista posible, se diseñó un escenario apropiado para la comparación de muestras metámeras. Para ello se reprodujo una de las cabinas de iluminación con las que contamos en nuestro laboratorio (LED Color Viewing Light de JUST Normlicht), con la ventaja

adicional de que nuestra cabina simulada permite emular cualquier tipo de luz (Fig.2). De este modo podemos contar en una sola cabina con fuentes incandescentes, halógenas, fluorescentes, LED... y todo tipo de iluminantes.

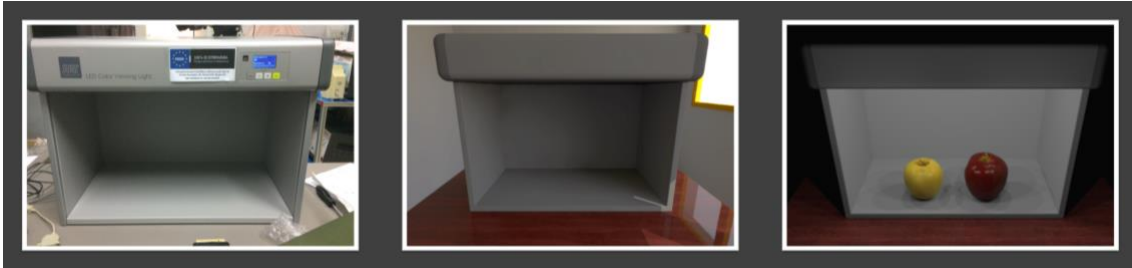


Fig.2. Cabina de iluminación real (izquierda) y simulada (centro). A la derecha podemos ver la cabina simulada con dos manzanas bajo un iluminante D65.

Por otro lado, el color de los objetos en la escena se define a partir de datos espectrales. La Fig.3 muestra, a modo de ejemplo, las distribuciones espectrales de los colores utilizados en una determinada imagen. Para la simulación de los pares metámeros utilizamos distribuciones espectrales que experimentalmente mostraban metamerismo bajo determinados iluminantes.

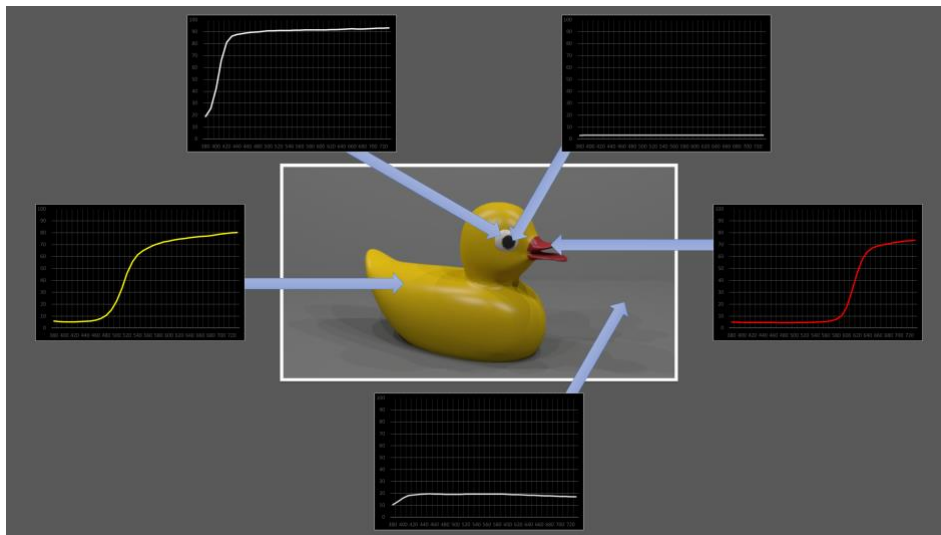


Fig.3. Simulación de un pato de goma bajo un iluminante D65, mostrando las distribuciones espectrales utilizadas para dar color a la escena.

En principio, los usuarios necesitan conocimientos básicos de programación del SDL propio de POV-Ray, pues el programa no utiliza una interfaz gráfica, sino un editor donde se teclea directamente el código que describe la escena. En el presente estudio, sin embargo, se ha optado por proporcionar a los alumnos imágenes ya generadas o archivos de configuración *ad hoc* para que renderizaran escenas previamente preparadas por los profesores, dado que, por norma general, los futuros maestros no están acostumbrados a trabajar en entornos de programación. Este tipo de simulaciones se ha probado con varios grupos de alumnos, y estudios previos con pre-test y post-test han servido para comprobar como ha cambiado la concepción del color en los usuarios [10,11,13].

### 3. Resultados y discusión

El metamerismo es mucho más evidente cuando las muestras de color están en contacto, por lo que nuestras primeras simulaciones consistieron en una pelota de playa con dos partes diferenciadas adyacentes de colores distintos, como se muestra en la Fig.4.

A continuación, aplicamos dos muestras metámeras en cada una de las partes de la pelota, y simulamos distintos iluminantes para comprobar si se podían observar diferencias apreciables. Hay que notar, no obstante, que realmente el objetivo principal que perseguimos con los maestros en formación no es

reproducir la apariencia de los objetos, sino determinar cuáles se verían del mismo o distinto color (sea este color el que sea, en realidad).

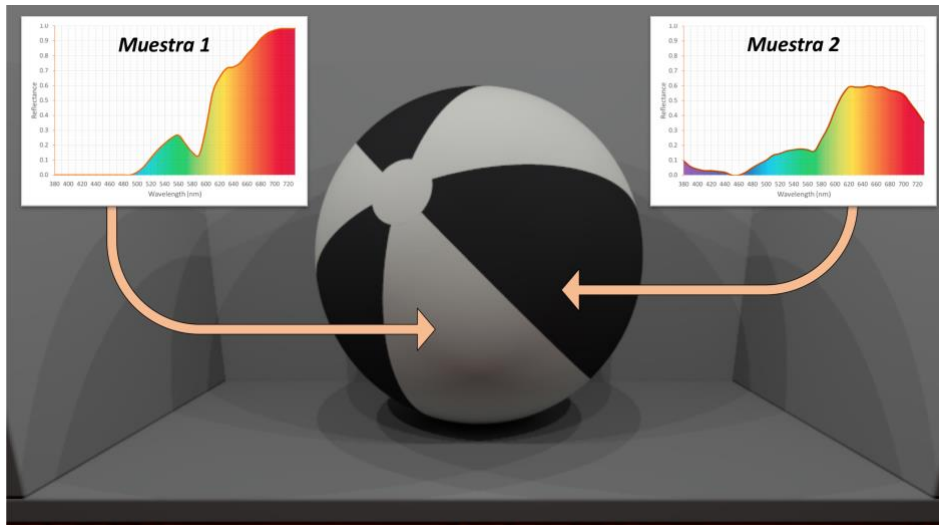


Fig.4. Pelota de playa con dos colores diferenciados (se han usado el blanco y el negro para resaltar el patrón). Las dos muestras que aparecen en la figura corresponden a dos naranjas metámeros que se aplicarán posteriormente.

La Fig. 5 muestra la simulación de una pelota de playa bajo diferentes iluminantes. Un iluminante D65 (arriba izquierda), un tubo fluorescente blanco frío (arriba derecha), una lámpara de sodio de alta presión (abajo izquierda) y un cuerpo negro a 1500 K (abajo derecha).

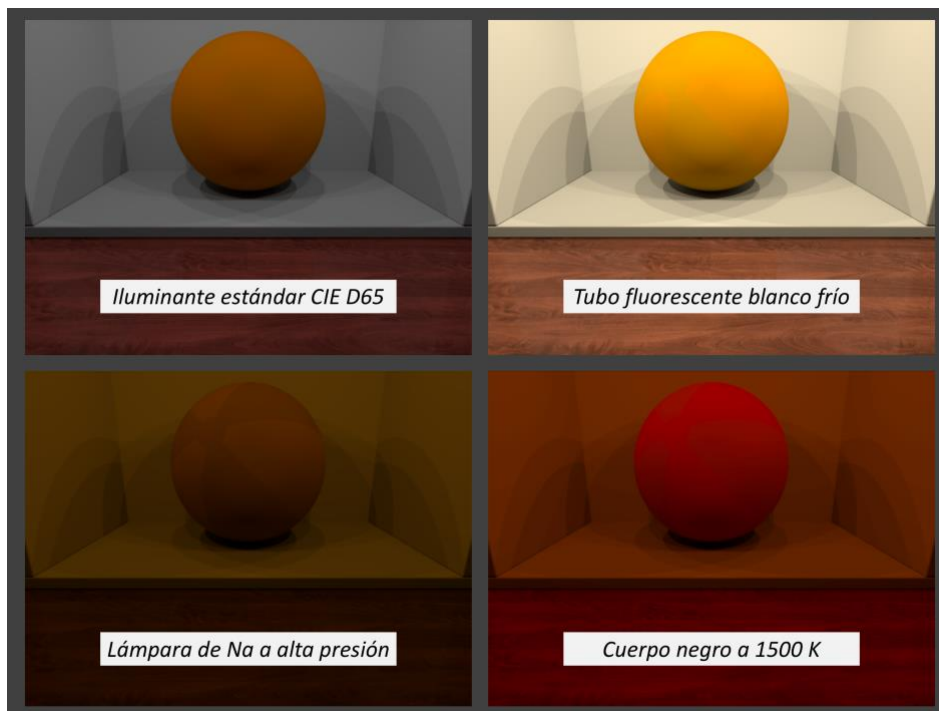


Fig.5. Simulación de una pelota de playa bajo un iluminante D65 (arriba izquierda), bajo un tubo fluorescente blanco frío (arriba derecha), bajo una lámpara de sodio de alta presión (abajo izquierda) y bajo un cuerpo negro a 1500 K (abajo derecha). Cabe destacar que en todo momento la pelota es la misma.

Como se muestra en la Fig.5, la pelota se ve con un tono uniforme naranja cuando está iluminada por un iluminante estándar D65, y se pueden apreciar dos colores ligeramente diferentes cuando se ilumina con un tubo fluorescente blanco frío. La diferencia entre los colores se observa más claramente si la pelota se ilumina con una lámpara de sodio (la Muestra 1 se ve más oscura) o con una fuente de luz de 1500 K (la Muestra 2 se ve más oscura).

El efecto del metamerismo es menos evidente si utilizamos dos muestras separadas. En la Fig.6 pueden observarse dos patos de goma, cada uno de ellos con una distribución espectral distinta. Los patos parecen exhibir el mismo tono de amarillo cuando se iluminan con la luz fluorescente, pero existen diferencias bajo otros iluminantes que son más o menos notorias en función de la distribución espectral de los diferentes iluminantes utilizados. Para evidenciar estas diferencias, el pico y el ojo del pato de la derecha tienen la misma distribución espectral que el pato de la izquierda.

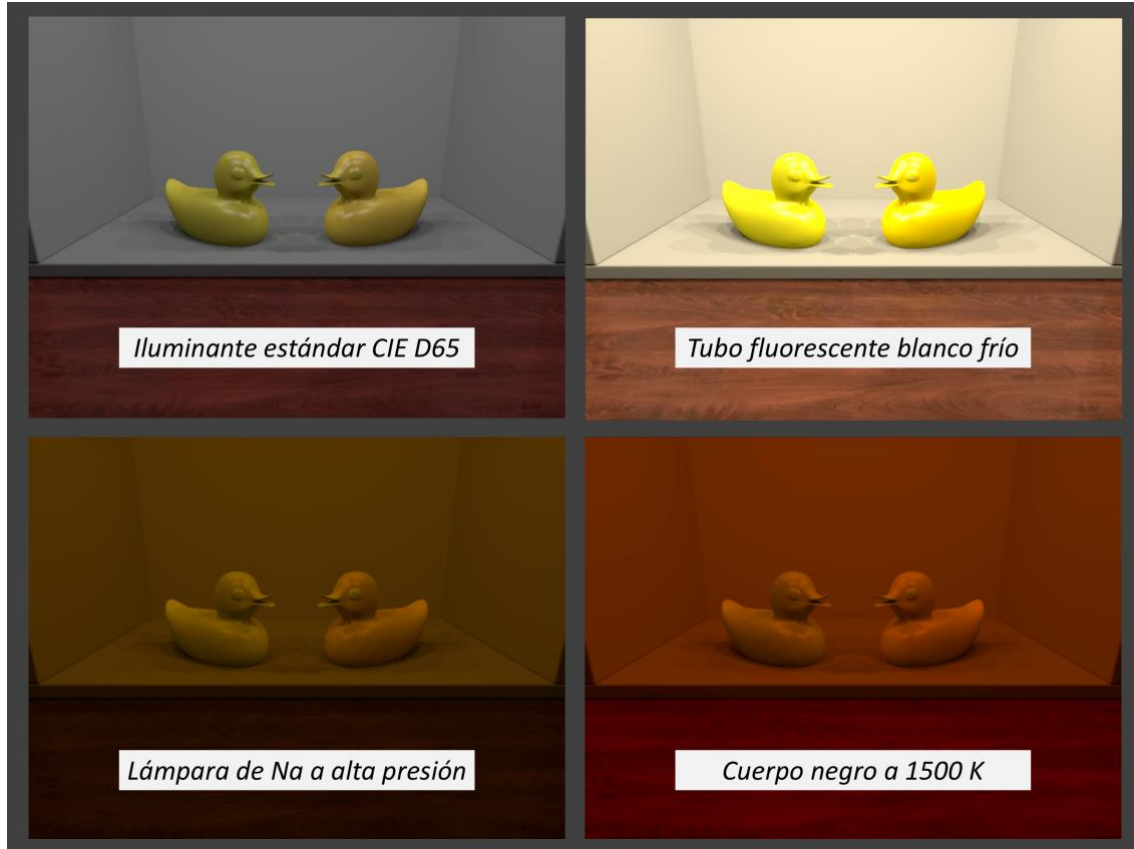


Fig.6. Simulación de dos patos de goma con dos distribuciones espectrales distintas, bajo un iluminante D65 (arriba izquierda), bajo un tubo fluorescente blanco frío (arriba derecha), bajo una lámpara de sodio de alta presión (abajo izquierda) y bajo un cuerpo negro a 1500 K (abajo derecha).

En otras ocasiones, sin embargo, el efecto es mucho más evidente. La Fig.7 muestra los mismos patos bajo dos iluminantes bien diferenciados. La escena de la izquierda está iluminada con una luz con un máximo en 580 nm, mientras que en la de derecha la luz tiene dos máximos, centrados en 530 nm y 635 nm. Podemos apreciar como los colores percibidos del pato de la derecha y del pato de la izquierda parecen intercambiar su posición en función del iluminante utilizado.

Esta simulación es una de las que utilizamos para combatir la preconcepción que tienen nuestros alumnos de que el color es una propiedad de los objetos. Específicamente la presentan un 45 % de nuestros alumnos, docentes de primaria en formación, y un 30% de los docentes de secundaria en formación [21,24]. En primer lugar, se muestra la imagen de la izquierda al alumnado y se les formula la siguiente pregunta: “¿Dónde está el pato marrón, a la derecha o a la izquierda?”. La gran mayoría de los alumnos responden que a la derecha. Sin embargo, a continuación, se les muestra la imagen de la derecha y se les formula la misma pregunta: “¿Dónde está el pato marrón, a la derecha o a la izquierda?”. En este caso, la gran mayoría contesta que el pato marrón se encuentra a la izquierda. Una vez que han respondido les hacemos notar que los patos de ambas imágenes están en la misma posición, lo único que ha cambiado entre las dos escenas utilizadas ha sido el iluminante. Se combate por tanto la preconcepción que presentaban, mostrándoles que el color no es una propiedad de los objetos. Se les incide además en que la percepción del color depende también de otras variables (objeto + luz + observador) [1].

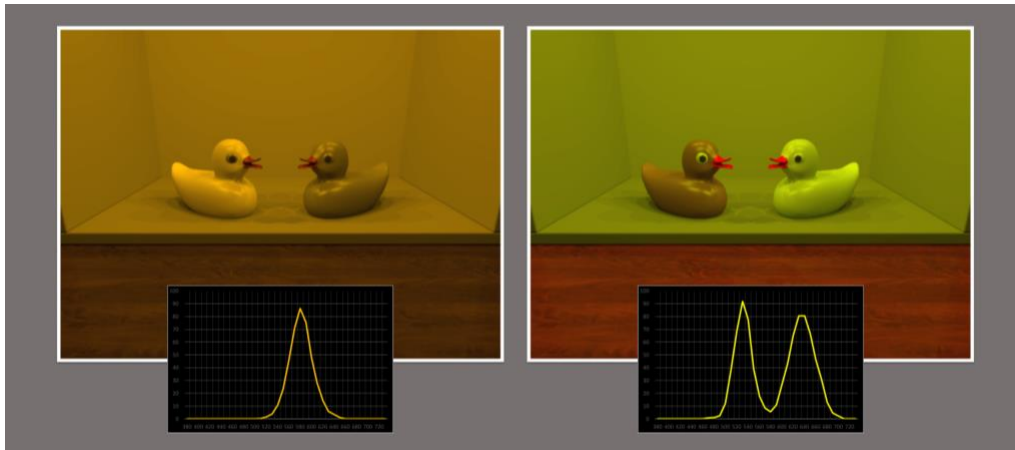


Fig.7. Simulación de dos patos de goma con dos distribuciones espectrales distintas, bajo un iluminante con un máximo en 580 nm (izquierda) y un iluminante con dos máximos centrados en 530 nm y 635 nm (derecha).

Finalmente, la Fig.8 muestra dos patos cuya distribución espectral de la superficie está caracterizada por dos picos espectrales bien definidos. El cuerpo del pato de la izquierda tiene un pico espectral en 450 nm y otro en 530 nm. Sin embargo, la distribución espectral de la superficie del cuerpo del pato de la derecha presenta un pico espectral en 530 nm y otro en 630 nm. Bajo un iluminante D65 el pato de la izquierda se percibe morado, y el de la derecha se percibe verde. No obstante, si iluminamos la escena con una luz que presente un solo pico espectral centrado en los 630 nm, ambos patos serán indistinguibles para el observador.

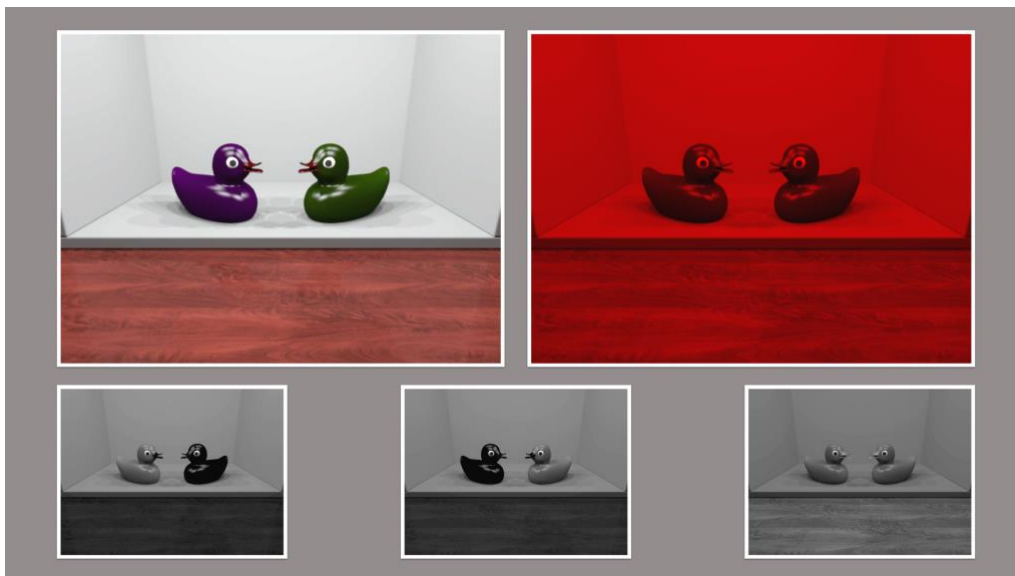


Fig.8. Fila superior: simulación de dos patos con dos distribuciones espectrales distintas, bajo un iluminante D65 (izquierda) y un iluminante con un máximo centrado en 630 (derecha). Fila inferior: capturas en escala de grises de los objetos a 450 nm (izquierda), 530 nm (centro) y 630 nm (derecha).

En base a los resultados obtenidos, podemos afirmar que las simulaciones didácticas desarrolladas son consistentes con lo esperado en la realidad. Esto las convierte en una buena herramienta didáctica para profundizar en la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos de metamerismo y pares metámeros para diferentes colectivos, como por ejemplo para docentes en formación de diferentes niveles educativos, tal y como nos proponíamos en el objetivo general de este trabajo. Este tipo herramientas didácticas permiten combatir las preconcepciones que presenta el alumnado de los diferentes niveles, habiéndose validado su utilización en otros trabajos [11,25]. Continuando en la línea de otros estudios, las simulaciones desarrolladas, denominadas hiperrealistas [10-13], presentan unos fines didácticos de utilidad para la enseñanza de la óptica. Como se ha mencionado en la introducción del presente trabajo, los resultados de algunos estudios [17-19] mostraron que los profesores en formación tienen serias dificultades para



articular explicaciones coherentes sobre conceptos básicos de luz y color. Esta limitación debe ser tenida en cuenta en la didáctica de la ciencia en la formación inicial de los profesores, ya que de otro modo se pondría en peligro la enseñanza de las ciencias desde los primeros niveles escolares. Por este motivo es necesario desarrollar y poner a punto nuevas herramientas didácticas, como las simulaciones hiperrealistas, para promover una mejora en la enseñanza de la óptica a lo largo de toda la etapa educativa.

#### 4. Conclusiones

Se han llevado a cabo varias simulaciones didácticas de pares metámeros, utilizando un software gratuito y abierto, con el objetivo de ilustrar de forma realista el fenómeno del metamerismo a estudiantes de varios niveles educativos. Al utilizar como novedad una representación espectral con POV-Ray, ha sido posible simular cualitativamente la colorimetría de los objetos. De este modo, ha sido posible utilizar un programa gratuito de código abierto para fines didácticos, evitando el alto costo que presentan los trazadores de rayos espectrales comerciales. La naturaleza de las simulaciones que se han desarrollado permite a los alumnos interactuar con pares metámeros de una forma integral, dado que pueden definir libremente las distribuciones espectrales tanto de objetos como de iluminantes, algo difícil de conseguir en el mundo real debido a las limitaciones económicas y de espacio que presentan los laboratorios básicos disponibles en los centros escolares. Junto con el fenómeno del metamerismo, el estudiante aprende transversalmente otros conceptos físicos relacionados como, por ejemplo, radiación electromagnética, naturaleza de la luz, distribuciones espectrales, visión humana del color o programación entre otros.

Las simulaciones didácticas espectrales desarrolladas proporcionan una herramienta didáctica adicional destinada a complementar las prácticas de laboratorio tradicionales, con el propósito de mejorar el aprendizaje de los conceptos implicados, tal y como se muestra en otros estudios [11]. Por otro lado, las simulaciones promueven un aprendizaje individualizado de los alumnos participantes ya que pueden ser utilizadas en plataformas de enseñanza e-learning. Esto resulta especialmente relevante cuando no se dispone de todos los materiales necesarios para implementar las diferentes prácticas de manera real en el laboratorio de óptica.

Consideramos, por tanto, que las simulaciones hiperrealistas diseñadas promueven la adquisición de competencias científico-tecnológicas en el profesorado en formación, combatiendo las preconcepciones encontradas en los mismos y facilitando, mediante la interactividad de los diferentes parámetros de la simulación, la comprensión de los conceptos implicados. Por ello, consideramos relevante desde un punto de vista educativo implementar este tipo de materiales con los profesores en formación, para que puedan aumentar sus niveles de autoeficacia docente, mejorar su conocimiento didáctico del contenido seleccionado y promover así su futuro desarrollo profesional como docentes.

#### Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Junta de Extremadura y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) por su apoyo económico a través de los proyectos IB16004 e IB16068 y la ayuda GR18131.