

LA PERCEPCIÓN DEL COLOR: UNA APROXIMACIÓN INTERDISCIPLINAR
DESDE LA FÍSICA Y LA FISIOLOGÍA PARA FORTALECER SU ENSEÑANZA EN LA
EDUCACIÓN

MARLON JAIME SALAZAR GARZÓN.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL.

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA.

LICENCIATURA EN FÍSICA.

BOGOTÁ D.C.

2026

LA PERCEPCIÓN DEL COLOR: UNA APROXIMACIÓN INTERDISCIPLINAR
DESDE LA FÍSICA Y LA FISIOLOGÍA PARA FORTALECER SU ENSEÑANZA EN LA
EDUCACIÓN

MARLON JAIME SALAZAR GARZÓN.

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA

ASESOR

JUAN CARLOS CASTILLO AYALA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL.

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA.

LICENCIATURA EN FÍSICA.

BOGOTÁ D.C.

2026

Dedico este trabajo, principalmente, a mi mamá y a mis dos hermanas. Este logro es por y para ustedes, porque han sido mi mayor motivación para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Su amor, apoyo incondicional, paciencia y confianza hicieron posible que hoy pudiera alcanzar esta meta.

Gracias por creer en mí, por acompañarme durante este largo camino y por esperar con esperanza y cariño la culminación de esta etapa. Cada esfuerzo realizado para obtener este título tiene como propósito retribuir, en alguna medida, todo lo que han hecho por mí.

Este logro también les pertenece.

¡No importa cuán difícil o imposible sea, no le pierdas la vista a tu objetivo!

Monkey D. Luffy

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a todos los profesores que hicieron parte de mi formación académica y que, con sus conocimientos, orientación y compromiso, contribuyeron significativamente a mi crecimiento personal y profesional. Cada enseñanza recibida dejó una huella importante en el desarrollo de este trabajo y en mi formación como futuro docente.

Agradezco también a todas las personas que estuvieron presentes durante este proceso, brindándome palabras de ánimo, apoyo y confianza. Independientemente de que conocieran o no las dificultades que surgieron a lo largo del camino, su compañía, sus gestos de aliento y su respaldo fueron fundamentales para mantener la motivación y la perseverancia necesarias para llegar hasta este momento.

Finalmente, gracias a todas y cada una de las personas que, de una u otra forma, hicieron parte de este recorrido. Este logro no habría sido el mismo sin el aporte, la comprensión y el apoyo de quienes estuvieron presentes durante esta etapa tan significativa de mi vida.

Tabla de contenido

Resumen	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Capítulo 1. Planteamiento del problema y justificación.....	6
1.1. Descripción del problema.....	6
1.2. Pregunta de investigación.....	8
1.3. Justificación.....	8
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. Objetivo general	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
Capítulo 2. Metodología	10
2.1. Construcción metodológica del estudio.....	11
2.2. Unidad de análisis y selección de fuentes	12
2.3. Criterios de selección de las fuentes.....	13
2.4. Fases del proceso investigativo	14
Capítulo 3. Fundamentos interdisciplinarios del color	16
3.1. Aportes desde la óptica y la física	17
3.2. Aportes desde la fisiología y la neurociencia visual.....	22
3.3. Enfoques interdisciplinarios del color	24
3.4. Problemáticas en la enseñanza del color	27
Capítulo 4. Marco teórico: comprensión del color	28
4.1. Conceptualización del color	29
4.2. El color desde la física.....	30
4.3. El color desde la fisiología	32
4.4. Relación entre estímulo físico y percepción.....	33
4.5. El color como fenómeno interdisciplinar	34
Capítulo 5. Análisis interdisciplinar de la percepción y creación del color	35
5.1. Relación entre fenómenos físicos y perceptivos.....	36
5.2. Comparación de modelos físicos y modelos fisiológicos.....	38
5.3. Convergencias entre física y fisiología.....	40
5.4. Tensiones y complementariedades disciplinares	42
5.5. Implicaciones conceptuales para la enseñanza de las ciencias.....	44

Capítulo 6. Propuesta didáctica de carácter teórico para la enseñanza del color	46
6.1. Fundamentación de la propuesta	47
6.2. Enfoque pedagógico	48
6.3. Objetivos de aprendizaje	49
6.4. Propuesta	49
6.5. Actividades sugeridas	55
6.6. Alcances y limitaciones	56
Conclusiones.....	57
Anexo A. Corpus documental.....	59
Anexo B. Propuesta didáctica teórica para la enseñanza interdisciplinar del color en la educación media	63
Bibliografía.....	83

Resumen

El color constituye un fenómeno cuya comprensión requiere integrar diferentes campos del conocimiento, ya que no puede explicarse únicamente a partir de las propiedades físicas de la luz ni exclusivamente desde los procesos perceptivos del sistema visual. En este contexto, el presente trabajo de grado analiza la percepción y creación del color desde un enfoque interdisciplinar que articula los aportes de la física y la fisiología, con el propósito de aportar elementos conceptuales que fortalezcan su enseñanza en la educación media.

La investigación se desarrolló mediante un enfoque cualitativo de carácter documental, apoyado en la revisión, selección y análisis de literatura científica relacionada con la naturaleza de la luz, la interacción de esta con los objetos y los mecanismos fisiológicos responsables de la percepción visual. A partir de este proceso fue posible identificar que, tradicionalmente, el color ha sido explicado desde perspectivas disciplinares independientes, situación que también se refleja en su enseñanza y favorece comprensiones parciales del fenómeno.

El análisis realizado permitió establecer que el color no corresponde únicamente a una propiedad física de la radiación luminosa ni a una experiencia exclusivamente subjetiva, sino que emerge de la interacción entre la luz, los objetos y el sistema visual humano. Esta comprensión interdisciplinar ofrece una explicación más amplia del fenómeno y evidencia la necesidad de superar enfoques fragmentados en la educación científica.

Como resultado del estudio, se diseñó una secuencia didáctica de carácter teórico orientada a la enseñanza del color en la educación media. La propuesta organiza el aprendizaje en fases

de exploración, construcción conceptual, integración y aplicación, con el propósito de favorecer una comprensión articulada del fenómeno y promover relaciones entre los conocimientos físicos y fisiológicos involucrados.

Palabras clave: color, interdisciplinariedad, física, fisiología, enseñanza de las ciencias.

Abstract

Color is a phenomenon whose understanding requires the integration of different fields of knowledge, as it cannot be fully explained solely through the physical properties of light or exclusively through the perceptual processes of the human visual system. In this context, this undergraduate thesis analyzes the perception and creation of color from an interdisciplinary perspective that brings together contributions from physics and physiology, with the aim of providing conceptual foundations to strengthen its teaching in secondary education.

The study was conducted using a qualitative documentary approach based on the review, selection, and analysis of academic literature related to the nature of light, its interaction with objects, and the physiological mechanisms involved in visual perception. The analysis showed that color has traditionally been studied from separate disciplinary perspectives, a situation that is also reflected in science education and often leads to fragmented understandings of the phenomenon.

The findings indicate that color should not be understood solely as a physical property of light or as an entirely subjective experience. Instead, it emerges from the interaction among light, objects, and the human visual system. This interdisciplinary perspective provides a broader understanding of color and highlights the importance of overcoming fragmented approaches in science education.

As a result of this research, a theoretical didactic sequence was designed to support the teaching of color in secondary education. The proposal is organized into stages of exploration, conceptual development, integration, and application, with the purpose of fostering a more comprehensive understanding of the phenomenon and promoting connections between the physical and physiological concepts involved.

Keywords: color, interdisciplinarity, physics, physiology, science education.

Introducción

Declaración sobre el uso de herramientas de inteligencia artificial

En la elaboración del presente trabajo se utilizó *ChatGPT (OpenAI)* como herramienta de apoyo durante el proceso de escritura académica. Su uso estuvo orientado a la revisión de aspectos formales del documento, tales como la corrección de ortografía, gramática, puntuación y estilo, así como a la reorganización y reformulación de algunos fragmentos con el propósito de mejorar la claridad, la coherencia y la cohesión del texto. Las instrucciones proporcionadas a la herramienta estuvieron enfocadas en la revisión lingüística, la sugerencia de mejoras en la redacción académica y el fortalecimiento de la organización de las ideas, sin solicitar la generación del contenido científico o de los resultados de la investigación. Las respuestas obtenidas fueron analizadas, contrastadas y adaptadas por el autor antes de su incorporación al documento, realizando las modificaciones necesarias para garantizar su pertinencia y coherencia con los objetivos, el marco conceptual y el desarrollo de la investigación. En ningún caso la herramienta sustituyó el análisis, la interpretación de las fuentes, la construcción de los argumentos, las decisiones metodológicas ni las conclusiones presentadas, las cuales corresponden exclusivamente al autor.

El color ha despertado el interés de distintas disciplinas científicas debido a la complejidad de los procesos que intervienen en su formación y percepción. Comprender este fenómeno implica considerar tanto las propiedades físicas de la luz y su interacción con los objetos como los mecanismos biológicos mediante los cuales el sistema visual humano detecta, procesa e interpreta la información luminosa. Desde esta perspectiva, el color no puede explicarse únicamente a partir de la radiación electromagnética ni entenderse exclusivamente como una experiencia perceptiva; por el contrario, surge de la relación entre la fuente luminosa, los objetos y el observador. Esta diversidad de niveles explicativos ha motivado investigaciones en campos como la física, la fisiología, la neurociencia y la educación científica (Pérez Carpinell, 2012; De la Villa, 2005).

A pesar de los avances alcanzados en cada una de estas áreas, las explicaciones sobre el color suelen desarrollarse de manera independiente. Esta separación también se refleja en los escenarios educativos, donde con frecuencia los contenidos relacionados con el color se presentan desde perspectivas disciplinares aisladas. Como consecuencia, los estudiantes encuentran dificultades para establecer relaciones entre los procesos físicos asociados a la luz y los mecanismos fisiológicos responsables de la percepción visual, situación que favorece la construcción de explicaciones parciales del fenómeno.

Frente a este panorama, resulta pertinente promover una perspectiva que permita integrar los conocimientos producidos desde diferentes disciplinas. Más que reunir conceptos provenientes de la física y la fisiología, un enfoque interdisciplinar busca establecer relaciones entre ellos para construir una explicación más amplia y coherente del color. A partir de esta necesidad surge la pregunta que orienta la presente investigación: *¿de qué manera el análisis interdisciplinar del color, desde la física y la fisiología, puede contribuir*

a la construcción de un marco conceptual que fortalezca su enseñanza en la educación media?

La relevancia de este estudio puede analizarse desde dos dimensiones complementarias. En primer lugar, aporta al campo académico al examinar cómo convergen las explicaciones físicas y fisiológicas del color, identificando sus alcances, limitaciones y posibilidades de articulación. En segundo lugar, ofrece elementos conceptuales que pueden servir de fundamento para el diseño de propuestas de enseñanza orientadas a favorecer una comprensión más integrada del fenómeno en la educación media, superando visiones reduccionistas que aún persisten en muchos contextos escolares.

Para responder a la pregunta de investigación se adoptó un enfoque cualitativo de carácter documental, con un alcance descriptivo y analítico. La investigación no pretende reconstruir de manera cronológica la evolución histórica del estudio del color; en cambio, organiza y examina la literatura especializada a partir de categorías relacionadas con la naturaleza física de la luz, los procesos fisiológicos de la percepción visual y los vínculos que pueden establecerse entre ambos campos. Este proceso permitió construir un marco conceptual desde el cual es posible comprender el color como un fenómeno explicado por distintos niveles de análisis que se complementan entre sí.

La organización del documento responde al desarrollo progresivo de la investigación. El primer capítulo presenta el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos que orientan el estudio. Posteriormente, el segundo capítulo reúne los antecedentes relacionados con el fenómeno del color y su enseñanza. El tercer capítulo desarrolla el marco teórico que sustenta la investigación, mientras que el cuarto propone un análisis interdisciplinar que articula los aportes de la física y la fisiología. En el quinto capítulo se presenta una secuencia

didáctica de carácter teórico para la enseñanza del color en la educación media y, finalmente, el sexto describe la metodología empleada durante el desarrollo del trabajo.

En conjunto, esta investigación busca aportar a la enseñanza de las ciencias mediante una comprensión más amplia del color, reconociéndolo como un fenómeno que emerge de la interacción entre procesos físicos y biológicos. Desde esta perspectiva, se espera contribuir a la construcción de marcos conceptuales que favorezcan explicaciones científicas más integradas y, al mismo tiempo, ofrezcan fundamentos para enriquecer las prácticas de enseñanza de este contenido en la educación media.

Capítulo 1. Planteamiento del problema y justificación

1.1. Descripción del problema

El color constituye un fenómeno ampliamente estudiado debido a su presencia en la vida cotidiana y a su importancia para diferentes áreas del conocimiento. Su comprensión involucra procesos de naturaleza diversa que han sido abordados principalmente desde la física y la fisiología. Mientras la primera explica el color a partir de las propiedades de la luz y de las interacciones que esta establece con los objetos, la segunda centra su atención en los mecanismos biológicos mediante los cuales el sistema visual humano capta, procesa e interpreta la información luminosa.

Aunque ambas perspectivas aportan explicaciones fundamentales, con frecuencia se desarrollan de manera independiente. Esta situación también se evidencia en los procesos de enseñanza de las ciencias, especialmente en la educación media, donde los contenidos relacionados con el color suelen distribuirse entre diferentes disciplinas sin establecer conexiones explícitas entre ellas. De este modo, temas como la naturaleza de la luz, el

espectro electromagnético y los fenómenos ópticos se estudian por separado de los procesos fisiológicos asociados al funcionamiento del ojo y a la percepción visual.

Como resultado de esta separación, los estudiantes encuentran dificultades para construir una comprensión articulada del fenómeno. Es común que el color sea interpretado como una propiedad inherente de los objetos o que se explique únicamente desde una perspectiva física o exclusivamente biológica. Estas interpretaciones reflejan una comprensión parcial que limita el establecimiento de relaciones entre los diferentes procesos involucrados en la experiencia cromática.

Pozo y Gómez Crespo (2009) señalan que la enseñanza de conceptos científicos desde enfoques disciplinares aislados favorece la persistencia de concepciones alternativas y dificulta la construcción de modelos explicativos más amplios y coherentes. En el caso del color, esta situación conduce a explicaciones simplificadas que no logran integrar las propiedades físicas de la luz con los mecanismos fisiológicos responsables de la percepción visual.

Estas consideraciones ponen de manifiesto la necesidad de estudiar el color desde una perspectiva interdisciplinar que establezca relaciones entre los aportes de la física y la fisiología. Una aproximación de este tipo permite superar la fragmentación con la que habitualmente se presenta este contenido en el ámbito escolar y favorece la construcción de explicaciones más completas, coherentes y acordes con la complejidad del fenómeno.

1.2. Pregunta de investigación

¿Cómo la integración interdisciplinar del fenómeno del color, a partir de los aportes de la física y la fisiología, permite la construcción de un marco conceptual que contribuya a superar la fragmentación en su enseñanza y a orientar propuestas en la educación media?

1.3. Justificación

Abordar el estudio del color desde un enfoque interdisciplinar resulta pertinente tanto para la investigación académica como para la enseñanza de las ciencias. Desde el punto de vista conceptual, esta perspectiva permite superar interpretaciones reduccionistas que explican el fenómeno exclusivamente desde la física o la fisiología, reconociendo que el color emerge de la interacción entre procesos físicos, biológicos y perceptivos.

La integración de estas perspectivas ofrece, además, aportes relevantes para el ámbito educativo. Comprender el color como un fenómeno que involucra diferentes niveles de explicación proporciona fundamentos para el diseño de estrategias didácticas que favorezcan la articulación de conocimientos provenientes de distintas disciplinas. De esta manera, los estudiantes pueden construir explicaciones más amplias y coherentes sobre un fenómeno presente tanto en la vida cotidiana como en diversos campos de la ciencia.

Otro aspecto que justifica esta investigación es su contribución al desarrollo del pensamiento científico. Analizar el color desde una perspectiva interdisciplinar permite reconocer que un mismo fenómeno puede ser interpretado mediante modelos explicativos diferentes, cada uno con alcances y propósitos particulares. Este ejercicio favorece la comprensión de la ciencia como una actividad en la que distintas disciplinas aportan conocimientos complementarios para explicar la realidad, en lugar de ofrecer respuestas aisladas o excluyentes.

En consecuencia, la presente investigación busca aportar a la enseñanza de las ciencias en la educación media mediante la construcción de un análisis interdisciplinar del color que articule los aportes de la física y la fisiología. Asimismo, propone una secuencia didáctica de carácter teórico fundamentada en dicha articulación conceptual, con el propósito de contribuir al fortalecimiento de la comprensión y la enseñanza de este fenómeno en el contexto escolar.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar el fenómeno del color desde una perspectiva interdisciplinar que articule los aportes de la física y la fisiología, con el propósito de construir una comprensión integrada del fenómeno y aportar elementos conceptuales para su enseñanza en la educación media.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar el fenómeno del color desde la física, considerando la naturaleza de la luz, el espectro electromagnético y los procesos de interacción entre la radiación luminosa y los objetos.
- Explicar la percepción del color desde la fisiología, analizando la estructura del sistema visual humano y los procesos involucrados en el procesamiento de los estímulos luminosos.
- Analizar las relaciones, complementariedades y diferencias entre las explicaciones físicas y fisiológicas del color, con el fin de construir una comprensión interdisciplinar del fenómeno.

- Diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza del color en la educación media, fundamentada en el análisis interdisciplinar de los aportes de la física y la fisiología.

Capítulo 2. Metodología

El desarrollo de esta investigación requirió definir un conjunto de decisiones metodológicas que orientaran el análisis del fenómeno del color desde una perspectiva interdisciplinar. En este capítulo se describe el enfoque adoptado, el procedimiento seguido para la organización, clasificación e interpretación de la información recopilada y los criterios utilizados para seleccionar las fuentes documentales. A partir de este proceso fue posible construir un marco conceptual que integró los aportes de la física y la fisiología, el cual sirvió de fundamento para la propuesta teórica presentada en el capítulo 6.

La investigación se desarrolló mediante un análisis documental de carácter conceptual, orientado a identificar, comparar y relacionar las explicaciones físicas y fisiológicas del color. Este procedimiento permitió establecer categorías de interpretación con las cuales fue posible reconocer convergencias, diferencias y aportes específicos de cada disciplina, favoreciendo una comprensión más amplia del fenómeno desde un enfoque interdisciplinar.

En los apartados que siguen se presentan la unidad de análisis, los criterios empleados para la selección de las fuentes y las fases que estructuraron el proceso investigativo. En conjunto, estos elementos metodológicos sustentan el análisis desarrollado a lo largo del trabajo y proporcionan las bases conceptuales sobre las que se construye la propuesta teórica para la enseñanza del color.

2.1. Construcción metodológica del estudio

La presente investigación se centra en el análisis interdisciplinar del fenómeno del color mediante la revisión, organización e interpretación de aportes provenientes de la física, la fisiología y la educación en ciencias. Más que describir de forma independiente las perspectivas de cada disciplina, el estudio busca establecer relaciones entre ellas, identificando sus puntos de convergencia, sus diferencias y los aportes particulares que ofrecen para comprender el fenómeno del color.

En coherencia con este propósito, la investigación se desarrolló a través de un análisis documental de carácter conceptual. Las fuentes seleccionadas fueron examinadas, comparadas y organizadas de acuerdo con las contribuciones que realizan a la comprensión del color desde distintos niveles de explicación. Esta forma de abordaje permitió ir más allá de la recopilación de información y avanzar hacia una interpretación interdisciplinar sustentada en el diálogo entre las disciplinas involucradas.

La construcción metodológica también se apoyó en la revisión crítica de la literatura especializada, con el fin de identificar conceptos centrales, establecer relaciones entre los diferentes enfoques y reconocer los elementos que favorecen una comprensión integrada del fenómeno. Además de reunir información relevante, el proceso implicó su clasificación e interpretación en función de la pregunta de investigación, permitiendo analizar de qué manera las distintas disciplinas explican el color y cuáles son las posibilidades de articulación de estos conocimientos para fortalecer su enseñanza en las ciencias.

2.2. Unidad de análisis y selección de fuentes

La organización metodológica de esta investigación se estructuró mediante una serie de fases orientadas a la búsqueda, selección, análisis e integración de la información. Esta secuencia permitió desarrollar el estudio de manera sistemática y establecer una relación coherente entre el problema de investigación, el análisis interdisciplinar del color y la propuesta teórica derivada del trabajo.

El estudio se concibe como un análisis documental de carácter conceptual e interdisciplinar, en el que el conocimiento se construye a partir de la revisión crítica y la articulación de diferentes enfoques sobre el color. Esta forma de aproximación resulta pertinente para la investigación, ya que favorece la integración de aportes provenientes de distintas disciplinas y posibilita una interpretación más amplia del fenómeno.

La unidad de análisis está conformada por documentos académicos y científicos relacionados con la percepción y creación del color, abordados desde la física, la fisiología y la enseñanza del color en las ciencias.

Con el fin de garantizar la pertinencia y la consistencia del corpus documental, se definieron cinco criterios para la selección de las fuentes. El primero fue el criterio temporal, mediante el cual se priorizaron publicaciones comprendidas entre 2010 y 2025, sin excluir aquellas obras clásicas cuya relevancia conceptual justificara su incorporación al estudio. El segundo correspondió a la relevancia conceptual, considerando documentos que desarrollaran de manera significativa aspectos relacionados con la física del color, la fisiología de la visión y la enseñanza de este fenómeno. En tercer lugar, se valoró el aporte al estudio del color, privilegiando investigaciones que ofrecieran elementos para comprender las relaciones entre

los distintos niveles de explicación. También se consideró la calidad académica de las fuentes, seleccionando artículos científicos, libros especializados, tesis de posgrado y documentos disponibles en repositorios universitarios reconocidos. Finalmente, se incluyeron únicamente aquellos trabajos que guardaban una relación directa con el problema de investigación y contribuían al análisis interdisciplinar del color y al cumplimiento de los objetivos planteados. Peña Vera y Pirela Morillo (2007) respaldan la importancia de definir criterios claros para la conformación de un corpus documental consistente.

La conformación del corpus documental se llevó a cabo mediante búsquedas sistemáticas en repositorios institucionales, bases de datos especializadas como SciELO, Redalyc y Google Scholar, además de otras fuentes de acceso abierto y recursos educativos libres. Una vez identificados los documentos potencialmente relevantes, estos fueron evaluados de acuerdo con los criterios establecidos, conformando el conjunto de fuentes que sustentó el análisis interdisciplinar desarrollado en esta investigación.

2.3. Criterios de selección de las fuentes

El conjunto de fuentes utilizado en esta investigación estuvo integrado por diferentes tipos de documentos académicos, entre ellos tesis, artículos científicos, libros, capítulos de libro, informes de investigación y recursos educativos de acceso abierto. La diversidad del material consultado hizo posible abordar el estudio del color desde distintas perspectivas disciplinares, proporcionando una base amplia para el análisis interdisciplinar desarrollado a lo largo de la investigación.

La incorporación de cada documento no respondió a una cantidad previamente establecida para cada tipo de fuente, sino al cumplimiento de los criterios de selección definidos en el

apartado anterior. Bajo este criterio, se priorizaron aquellos trabajos que guardaban una relación directa con el problema de investigación y que aportaban elementos conceptuales sobre la naturaleza física del color, los procesos fisiológicos de la percepción visual, las relaciones entre ambos enfoques y sus implicaciones para la enseñanza de las ciencias.

La relación completa de los documentos que conforman el corpus documental puede consultarse en el *Anexo A*, donde se presenta la información correspondiente a las fuentes seleccionadas para el desarrollo de esta investigación.

2.4. Fases del proceso investigativo

La investigación se estructuró en las siguientes fases:

- **Fase 1: Búsqueda y recopilación de información**

Se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos académicas y repositorios abiertos utilizando palabras clave como: *percepción del color, luz y visión, teoría del color, enseñanza del color, etc.*

- **Fase 2: Clasificación y organización**

Los documentos fueron organizados según: tipo de fuente, disciplina, relevancia.

- **Fase 3: Análisis e interpretación**

Una vez conformado el corpus documental mediante los criterios de selección establecidos previamente, se desarrolló un análisis cualitativo de las fuentes con el propósito de identificar conceptos relevantes, establecer relaciones entre las perspectivas disciplinares y reconocer los principales aportes de cada una para la comprensión del fenómeno del color.

A diferencia de los criterios de selección, que permitieron determinar la pertinencia de los documentos incluidos en el estudio, las categorías del análisis constituyeron herramientas para orientar la lectura, interpretación y comparación de la información contenida en dichas fuentes (Cáceres, 2003). En este sentido, se definieron las siguientes categorías de análisis:

- La naturaleza física del color.
- Los procesos fisiológicos de la percepción visual.
- La relación entre el estímulo luminoso y la percepción del color.
- Las implicaciones para la enseñanza del color desde una perspectiva interdisciplinar.

Estas categorías hicieron posible examinar cada documento de manera sistemática, identificar coincidencias y diferencias entre los enfoques analizados y establecer relaciones conceptuales que posteriormente sirvieron de base para la integración interdisciplinar desarrollada en la investigación.

- **Fase 4: Integración conceptual**

La fase de integración conceptual constituyó el eje articulador de la investigación, ya que permitió relacionar los hallazgos obtenidos durante el análisis documental para construir una comprensión interdisciplinar del fenómeno del color. Esta integración no consistió únicamente en reunir conceptos provenientes de diferentes disciplinas, sino en establecer relaciones entre los modelos explicativos de la física y la fisiología, identificando sus puntos de encuentro, sus diferencias y los aportes específicos que cada uno ofrece para comprender el fenómeno.

A partir de este proceso fue posible reconocer que las explicaciones físicas describen las propiedades de la luz y su interacción con los objetos, mientras que las explicaciones fisiológicas se centran en los mecanismos mediante los cuales el sistema visual humano capta e interpreta dicha información. La articulación de ambas perspectivas permitió construir un marco de comprensión más amplio que supera las explicaciones fragmentadas y fundamenta la propuesta presentada en esta investigación.

Capítulo 3. Fundamentos interdisciplinarios del color

El estudio del color ha evolucionado gracias a los aportes de distintas disciplinas científicas, las cuales han contribuido a explicar aspectos específicos de este fenómeno. Desde la física, el interés se ha centrado en las propiedades de la luz y en la forma en que interactúa con los objetos materiales. Por su parte, la fisiología ha orientado sus investigaciones hacia los mecanismos biológicos responsables de la captación, el procesamiento y la interpretación de los estímulos luminosos por parte del sistema visual humano.

Consideradas de manera independiente, estas aproximaciones ofrecen explicaciones valiosas, pero parciales. Cada disciplina responde a preguntas diferentes y desarrolla modelos propios para interpretar el color desde su ámbito de estudio. La física busca comprender el comportamiento de la luz y su interacción con la materia, mientras que la fisiología explica cómo esa información es procesada por el sistema visual para dar lugar a la experiencia perceptiva del color.

Con el propósito de establecer un diálogo entre estas perspectivas, este capítulo reúne los principales fundamentos teóricos que sustentan la comprensión científica del color. En primer lugar, se presentan los aportes provenientes de la óptica y la física; posteriormente, se abordan

los desarrollos de la fisiología y la neurociencia visual. Finalmente, se analizan las propuestas de carácter interdisciplinar y las implicaciones que estas tienen para la enseñanza del color en el contexto de la educación científica.

3.1. Aportes desde la óptica y la física

El estudio del color desde la física ha estado estrechamente relacionado con la comprensión de la naturaleza de la luz. Uno de los avances más significativos en este campo fue realizado por Isaac Newton durante el siglo XVII, cuando demostró experimentalmente que la luz blanca está compuesta por un conjunto de colores que pueden separarse mediante un prisma. Este hallazgo permitió establecer que los colores no se originan en los objetos, sino que dependen de la composición espectral de la luz. Como señala Pérez Carpinell (2012), este descubrimiento marcó un cambio fundamental en la manera de explicar el fenómeno cromático.

Los experimentos de Newton también permitieron identificar que cada color del espectro visible posee una refrangibilidad específica, entendida como la capacidad de la luz para desviarse al atravesar un medio transparente, como un prisma. Este comportamiento se debe a que la velocidad de propagación de la luz cambia al pasar de un medio a otro con diferente índice de refracción. Debido a que cada longitud de onda experimenta una variación distinta, los colores se desvían en ángulos diferentes, dando lugar al fenómeno conocido como dispersión de la luz (Tipler & Mosca, 2011).

El conjunto ordenado de estos colores recibe el nombre de espectro visible y comprende la región del espectro electromagnético que puede ser percibida por el ojo humano, aproximadamente desde el violeta hasta el rojo. A partir de estas observaciones, Newton concluyó que los colores no son modificaciones producidas por los medios, como sostenían

teorías anteriores, sino propiedades inherentes a la propia luz. Esta interpretación representó una ruptura con las explicaciones que atribuían el origen del color a la interacción entre la luz y la oscuridad.

Otro aporte relevante de Newton fue demostrar que la recombinación de los colores del espectro permite reconstruir la luz blanca. Este resultado reforzó la idea de que el color constituye una manifestación de la composición de la luz y no una cualidad propia de los objetos. En conjunto, estos descubrimientos sentaron las bases de la óptica moderna y favorecieron el desarrollo de modelos físicos que posteriormente ampliarían el estudio científico del color (Hewitt, 2010; Tipler & Mosca, 2011).

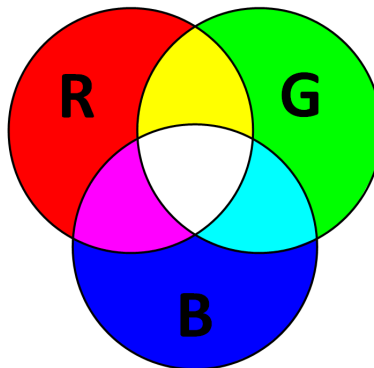
Décadas más tarde, Thomas Young amplió esta línea de investigación al proponer que la percepción cromática podía explicarse mediante la combinación de tres colores fundamentales: rojo, verde y azul. Esta propuesta dio origen a la teoría tricromática, según la cual todos los colores visibles pueden obtenerse a partir de diferentes proporciones de estos tres componentes básicos. En este contexto surge el concepto de mezcla aditiva del color, entendido como la combinación de luces de distintos colores para producir nuevas sensaciones cromáticas. Así, la superposición de luz roja y verde genera amarillo, mientras que la combinación simultánea de los tres colores primarios produce luz blanca.

A diferencia de la mezcla de pigmentos, la mezcla aditiva se produce mediante la superposición de haces de luz emitidos por diferentes fuentes luminosas. Cuando dos o más estímulos luminosos coinciden sobre un mismo punto, sus intensidades se combinan, de modo que la energía luminosa correspondiente a cada componente espectral llega simultáneamente al sistema visual. Como resultado, los fotorreceptores de la retina responden a esta combinación de estímulos y el cerebro interpreta nuevas sensaciones

cromáticas. Por esta razón, la mezcla aditiva se fundamenta en la superposición de energía luminosa y no en procesos de absorción, como ocurre en la mezcla sustractiva de pigmentos. Además de ampliar la explicación física del color, la teoría tricromática sentó las bases para el desarrollo de múltiples tecnologías actuales, entre ellas las pantallas digitales, cuyo funcionamiento depende del modelo RGB (rojo, verde y azul). Este modelo aditivo representa los colores mediante la combinación de tres componentes luminosos primarios: rojo (Red), verde (Green) y azul (Blue). Al variar la intensidad de cada uno de estos componentes es posible generar una amplia gama de colores; cuando los tres se combinan con igual intensidad producen luz blanca, mientras que la ausencia de emisión luminosa corresponde al negro. Como consecuencia, este planteamiento permitió interpretar la diversidad cromática a partir de la combinación de estímulos luminosos y fortaleció la relación entre la física de la luz y los procesos de percepción visual (Pérez Carpinell, 2012).

Figura 1

Modelo aditivo RGB mediante combinación de luces roja, verde y azul.

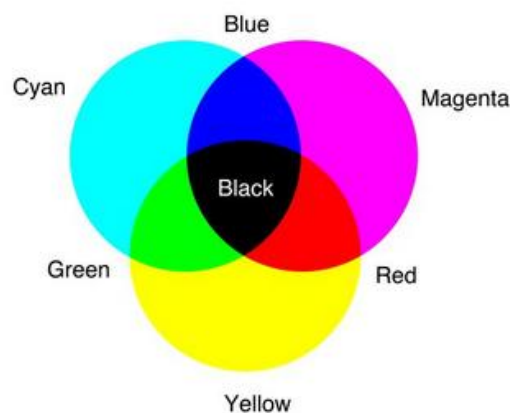


Nota. Adaptado de *RGB Additive Model*, por AdmiralHood, 2010, Wikimedia Commons (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RGB_Additive_Model.gif)

A partir de estos desarrollos surgieron diversos modelos físicos del color. Entre los más representativos se encuentran el modelo aditivo RGB, empleado en dispositivos emisores de luz, en el cual los colores se generan mediante la combinación de diferentes intensidades de luz roja, verde y azul; el modelo sustractivo CMY/CMYK, utilizado en sistemas de impresión, donde los pigmentos producen los colores mediante la absorción selectiva de determinadas longitudes de onda y la reflexión de las restantes; y el espacio cromático CIE 1931, desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), que permitió establecer una representación cuantitativa del color basada en mediciones estandarizadas de la percepción visual. Este modelo se construyó a partir de experimentos psicofísicos en los que observadores ajustaban diferentes proporciones de luces primarias hasta igualar un color de referencia. Los resultados permitieron obtener funciones de igualación cromática y representar cada color mediante coordenadas numéricas dentro de un espacio cromático, facilitando su medición, comparación y reproducción de manera objetiva en distintos dispositivos y sistemas de iluminación. Estos modelos constituyen herramientas esenciales para describir, medir y reproducir el color en diferentes contextos científicos y tecnológicos.

Figura 2

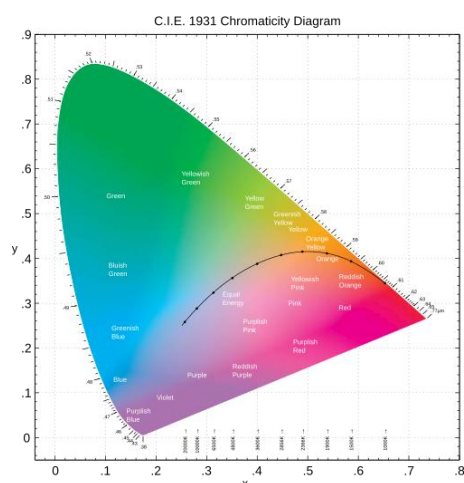
Modelo sustractivo del color basado en las mezclas CMY.



Nota. Adaptado de *Subtractive color model*, por SciolyKS, 2025, Wikimedia Commons (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Subtractive_color_model.png).

Figura 3

Diagrama cromático CIE-1931 en el espacio LAB.



Nota. Adaptado de *CIE-1931 diagram in LAB space*, por Fuzzypeg, 2013, Wikimedia Commons (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIE-1931_diagram_in_LAB_space.svg).

A pesar de su importancia para la óptica, la colorimetría, la fotometría y las tecnologías de la imagen, estos modelos centran su atención en la caracterización física del estímulo luminoso. En particular, describen el color a partir de propiedades medibles de la luz, como la longitud de onda, la distribución espectral, la intensidad luminosa y la forma en que la radiación interactúa con los materiales mediante procesos de reflexión, absorción y transmisión. De esta manera, permiten explicar cómo se genera, representa, cuantifica y reproduce el color en distintos contextos científicos y tecnológicos. Sin embargo, estos modelos describen únicamente las características físicas del estímulo luminoso y no explican por sí solos los procesos fisiológicos y neuronales mediante los cuales el sistema visual detecta, procesa e interpreta dicha información para dar lugar a la experiencia perceptiva del color. Esta

limitación pone de manifiesto la necesidad de integrar los aportes de otras disciplinas para comprender el color como un fenómeno de naturaleza interdisciplinar (Pérez Carpinell, 2012).

3.2. Aportes desde la fisiología y la neurociencia visual

El estudio del color desde la fisiología surgió como respuesta a las limitaciones de los modelos exclusivamente físicos para explicar la experiencia perceptiva. Si bien la física describe la naturaleza de la luz, su propagación y las interacciones que establece con los objetos, estas explicaciones no bastan para comprender cómo el sistema visual humano transforma los estímulos luminosos en experiencias conscientes de color. Por ello, la fisiología centra su atención en el funcionamiento del sistema visual, analizando el papel de la retina, las vías nerviosas y el cerebro en la percepción cromática (Goldstein, 2014).

Uno de los avances más importantes en este campo fue la formulación de la teoría tricromática de la visión, propuesta inicialmente por Thomas Young a comienzos del siglo XIX y desarrollada posteriormente por Hermann von Helmholtz. Como explica De la Villa (2005), este último aportó una interpretación fisiológica fundamentada en el funcionamiento de los fotorreceptores presentes en la retina.

Helmholtz amplió la teoría tricromática al relacionarla directamente con los mecanismos biológicos de la visión. Según su planteamiento, la retina posee tres tipos de conos, cada uno con una mayor sensibilidad a diferentes regiones del espectro visible, correspondientes aproximadamente a longitudes de onda largas, medias y cortas. Estos fotorreceptores no detectan colores de manera aislada; por el contrario, responden con diferentes niveles de activación según las características de la luz incidente, generando señales que posteriormente son procesadas por el sistema nervioso.

La percepción del color resulta de la combinación de las respuestas emitidas por estos tres tipos de conos, lo que permite al cerebro interpretar una amplia variedad de tonalidades a partir de un número limitado de receptores. Este modelo estableció un vínculo entre las propiedades físicas de la luz, particularmente la longitud de onda, la composición espectral y la intensidad del estímulo luminoso, y los mecanismos fisiológicos responsables de su detección por parte de los fotorreceptores de la retina, otorgando a la teoría tricromática una explicación basada en el funcionamiento del sistema visual (Goldstein, 2014; De la Villa, 2005).

Como complemento a esta propuesta, Ewald Hering formuló la teoría de los procesos oponentes. Desde esta perspectiva, la percepción cromática se organiza mediante tres pares de colores opuestos: rojo-verde, azul-amarillo y blanco-negro. La imposibilidad de percibir simultáneamente ciertos colores en un mismo punto del campo visual sugiere la existencia de mecanismos neuronales especializados en el procesamiento de la información cromática mediante relaciones de contraste.

Estos mecanismos actúan en etapas posteriores a la respuesta de los conos, específicamente en las vías neuronales que conducen la información visual hacia el cerebro. Mientras la teoría tricromática describe la detección inicial de la luz en la retina, la propuesta de Hering explica la organización e interpretación de esas señales por parte del sistema nervioso. En conjunto, ambas teorías ofrecen una explicación más completa de la percepción del color al integrar procesos fisiológicos y neuronales (Goldstein, 2014).

Las investigaciones contemporáneas muestran que la teoría tricromática y la teoría de los procesos oponentes no constituyen modelos excluyentes. En la actualidad se reconoce que ambas describen etapas diferentes del procesamiento visual: la primera explica la captación

inicial de la información luminosa por los conos de la retina, mientras que la segunda interpreta el procesamiento neuronal posterior de esas señales. En consecuencia, los modelos actuales de la visión consideran que ambas propuestas son complementarias (Goldstein, 2014).

Los avances de la neurociencia visual ampliaron posteriormente estas explicaciones al estudiar el procesamiento cerebral de la información cromática. Las investigaciones en este campo han evidenciado que la percepción del color no corresponde a un proceso pasivo, sino a una construcción activa del sistema visual, influida por factores como el contexto, las condiciones de iluminación y la experiencia previa del observador (Goldstein, 2014).

Este enfoque ha permitido comprender fenómenos como la constancia del color y las ilusiones cromáticas, los cuales no pueden explicarse únicamente a partir de las propiedades físicas de la luz, sino que requieren considerar los mecanismos perceptivos implicados en la interpretación de la información visual (Bravo, Pesa & Pozo, 2010).

3.3. Enfoques interdisciplinarios del color

Durante las últimas décadas se han consolidado enfoques que buscan integrar las diferentes perspectivas desde las cuales ha sido estudiado el color. Estas aproximaciones parten del reconocimiento de que este no puede explicarse de manera suficiente desde una única disciplina, sino que requiere la articulación de distintos niveles de análisis para ofrecer una interpretación más completa (Goldstein, 2014).

Desde esta mirada, el color se concibe como el resultado de la interacción entre tres elementos fundamentales: la luz como estímulo físico, los objetos como mediadores de la interacción luminosa y el sistema visual como instancia encargada de interpretar esa información (De la

Villa, 2005). La luz aporta la energía y las propiedades físicas del estímulo; los objetos modifican dichas características mediante procesos como la absorción y la reflexión, mientras que el sistema visual transforma esa información en una experiencia perceptiva. En consecuencia, el color no reside exclusivamente en la luz ni en los objetos, sino que emerge de la interacción entre las condiciones físicas y los mecanismos biológicos implicados en la percepción.

Además de integrar los aportes de la física y la fisiología, estos enfoques incorporan contribuciones provenientes de la psicología de la percepción y de la neurociencia, al reconocer la participación del cerebro en la interpretación de los estímulos visuales. Esta integración favorece la construcción de modelos explicativos más completos, en los cuales el color depende tanto de las características del entorno como de las condiciones propias del observador.

A pesar de estos avances, en numerosos contextos educativos el color continúa enseñándose de manera fragmentada, abordando por separado los contenidos correspondientes a la física y a la biología. Esta organización dificulta que los estudiantes establezcan relaciones entre los distintos niveles de explicación y favorece la permanencia de interpretaciones parciales o poco consistentes sobre el fenómeno cromático. Como señalan Bravo, Pesa y Pozo (2010), esta situación evidencia una brecha entre el desarrollo del conocimiento científico y su enseñanza, poniendo de manifiesto la necesidad de promover propuestas pedagógicas que favorezcan la integración de saberes.

Conviene señalar que la interdisciplinariedad no consiste únicamente en reunir aportes provenientes de distintas disciplinas, sino en construir relaciones significativas entre ellas. En el caso del color, esto implica comprender cómo las propiedades físicas de la luz, entre

ellas la longitud de onda, la composición espectral y la intensidad luminosa, determinan la estimulación diferencial de los tres tipos de conos presentes en la retina. Cada tipo de fotorreceptor presenta una mayor sensibilidad a determinados rangos de longitudes de onda, de manera que la respuesta conjunta de estos receptores genera señales nerviosas que son procesadas por la retina, transmitidas a través de las vías visuales e interpretadas por distintas áreas del cerebro para dar lugar a la experiencia perceptiva del color. Esta articulación evidencia que la percepción cromática no depende exclusivamente del estímulo físico ni únicamente del funcionamiento biológico del sistema visual, sino de la interacción continua entre ambos niveles de explicación.

Bajo esta perspectiva, el color puede entenderse como un fenómeno emergente que resulta de la interacción entre diferentes niveles de explicación, ninguno de los cuales es suficiente por sí solo. Esta concepción permite superar interpretaciones reduccionistas que lo consideran exclusivamente una propiedad física o una construcción subjetiva, favoreciendo una visión más amplia e integrada.

Las implicaciones de este enfoque trascienden el ámbito teórico y adquieren especial relevancia en la enseñanza de las ciencias. La articulación de saberes provenientes de distintas disciplinas ofrece bases para diseñar estrategias didácticas que favorezcan el establecimiento de relaciones entre conceptos que tradicionalmente se presentan de manera independiente. De este modo, la interdisciplinariedad constituye no solo un marco conceptual para comprender el color, sino también un referente para fortalecer su enseñanza y aprendizaje en la educación científica.

3.4. Problemáticas en la enseñanza del color

En el ámbito educativo, diferentes investigaciones han señalado que la enseñanza del color presenta dificultades relacionadas con la fragmentación conceptual y la persistencia de concepciones alternativas en los estudiantes. Como indican Bravo, Pesa y Pozo (2010), estas dificultades no solo reflejan obstáculos para comprender el fenómeno, sino también limitaciones en la manera en que este suele abordarse dentro de los contextos escolares.

Con frecuencia, los estudiantes interpretan el color como una propiedad inherente de los objetos, sin reconocer el papel que desempeña la luz en su percepción. Asimismo, presentan dificultades para explicar cómo el sistema visual participa en la construcción de la experiencia cromática. Un ejemplo habitual consiste en asumir que un objeto posee un color fijo, independientemente de las condiciones de iluminación, lo que evidencia una interpretación parcial del fenómeno. Estas concepciones suelen verse reforzadas por propuestas de enseñanza que presentan el color desde una única perspectiva disciplinar y establecen pocas relaciones entre los procesos físicos de la luz y los mecanismos fisiológicos de la visión (Pozo & Gómez Crespo, 1998).

Frente a esta situación, diversos autores han planteado la necesidad de desarrollar propuestas didácticas que integren los aportes de diferentes disciplinas, favoreciendo la construcción de explicaciones más completas sobre el color. De acuerdo con Pozo y Gómez Crespo (1998), este tipo de enfoque no solo fortalece la comprensión conceptual, sino que también contribuye al desarrollo del pensamiento científico al promover la articulación de distintos modelos explicativos y superar visiones fragmentadas del conocimiento.

En consecuencia, la enseñanza del color constituye un campo en el que resulta pertinente diseñar estrategias pedagógicas que relacionen los diferentes niveles de explicación

involucrados en este fenómeno. Esta necesidad representa uno de los principales fundamentos de la propuesta teórica desarrollada en la presente investigación.

Los elementos analizados a lo largo de este capítulo permiten reconocer que el color es un fenómeno complejo cuya comprensión requiere la integración de diferentes perspectivas científicas. Los aportes de la física, la fisiología y la neurociencia visual ofrecen explicaciones complementarias que, al articularse, proporcionan una interpretación más amplia y coherente.

En conjunto, los fundamentos desarrollados constituyen el soporte conceptual para el análisis interdisciplinar presentado en el capítulo siguiente. Asimismo, evidencian la importancia de superar enfoques fragmentados mediante estrategias pedagógicas que favorezcan la integración de distintos niveles de explicación, aspecto que orienta la propuesta teórica para la enseñanza del color desarrollada en el capítulo 6.

Capítulo 4. Marco teórico: comprensión del color

La revisión de los fundamentos desarrollados en el capítulo anterior pone de manifiesto que el color constituye un fenómeno cuya explicación requiere la articulación de diferentes perspectivas científicas. En lugar de limitarse a describir los aportes de cada disciplina, este capítulo profundiza en el análisis de las relaciones que se establecen entre los enfoques físico y fisiológico, con el propósito de identificar sus convergencias, diferencias y posibilidades de integración.

Este ejercicio analítico busca mostrar cómo los distintos niveles de explicación se complementan para ofrecer una interpretación más amplia del fenómeno cromático. Desde esta perspectiva, el color se comprende como el resultado de la interacción entre procesos

físicos y fisiológicos que, considerados de manera conjunta, permiten superar las limitaciones de las explicaciones exclusivamente disciplinares.

El marco teórico construido a partir de esta integración constituye el fundamento conceptual del análisis interdisciplinar desarrollado en el capítulo 5 y, posteriormente, orienta la elaboración de la propuesta teórica para la enseñanza del color presentada en el capítulo 6.

4.1. Conceptualización del color

El color constituye un fenómeno complejo que ha sido interpretado desde distintas perspectivas a lo largo del desarrollo del conocimiento científico. De manera general, puede definirse como una experiencia visual que surge de la relación entre la luz, los objetos y el sistema visual humano. Esta concepción pone de manifiesto que el color no corresponde exclusivamente a una propiedad física de los objetos, sino que emerge de un conjunto de procesos en los que intervienen tanto las condiciones materiales del entorno como los mecanismos perceptivos del observador (De la Villa, 2005; Pérez Carpinell, 2012).

Desde esta concepción, la experiencia cromática depende simultáneamente de las características de la radiación luminosa, de las propiedades ópticas de los materiales y de la forma en que el sistema visual interpreta la información recibida (Goldstein, 2014). Entender el color desde esta relación permite superar interpretaciones reduccionistas que lo explican únicamente como una propiedad inherente de los objetos o como una respuesta fisiológica aislada.

Cuando la radiación luminosa incide sobre la superficie de un objeto, se producen fenómenos físicos como la absorción, la reflexión o la transmisión de determinadas longitudes de onda. Estos procesos dependen de la estructura molecular y de las propiedades ópticas de los

materiales. En términos generales, los objetos absorben parte de la luz incidente y reflejan aquellas longitudes de onda que posteriormente alcanzan el sistema visual del observador. En consecuencia, el color percibido no constituye una característica intrínseca del objeto, sino el resultado de la relación entre la radiación luminosa y las propiedades del material que interactúa con ella (Pérez Carpinell, 2012).

No obstante, la interacción entre la luz y los objetos representa únicamente una parte del fenómeno. Para que la experiencia del color tenga lugar es indispensable considerar el papel del observador. La luz reflejada llega al ojo humano, donde es captada por los fotorreceptores de la retina y transformada en señales nerviosas que posteriormente son procesadas por el sistema visual. Durante este procesamiento intervienen mecanismos fisiológicos y neuronales que permiten interpretar las diferencias en la composición espectral de la luz y convertirlas en experiencias perceptivas diferenciadas. Así, el color puede comprenderse como una experiencia visual que resulta de la relación entre el estímulo físico y los procesos biológicos responsables de la percepción (Goldstein, 2014).

En conjunto, estos elementos permiten concebir el color como un fenómeno emergente que integra distintos niveles de explicación —físico, biológico y perceptivo—, los cuales se complementan para ofrecer una interpretación más amplia de su naturaleza. Esta concepción constituye el fundamento conceptual del enfoque interdisciplinar desarrollado en la presente investigación.

4.2. El color desde la física

Desde la física, el color se explica a partir de la naturaleza de la luz y de las relaciones que esta establece con los objetos materiales. En este marco, la luz se entiende como una forma

de radiación electromagnética caracterizada por propiedades como la longitud de onda, la frecuencia y la energía (Pérez Carpinell, 2012).

Del conjunto del espectro electromagnético, el ojo humano solo puede percibir una pequeña fracción conocida como luz visible, comprendida aproximadamente entre los 380 y los 750 nanómetros de longitud de onda. Dentro de este intervalo, las radiaciones de menor longitud de onda suelen asociarse con tonalidades violetas y azules, mientras que las de mayor longitud de onda corresponden a tonalidades rojizas. Entre ambos extremos se encuentran colores como el verde, el amarillo y el naranja. Esta relación entre las propiedades físicas de la radiación luminosa y las sensaciones cromáticas constituye uno de los fundamentos de la explicación física del color (De la Villa, 2005; Pérez Carpinell, 2012).

No obstante, la existencia de luz visible no basta para explicar el color que percibimos en los objetos. También es necesario considerar los procesos que ocurren cuando la radiación luminosa incide sobre los materiales, entre ellos la absorción, la reflexión y la transmisión. La combinación de estos fenómenos determina qué componentes del espectro son finalmente reflejados y llegan al sistema visual del observador (Pérez Carpinell, 2012).

La absorción tiene lugar cuando determinadas longitudes de onda son captadas por los átomos o las moléculas del material, transformando parte de su energía en otras formas, como energía térmica. La reflexión corresponde al proceso mediante el cual una fracción de la radiación incidente es devuelta al entorno tras interactuar con la superficie del objeto. Por su parte, la transmisión ocurre cuando la luz atraviesa el material, como sucede en sustancias transparentes o translúcidas. El comportamiento conjunto de estos procesos determina las características de la luz que finalmente alcanza al observador.

En consecuencia, el color aparente de un objeto depende principalmente de las longitudes de onda que su superficie refleja hacia el sistema visual. Así, un material que absorbe gran parte de las longitudes de onda correspondientes al rojo y refleja aquellas asociadas al azul tenderá a percibirse con tonalidades azuladas. Desde esta perspectiva, el color no constituye una propiedad inherente del objeto, sino el resultado de la relación entre la radiación luminosa y las propiedades ópticas del material (De la Villa, 2005).

La explicación física proporciona herramientas fundamentales para comprender el comportamiento de la luz y las características del estímulo luminoso. Sin embargo, esta perspectiva resulta insuficiente para explicar por sí sola la experiencia perceptiva del color, ya que estímulos físicos diferentes pueden producir sensaciones cromáticas semejantes. Como señala Goldstein (2014), esta limitación hace necesario incorporar los procesos fisiológicos y neuronales involucrados en la percepción visual, aspecto que se desarrolla en el apartado siguiente.

4.3. El color desde la fisiología

Desde la fisiología, el estudio del color se orienta al análisis de los mecanismos biológicos que hacen posible la captación, transformación e interpretación de la información luminosa. La percepción cromática depende del funcionamiento del sistema visual humano, especialmente del ojo y de las estructuras neuronales responsables del procesamiento de la información visual (Goldstein, 2014).

La luz reflejada por los objetos ingresa al ojo y se proyecta sobre la retina, donde se localizan los fotorreceptores encargados de convertir la energía luminosa en señales nerviosas. Como explica De la Villa (2005), este mecanismo, denominado **transducción visual**, constituye la base del proceso perceptivo.

En la retina se distinguen dos tipos principales de fotorreceptores: los bastones y los conos. Los primeros participan principalmente en la visión bajo condiciones de baja iluminación, mientras que los conos son los responsables de la percepción del color. Estos últimos se clasifican en tres tipos, cada uno con mayor sensibilidad a diferentes rangos de longitudes de onda, característica que hace posible la discriminación cromática (Pérez Carpinell, 2012).

Una vez generadas, las señales nerviosas son transmitidas hacia distintas estructuras del sistema nervioso, donde son integradas e interpretadas a partir de la información procedente de los diferentes tipos de conos. Este hecho pone de manifiesto que la percepción del color no constituye una respuesta automática al estímulo físico, sino el resultado de una elaboración activa llevada a cabo por el sistema visual (Goldstein, 2014). Esta relación entre las propiedades de la luz y los mecanismos fisiológicos que intervienen en su interpretación será desarrollada con mayor detalle en el apartado siguiente.

4.4. Relación entre estímulo físico y percepción

Comprender el color implica analizar la relación existente entre las propiedades físicas de la luz y los mecanismos fisiológicos responsables de la percepción visual. Mientras la física describe las características del estímulo luminoso, corresponde al sistema visual interpretar esa información y convertirla en una experiencia perceptiva.

Desde esta perspectiva, la percepción cromática depende de la participación conjunta de tres elementos fundamentales: la fuente de luz, los objetos y el observador. La fuente luminosa determina la composición espectral de la radiación; los objetos modifican esa radiación mediante procesos como la absorción y la reflexión, mientras que el sistema visual procesa e interpreta la información recibida (De la Villa, 2005).

La relación entre estos elementos no es directa ni unívoca. En determinadas circunstancias, estímulos físicos diferentes pueden producir percepciones cromáticas semejantes, fenómeno conocido como metamerismo. Como señala Goldstein (2014), este comportamiento demuestra que el sistema visual no responde únicamente a valores físicos aislados, sino que interpreta configuraciones complejas de información provenientes del entorno.

4.5. El color como fenómeno interdisciplinar

El análisis desarrollado desde la física y la fisiología permite reconocer que el color no puede explicarse de manera suficiente desde una única disciplina. La física aporta los fundamentos necesarios para describir la naturaleza de la luz y las características del estímulo luminoso, mientras que la fisiología explica los mecanismos mediante los cuales el sistema visual transforma e interpreta esa información.

En consecuencia, una perspectiva interdisciplinar concibe el color como un fenómeno emergente que resulta de la articulación entre el estímulo físico y los procesos biológicos involucrados en la percepción. Esta visión integra diferentes niveles de explicación y permite superar la fragmentación disciplinar que tradicionalmente ha caracterizado su estudio (Bravo, Pesa & Pozo, 2010).

Las implicaciones de este enfoque trascienden el plano conceptual y adquieren especial relevancia en el ámbito educativo. La articulación entre los aportes de la física y la fisiología favorece la construcción de explicaciones más completas y coherentes, permitiendo comprender el color no solo como una propiedad de la luz o como una experiencia subjetiva, sino como un fenómeno complejo que emerge de la interacción entre el entorno físico y el observador.

El marco interdisciplinar construido a lo largo de este capítulo constituye el fundamento conceptual para el análisis presentado en el capítulo siguiente. A partir de esta integración será posible examinar las convergencias y complementariedades entre los modelos físicos y fisiológicos del color, así como sus implicaciones para la enseñanza de las ciencias en la educación media.

Capítulo 5. Análisis interdisciplinar de la percepción y creación del color

Los fundamentos teóricos desarrollados en los capítulos anteriores permiten avanzar hacia una etapa de análisis en la que los aportes de la física y la fisiología dejan de considerarse de manera independiente para examinarse de forma articulada. En este capítulo se estudia la percepción y la creación del color desde una perspectiva interdisciplinar, con el propósito de establecer las relaciones existentes entre ambos enfoques y comprender cómo contribuyen, de manera complementaria, a la explicación del fenómeno.

Más que presentar nuevamente los conceptos propios de cada disciplina, el análisis se centra en identificar sus convergencias, diferencias y alcances. Para ello, se examina cómo las propiedades físicas de la luz y los mecanismos fisiológicos de la percepción visual se complementan, permitiendo construir una interpretación más amplia del fenómeno cromático. Esta aproximación pone de manifiesto que comprender el color exige considerar tanto los procesos asociados a la interacción entre la luz y la materia como aquellos relacionados con la interpretación que realiza el sistema visual de los estímulos luminosos.

El presente capítulo integra los resultados obtenidos a lo largo de la investigación para construir un marco de análisis interdisciplinar que articula las contribuciones de la física y la fisiología. A partir de esta síntesis se derivan las implicaciones conceptuales y educativas que

servirán de fundamento para la propuesta teórica de enseñanza desarrollada en el capítulo siguiente.

5.1. Relación entre fenómenos físicos y perceptivos

El análisis interdisciplinar del color requiere reconocer la estrecha relación entre los fenómenos físicos asociados a la propagación de la luz y su interacción con los objetos, y los procesos perceptivos mediante los cuales el sistema visual humano detecta, procesa e interpreta la información luminosa. Desde esta perspectiva, el color no puede entenderse únicamente como una propiedad de la radiación electromagnética ni exclusivamente como una construcción subjetiva del observador; por el contrario, constituye el resultado de la interacción entre ambos niveles de explicación.

La física describe el color a partir de las características de la luz, especialmente de la longitud de onda y de los procesos de reflexión, absorción y transmisión que ocurren cuando la radiación interactúa con los materiales. Estos fenómenos permiten comprender por qué los objetos reflejan determinadas componentes del espectro visible y generan estímulos luminosos diferenciados. Sin embargo, la relación entre la longitud de onda y el color percibido no es completamente directa. Como señalan distintos autores, una misma sensación cromática puede originarse a partir de distribuciones espectrales diferentes, dependiendo de la respuesta conjunta de los fotorreceptores y del procesamiento realizado por el sistema visual.

Por otra parte, la fisiología centra su atención en los mecanismos biológicos responsables de la percepción cromática. El funcionamiento de los fotorreceptores de la retina, junto con el procesamiento de la información en el sistema nervioso central, permite que los estímulos luminosos sean interpretados como experiencias de color. En consecuencia, la percepción

cromática no constituye una reproducción exacta del estímulo físico, sino una construcción elaborada mediante procesos biológicos y neuronales (De la Villa, 2005).

La relación entre ambos niveles de análisis se evidencia en fenómenos como la constancia del color, en los cuales un mismo objeto mantiene una apariencia cromática relativamente estable aun cuando cambian de forma significativa las condiciones de iluminación. Este comportamiento demuestra que el sistema visual no responde únicamente a las propiedades físicas de la luz, sino que desarrolla mecanismos de compensación e interpretación que favorecen la estabilidad perceptiva (Pozo & Gómez Crespo, 2009).

Desde una perspectiva interdisciplinar, la percepción del color puede entenderse como un proceso dinámico en el que intervienen de manera simultánea el estímulo luminoso y los mecanismos biológicos encargados de procesarlo. La presencia de luz constituye una condición indispensable para que exista percepción cromática, ya que proporciona la información física que alcanza el sistema visual; no obstante, dicha condición por sí sola no basta para explicar la experiencia del color. Esa información debe ser transformada e interpretada por la retina, las vías visuales y distintas áreas del cerebro antes de convertirse en una experiencia perceptiva.

Lo anterior permite reconocer que las explicaciones físicas y fisiológicas no compiten entre sí ni representan interpretaciones excluyentes. Cada una aborda un nivel distinto del mismo fenómeno y aporta elementos que resultan necesarios para comprenderlo de manera integral. Mientras la física explica las características del estímulo luminoso y las condiciones bajo las cuales este se produce, la fisiología describe los mecanismos que hacen posible su procesamiento e interpretación por parte del observador (Pérez Carpinell, 2012; Goldstein,

2014). Esta complementariedad constituye uno de los principales fundamentos del enfoque interdisciplinar propuesto en la presente investigación.

5.2. Comparación de modelos físicos y modelos fisiológicos

La comprensión científica del color ha dado lugar a diversos modelos explicativos que responden a los marcos conceptuales propios de cada disciplina. Entre ellos, los modelos físicos y los fisiológicos ofrecen interpretaciones diferentes de un mismo fenómeno, ya que parten de supuestos teóricos y niveles de análisis distintos. Compararlos permite reconocer tanto sus aportes específicos como los alcances y limitaciones de cada uno.

En el ámbito de la física destacan el modelo tricromático aditivo (RGB), que explica la formación del color mediante la combinación de diferentes intensidades de luz roja, verde y azul; el modelo sustractivo (CMY/CMYK), que describe la obtención de colores a partir de la absorción selectiva de determinadas longitudes de onda por los pigmentos; y los sistemas colorimétricos desarrollados por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), que representan el color mediante coordenadas cromáticas obtenidas a partir de mediciones estandarizadas de la percepción visual. Estas propuestas describen el comportamiento de la luz y su interacción con la materia a partir de variables como la longitud de onda, la frecuencia, la intensidad luminosa y la energía de la radiación electromagnética. Gracias a ello es posible establecer relaciones cuantificables y reproducibles, aspecto que ha resultado fundamental para el desarrollo de sistemas de medición, representación y reproducción del color. No obstante, estos modelos no explican por sí mismos cómo las propiedades físicas de la luz se transforman en experiencias perceptivas.

En contraste, los modelos fisiológicos, representados principalmente por la teoría tricromática de Young-Helmholtz y la teoría de los procesos oponentes propuesta por Hering,

centran su atención en los mecanismos biológicos implicados en la percepción visual. Como explica De la Villa (2005), estas propuestas describen el papel desempeñado por los fotorreceptores de la retina, las vías visuales y las áreas cerebrales involucradas en el procesamiento de la información cromática. Desde esta óptica, el color se entiende como una construcción perceptiva derivada del funcionamiento del sistema visual, lo que permite explicar fenómenos como la constancia del color y las ilusiones cromáticas.

Al comparar ambos enfoques se observa que los modelos físicos privilegian el estudio del estímulo luminoso, mientras que los fisiológicos se ocupan de los procesos mediante los cuales dicho estímulo es interpretado por el organismo. Esta diferencia ha dado lugar a diversas discusiones acerca de la naturaleza del color, especialmente en torno a si debe entenderse como una propiedad del mundo físico o como una experiencia dependiente del observador.

Sin embargo, esta aparente oposición resulta insuficiente para explicar la complejidad del fenómeno. Goldstein (2014), Pérez Carpinell (2012) y Pozo y Gómez Crespo (2009) coinciden en señalar que ambos modelos responden a preguntas diferentes sobre un mismo objeto de estudio. En consecuencia, más que perspectivas excluyentes, constituyen aproximaciones complementarias que describen distintas etapas del proceso mediante el cual se configura la experiencia cromática.

Esta comparación permite reconocer que cada modelo aporta un nivel de explicación específico. Mientras la física busca comprender las propiedades del estímulo luminoso y las leyes que regulan su propagación e interacción con la materia, la fisiología se interesa por los mecanismos responsables de captar, procesar e interpretar esa información. Consideradas de

forma conjunta, ambas perspectivas ofrecen una visión más amplia del color y permiten superar interpretaciones reduccionistas.

Por ello, la diferencia entre estos modelos no radica en que uno sea más válido que el otro, sino en el tipo de preguntas que cada uno pretende responder. La articulación entre las explicaciones físicas y fisiológicas constituye, así, uno de los fundamentos del enfoque interdisciplinar propuesto en esta investigación y proporciona una base sólida para comprender el color como un fenómeno complejo que integra procesos físicos, biológicos y perceptivos.

5.3. Convergencias entre física y fisiología

Aunque la física y la fisiología parten de marcos conceptuales y metodológicos diferentes, el análisis del color permite identificar diversos puntos de encuentro entre ambas disciplinas. Estas coincidencias favorecen una comprensión más amplia del fenómeno, al mostrar que la experiencia cromática surge de la articulación entre las propiedades físicas de la luz y los procesos biológicos responsables de su percepción.

Uno de los principales aspectos compartidos radica en reconocer que la percepción del color depende de la relación entre el estímulo luminoso y el observador. Desde la física se acepta que las características espectrales de la luz constituyen la base material indispensable para que exista percepción cromática; por su parte, la fisiología explica que esas características solo adquieren significado cuando son procesadas por el sistema visual. La integración de ambas perspectivas permite superar interpretaciones que reducen el color a una única dimensión explicativa.

Otro punto de coincidencia consiste en entender que el color no constituye una propiedad inherente de los objetos. Estos interactúan con la luz mediante procesos de reflexión, absorción o transmisión de determinadas longitudes de onda; sin embargo, la experiencia cromática solo se configura cuando el sistema visual interpreta la información luminosa recibida. Como señala De la Villa (2005), esta concepción relacional representa uno de los fundamentos más importantes para una comprensión interdisciplinar del color.

Las semejanzas también se evidencian en el uso de modelos científicos como herramientas para representar y explicar el fenómeno. En el campo de la física destacan propuestas como los modelos RGB, CMY/CMYK y los espacios colorimétricos desarrollados por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), orientados a describir cuantitativamente el comportamiento de la luz. En fisiología, la teoría tricromática de Young-Helmholtz y la teoría de los procesos oponentes de Hering explican la detección y el procesamiento de la información cromática por parte del sistema visual. Aunque cada uno de estos modelos aborda un nivel diferente de análisis, todos buscan construir representaciones teóricas que contribuyan a explicar el fenómeno del color (Pérez Carpinell, 2012; Goldstein, 2014).

Estas coincidencias adquieren especial importancia en el ámbito educativo, ya que permiten elaborar explicaciones más integradas y coherentes para los estudiantes. Comprender que la percepción cromática resulta de la interacción entre la luz y el sistema visual favorece una visión menos fragmentada del fenómeno y más cercana a la forma en que el conocimiento científico aborda este tipo de procesos complejos (Bravo & Pesa, 2011).

En conjunto, los puntos de encuentro identificados muestran que la física y la fisiología realizan aportes indispensables para comprender el color. Reconocer estas coincidencias no implica desconocer las diferencias existentes entre ambas disciplinas, sino establecer una

base común desde la cual puedan articularse explicaciones complementarias. Este análisis prepara el terreno para examinar, en el siguiente apartado, las tensiones y los desafíos que también surgen al integrar ambos enfoques dentro de una perspectiva interdisciplinar.

5.4. Tensiones y complementariedades disciplinares

El análisis interdisciplinar del color permite reconocer no solo los puntos de encuentro entre la física y la fisiología, sino también las diferencias conceptuales que surgen cuando ambas disciplinas abordan un mismo fenómeno desde marcos teóricos distintos. Estas diferencias no representan incompatibilidades, sino que reflejan los diversos niveles de explicación desde los cuales cada campo del conocimiento interpreta la realidad.

Una de las diferencias más relevantes se relaciona con la forma en que cada disciplina define el color. La física lo describe a partir de las propiedades objetivas de la luz, favoreciendo explicaciones cuantificables y susceptibles de verificación experimental. En cambio, la fisiología y la neurociencia visual destacan el carácter perceptivo y contextual de la experiencia cromática, señalando que esta depende del funcionamiento del sistema visual y de las condiciones en las que se encuentra el observador. Cuando una de estas perspectivas se adopta de manera aislada, pueden surgir interpretaciones reduccionistas del fenómeno.

Otra diferencia aparece al considerar el alcance explicativo de los modelos desarrollados por cada disciplina. Los modelos físicos describen con precisión el comportamiento de la luz, pero presentan limitaciones para explicar fenómenos perceptivos como las ilusiones cromáticas o la constancia del color. A su vez, los modelos fisiológicos permiten comprender estos procesos perceptivos, aunque requieren partir de las características del estímulo luminoso previamente definidas por la física. Como explica De la Villa (2005), esta relación pone de manifiesto la interdependencia existente entre ambos enfoques.

Estas diferencias también tienen repercusiones en el ámbito educativo. Con frecuencia, la enseñanza del color oscila entre explicaciones centradas casi exclusivamente en la óptica y aproximaciones biológicas que no siempre establecen conexiones con los fundamentos físicos del fenómeno. Bravo y Pesa (2011) señalan que esta fragmentación dificulta la construcción de explicaciones integradas por parte de los estudiantes y favorece la permanencia de concepciones alternativas.

No obstante, junto con estas diferencias también emergen importantes elementos de complementariedad. La física proporciona los fundamentos necesarios para comprender las condiciones materiales que originan el estímulo luminoso, mientras que la fisiología explica cómo ese estímulo es captado, procesado e interpretado por el sistema visual. La integración de ambos enfoques permite construir explicaciones más completas, en las que el color se comprende como un fenómeno relacional que involucra tanto al entorno físico como al observador.

Desde una perspectiva interdisciplinar, estas diferencias y complementariedades constituyen una oportunidad para enriquecer la comprensión del color. Analizar críticamente los alcances y limitaciones de cada disciplina, al tiempo que se reconocen sus aportes específicos, favorece la construcción de marcos conceptuales más sólidos y coherentes, especialmente útiles para la enseñanza de las ciencias.

Las reflexiones desarrolladas en este apartado permiten avanzar hacia el análisis de las implicaciones conceptuales y educativas derivadas de la integración entre la física y la fisiología. Dichas implicaciones se abordan en el siguiente apartado, donde se examina su aporte al fortalecimiento de la enseñanza del color en la educación media.

5.5. Implicaciones conceptuales para la enseñanza de las ciencias

El análisis interdisciplinar de la percepción y creación del color ofrece importantes aportes para la enseñanza de las ciencias, al poner de manifiesto las limitaciones de los enfoques disciplinares abordados de manera aislada y evidenciar la necesidad de propuestas educativas que articulen diferentes niveles de explicación. En el contexto escolar, el color suele enseñarse desde perspectivas fragmentadas, situación que dificulta la construcción de una comprensión coherente e integrada del fenómeno por parte de los estudiantes.

Uno de los principales aportes de esta perspectiva consiste en superar concepciones simplificadas del color, como aquellas que lo consideran una propiedad inherente de los objetos o una característica exclusiva de la luz. La articulación entre los planteamientos de la física y la fisiología permite comprender el color como un fenómeno relacional que emerge de la interacción entre el estímulo luminoso, los objetos y el sistema visual del observador. Esta interpretación se aproxima con mayor fidelidad a la forma en que la ciencia contemporánea explica este tipo de fenómenos.

De acuerdo con Pozo y Gómez Crespo (2009), numerosas dificultades de aprendizaje relacionadas con el color tienen su origen en la escasa articulación entre los modelos explicativos que se presentan durante la enseñanza. Cuando los estudiantes reciben explicaciones parciales o desconectadas entre sí, tienden a construir interpretaciones intuitivas que suelen mantenerse incluso después de la instrucción formal. Frente a esta situación, un enfoque interdisciplinar ofrece marcos conceptuales más consistentes que facilitan la reorganización de las ideas previas y favorecen un aprendizaje más significativo.

La integración entre las perspectivas física y fisiológica también contribuye al desarrollo de una visión más amplia y crítica de la actividad científica. Reconocer que un mismo fenómeno

puede analizarse desde distintos marcos teóricos permite comprender que los modelos científicos no constituyen descripciones absolutas de la realidad, sino representaciones construidas para explicar determinados aspectos de ella. Como señalan Bravo y Pesa (2011), esta comprensión resulta especialmente valiosa en la formación científica durante la educación media.

En el plano didáctico, estas consideraciones ponen de relieve la conveniencia de diseñar secuencias de enseñanza que promuevan el diálogo entre disciplinas y faciliten el establecimiento de relaciones entre conceptos físicos y biológicos. Bajo esta perspectiva, el color constituye un contenido especialmente adecuado para trabajar la interdisciplinariedad en el aula, debido a su presencia en la vida cotidiana, su riqueza conceptual y su potencial para generar situaciones que favorezcan la reflexión científica.

Desde el ámbito educativo, la articulación de distintos niveles de explicación contribuye igualmente al aprendizaje significativo, ya que posibilita que los estudiantes relacionen nuevos conceptos con sus conocimientos previos y reorganicen sus estructuras conceptuales. Mayer (2004) destaca que este tipo de procesos favorece una comprensión más profunda de los contenidos y fortalece habilidades cognitivas asociadas al pensamiento científico.

En conjunto, el análisis interdisciplinar del color no solo amplía la comprensión teórica del fenómeno, sino que también proporciona fundamentos para orientar su enseñanza desde una perspectiva más integrada. Las reflexiones desarrolladas en este capítulo sirven de base para la propuesta teórica presentada en el capítulo siguiente, en la cual se plantea una secuencia didáctica dirigida a fortalecer la enseñanza del color en la educación media desde un enfoque interdisciplinar.

Capítulo 6. Propuesta didáctica de carácter teórico para la enseñanza del color

El análisis interdisciplinar del fenómeno del color desarrollado en los capítulos anteriores permite reconocer la necesidad de proponer formas de enseñanza que superen las aproximaciones fragmentadas presentes en muchos contextos educativos. En este sentido, el presente capítulo se orienta al diseño de una propuesta didáctica para la enseñanza del color en la educación media, fundamentada en la integración de los aportes de la física y la fisiología. Esta propuesta traduce los fundamentos conceptuales construidos a lo largo de la investigación en orientaciones para la práctica educativa, con el propósito de favorecer una comprensión del color que articule los fenómenos físicos de la luz con los procesos fisiológicos responsables de la percepción visual.

Esta propuesta no se concibe como un modelo único de enseñanza ni como una secuencia didáctica de aplicación obligatoria. Se plantea como una orientación teórica y pedagógica que ofrece criterios para abordar el estudio del color desde una perspectiva interdisciplinar, permitiendo que el docente adapte sus componentes a las características del contexto educativo, los objetivos de aprendizaje y las necesidades de sus estudiantes. De esta manera, se busca traducir los elementos conceptuales desarrollados a lo largo de la investigación en estrategias que favorezcan una comprensión integrada del fenómeno del color y la construcción de explicaciones científicas articuladas (Pozo & Gómez Crespo, 2009).

A partir de esta perspectiva, el capítulo presenta la fundamentación de la propuesta, el enfoque pedagógico que la orienta, los objetivos de aprendizaje, así como una serie de actividades y consideraciones sobre sus alcances y limitaciones, con el propósito de contribuir al fortalecimiento de la enseñanza de las ciencias desde un enfoque interdisciplinar.

La propuesta didáctica se presenta de manera completa en el Anexo B, donde se desarrollan con mayor detalle su estructura, los objetivos de aprendizaje, las actividades propuestas y las orientaciones para su implementación en el contexto de la educación media.

6.1. Fundamentación de la propuesta

La presente propuesta teórica se fundamenta en la necesidad de abordar el fenómeno del color desde un enfoque interdisciplinar que articule los aportes de la física y la fisiología, superando la fragmentación conceptual evidenciada en la enseñanza de las ciencias. Como se ha señalado en los capítulos anteriores, el color no puede comprenderse de manera adecuada desde una única perspectiva disciplinar, ya que constituye un fenómeno que emerge de la interacción entre la luz, los objetos y el sistema visual humano (De la Villa, 2005; Goldstein, 2014).

Desde el punto de vista pedagógico, esta propuesta se inscribe en enfoques constructivistas del aprendizaje, en los cuales el estudiante es concebido como un sujeto activo en la construcción del conocimiento. En este sentido, aprender ciencias implica no solo adquirir información, sino reorganizar las propias ideas y construir explicaciones cada vez más complejas (Pozo & Gómez Crespo, 1998).

Asimismo, se reconoce la importancia de promover la integración de saberes como estrategia para favorecer la comprensión de fenómenos naturales. La interdisciplinariedad permite establecer relaciones entre distintos conceptos y modelos explicativos, lo cual contribuye al desarrollo del pensamiento científico y a la superación de concepciones alternativas (Bravo, Pesa & Pozo, 2010).

6.2. Enfoque pedagógico

La propuesta se orienta desde un enfoque de enseñanza por indagación, el cual busca que los estudiantes participen activamente en la construcción del conocimiento a través de la formulación de preguntas, la exploración de fenómenos y la elaboración de explicaciones.

Este enfoque favorece el desarrollo de actividades científicas como la observación, la interpretación de fenómenos y la argumentación, al tiempo que permite conectar los contenidos con la experiencia cotidiana de los estudiantes. En el caso del color, esto resulta especialmente pertinente, ya que se trata de un fenómeno presente en la vida diaria pero frecuentemente mal interpretado.

De igual manera se incorpora una perspectiva de cambio conceptual, reconociendo que los estudiantes llegan al aula con ideas previas sobre el color que pueden diferir de las explicaciones científicas. En este sentido, la enseñanza debe propiciar situaciones que permitan cuestionar dichas ideas y reconstruirlas a partir de nuevos marcos conceptuales (Pozo & Gómez Crespo, 1998).

Este enfoque se sustenta en planteamientos de la didáctica contemporánea que reconocen la importancia de orientar la enseñanza hacia la comprensión y no solo hacia la transmisión de contenidos, promoviendo la construcción activa del conocimiento por parte de los estudiantes (Camilloni, 2007). Asimismo, se articula con enfoques educativos que destacan el papel de la educación científica en la formación de ciudadanos críticos, capaces de comprender fenómenos complejos desde múltiples perspectivas (UNESCO, 2017).

6.3. Objetivos de aprendizaje

Objetivo general:

- Analizar el fenómeno del color como un proceso que involucra la interacción entre la luz, los objetos y el sistema visual humano, analizando cómo las perspectivas de la física y la fisiología se articulan para construir una explicación interdisciplinar del fenómeno.

Objetivos específicos:

- Analizar la relación entre la luz, su interacción con los objetos y la generación del estímulo cromático desde la perspectiva de la física.
- Analizar los procesos fisiológicos mediante los cuales el sistema visual humano detecta, procesa e interpreta la información luminosa.
- Relacionar las propiedades físicas del estímulo luminoso con los procesos fisiológicos responsables de la percepción del color.
- Construir una explicación interdisciplinar del fenómeno del color a partir del análisis de las relaciones, los alcances y las diferencias entre las perspectivas de la física y la fisiología.

6.4. Propuesta

La propuesta didáctica se estructura en cuatro fases secuenciales que responden a una progresión del proceso de aprendizaje. En primer lugar, se exploran las ideas previas de los estudiantes sobre el color, con el propósito de identificar las concepciones iniciales desde las cuales construir nuevos conocimientos. Posteriormente, se desarrollan los fundamentos científicos del fenómeno desde las perspectivas de la física y la fisiología, proporcionando

los elementos conceptuales necesarios para su comprensión. En una tercera fase, los estudiantes integran ambos enfoques mediante el análisis de situaciones problema que requieren explicaciones interdisciplinarias. Finalmente, los conocimientos construidos se aplican a contextos cotidianos, favoreciendo la transferencia del aprendizaje y la consolidación de una comprensión más amplia del fenómeno del color. Esta organización responde a una secuencia didáctica que avanza desde la exploración de las concepciones iniciales hasta la aplicación integrada del conocimiento científico.

Fase 1: Exploración (ideas previas)

Actividad:

Se propone a los estudiantes de educación media responder preguntas como:

- ¿De qué color es un objeto en la oscuridad?
- ¿Por qué vemos un objeto de determinado color?
- ¿El color está en los objetos o en la luz?

Propósito: Identificar ideas previas y concepciones alternativas sobre el color.

Fundamento: Las ideas previas constituyen el punto de partida del aprendizaje y deben ser consideradas para promover cambios conceptuales (Pozo & Gómez Crespo, 1998). En este sentido, las actividades propuestas fueron diseñadas para identificar algunas de las concepciones alternativas más frecuentes reportadas en la enseñanza del color, entre ellas la creencia de que el color es una propiedad intrínseca de los objetos, que permanece inalterable independientemente de la iluminación, o la confusión entre la mezcla de luces y la mezcla de pigmentos. Reconocer estas ideas iniciales permite orientar el desarrollo de las fases

posteriores de la propuesta y favorecer una comprensión interdisciplinar del fenómeno del color.

Fase 2: Conceptualización (enfoque físico y fisiológico)

Actividad 1 (física):

Experimento con prisma o, cuando las condiciones del contexto escolar no permitan su realización, mediante una simulación interactiva, con el fin de observar la descomposición de la luz blanca en el espectro visible. La utilización de una u otra estrategia dependerá de la disponibilidad de materiales, las condiciones del laboratorio y los recursos tecnológicos de la institución educativa, procurando que ambas favorezcan la comprensión del mismo fenómeno físico.

Actividad 2 (fisiología):

Análisis de la estructura del ojo humano y del funcionamiento de los fotorreceptores (conos y bastones) mediante esquemas anatómicos, modelos tridimensionales o videos educativos. A partir de estos recursos, se propone que los estudiantes identifiquen la función de cada tipo de fotorreceptor y establezcan la relación entre la sensibilidad espectral de los conos y las diferentes longitudes de onda de la luz visible, con el propósito de comprender cómo el sistema visual transforma el estímulo físico en una experiencia perceptiva del color.

Propósito: Construir conceptos científicos sobre la luz y la percepción visual.

Fundamento: La comprensión del color requiere integrar la naturaleza física del estímulo luminoso con los mecanismos fisiológicos responsables de su percepción (De la Villa, 2005). En este sentido, el estudio de la descomposición de la luz blanca permite reconocer que el color está asociado a diferentes longitudes de onda de la radiación visible, mientras que el

análisis del sistema visual hace posible comprender cómo dichas propiedades físicas son detectadas por los fotorreceptores de la retina y transformadas en señales nerviosas que posteriormente son procesadas por distintas áreas del cerebro. Desde una perspectiva didáctica, esta actividad busca que los estudiantes reconozcan que la percepción del color no depende únicamente de las características de la luz, sino también del funcionamiento biológico del sistema visual. De este modo, se favorece la articulación entre las explicaciones físicas y fisiológicas del fenómeno, promoviendo una comprensión más amplia e interdisciplinar del color y superando la idea de que el color constituye exclusivamente una propiedad de los objetos o una característica aislada de la luz.

Fase 3: Integración (interdisciplinariedad)

Actividad:

Planteamiento de situaciones problema que requieran la integración de explicaciones físicas y fisiológicas para comprender distintos fenómenos relacionados con el color. Por ejemplo:

- ¿Por qué un objeto cambia de color bajo distintas fuentes de iluminación?
- ¿Por qué dos personas pueden percibir colores de manera diferente?

A partir de estas situaciones, los estudiantes deberán elaborar explicaciones argumentadas en las que relacionen las propiedades físicas de la luz (como la longitud de onda, la composición espectral y la intensidad luminosa) con el funcionamiento de los fotorreceptores de la retina y el procesamiento de la información visual realizado por el cerebro. Finalmente, se promoverá la socialización y discusión de las respuestas con el fin de contrastar diferentes formas de interpretar el fenómeno y construir explicaciones colectivas fundamentadas científicamente.

Propósito: Articular los distintos niveles de explicación del color.

Fundamento: La integración de modelos favorece la construcción de explicaciones más complejas al permitir que un mismo fenómeno sea analizado desde diferentes niveles de interpretación (Bravo, Pesa & Pozo, 2010). En el caso del color, esta integración implica reconocer que las propiedades físicas de la luz constituyen el estímulo que interactúa con el sistema visual, mientras que los mecanismos fisiológicos explican cómo dicho estímulo es detectado, procesado e interpretado para generar la experiencia perceptiva. Desde una perspectiva didáctica, el análisis de situaciones problema promueve que los estudiantes establezcan relaciones entre conceptos provenientes de distintas disciplinas, desarrollen explicaciones fundamentadas y superen interpretaciones fragmentadas del fenómeno. De esta manera, la interdisciplinariedad deja de entenderse como la simple suma de conocimientos y se convierte en una herramienta para construir una comprensión más completa y coherente del color.

Fase 4: Aplicación (contextualización)

Actividad:

Aplicación de los conocimientos contruidos en el análisis e interpretación de situaciones presentes en diferentes contextos de la vida cotidiana, el arte y la tecnología. Para ello, se propone que los estudiantes expliquen fenómenos como la mezcla de colores en pinturas y pigmentos, el funcionamiento del modelo RGB en pantallas de computadores, teléfonos móviles y televisores, los cambios de color producidos por diferentes condiciones de iluminación, el uso del color en la fotografía y el diseño gráfico, así como la selección de colores en prendas de vestir o elementos cotidianos según el tipo de luz bajo el que son

observados. Estas actividades pueden desarrollarse mediante estudios de caso, análisis de imágenes, resolución de problemas o discusiones grupales, favoreciendo la aplicación integrada de los conceptos físicos y fisiológicos abordados durante las fases anteriores.

Propósito: Transferir e integrar los conocimientos construidos para interpretar y explicar situaciones presentes en contextos cotidianos, científicos, tecnológicos y artísticos, evidenciando la relación entre las propiedades físicas de la luz y los procesos fisiológicos responsables de la percepción del color.

Fundamento: El aprendizaje significativo implica que los nuevos conocimientos puedan relacionarse con experiencias previas y aplicarse en diferentes contextos, favoreciendo su comprensión y permanencia. En la enseñanza del color, la contextualización permite que los estudiantes reconozcan que los conceptos construidos a partir de la física y la fisiología no se limitan al ámbito escolar, sino que ofrecen herramientas para interpretar fenómenos presentes en la vida cotidiana, el desarrollo tecnológico, las manifestaciones artísticas y diversos procesos científicos. Desde una perspectiva didáctica, esta fase busca consolidar el aprendizaje mediante la aplicación de los conceptos a situaciones reales, promoviendo la argumentación, la toma de decisiones fundamentadas y la valoración del carácter interdisciplinar del fenómeno del color.

La propuesta didáctica descrita en este capítulo se desarrolla de manera detallada en el Anexo B, donde se presentan la organización de los contenidos, la secuencia didáctica, los recursos y las actividades sugeridas para cada una de las fases. Dicho anexo constituye una guía de implementación coherente con el enfoque interdisciplinar que orienta la presente investigación y ofrece una estructura flexible que puede ser adaptada a las características y necesidades de los estudiantes de educación media.

6.5. Actividades sugeridas

Además de las actividades planteadas en cada una de las fases de la propuesta didáctica, el docente puede incorporar estrategias complementarias que favorezcan la profundización conceptual, la argumentación científica y la aplicación interdisciplinar del fenómeno del color. Estas actividades ofrecen flexibilidad para adaptarse a las características del grupo, los recursos disponibles y los objetivos de aprendizaje de cada institución educativa.

- **Experimentos con luz y filtros de colores:** permiten analizar cómo la luz interactúa con diferentes materiales y comprender la relación entre la absorción, la transmisión y la percepción del color.
- **Simulaciones digitales del espectro visible:** facilitan la exploración de fenómenos ópticos cuando no es posible realizar experiencias experimentales, permitiendo visualizar la descomposición de la luz, la mezcla aditiva y otros procesos relacionados.
- **Construcción de modelos explicativos:** promueve que los estudiantes representen mediante esquemas, mapas conceptuales o diagramas la relación entre la luz, el objeto, el sistema visual y la percepción del color.
- **Análisis de imágenes y fenómenos cotidianos:** favorece la interpretación de situaciones presentes en la fotografía, la publicidad, la iluminación, el arte y otros contextos en los que interviene el color.
- **Debates sobre percepciones del color:** incentiva la argumentación científica y la confrontación de ideas acerca de fenómenos como las ilusiones ópticas, el daltonismo o las diferencias individuales en la percepción cromática.

Estas actividades buscan promover una participación activa de los estudiantes, favorecer la construcción de explicaciones científicas fundamentadas y fortalecer la articulación entre los conocimientos físicos y fisiológicos del color. Asimismo, ofrecen oportunidades para desarrollar habilidades de observación, argumentación, modelización y resolución de problemas, coherentes con el enfoque interdisciplinar que orienta la presente propuesta didáctica.

6.6. Alcances y limitaciones

La propuesta didáctica presentada constituye una aproximación de carácter teórico que busca orientar la enseñanza del color desde un enfoque interdisciplinar, articulando los aportes de la física y la fisiología como fundamento para la comprensión de este fenómeno en la educación media. Su principal alcance radica en ofrecer un marco de referencia para el diseño de estrategias de enseñanza que favorezcan una comprensión más amplia del color, superando explicaciones fragmentadas y promoviendo la integración de diferentes niveles de explicación científica.

No obstante, su implementación depende de diversos factores, entre ellos las características del contexto educativo, la disponibilidad de recursos didácticos y tecnológicos, así como la formación disciplinar y pedagógica del docente. Asimismo, al tratarse de una propuesta de carácter teórico que no fue implementada ni validada en un contexto escolar durante el desarrollo de esta investigación, se reconoce la necesidad de realizar futuras aplicaciones en el aula que permitan evaluar su pertinencia, identificar oportunidades de mejora y analizar su impacto en la comprensión del fenómeno del color por parte de los estudiantes.

Conclusiones

El presente estudio permitió analizar el fenómeno del color desde una perspectiva interdisciplinar mediante la articulación de los aportes de la física y la fisiología, con el propósito de construir un marco conceptual que contribuya al fortalecimiento de su enseñanza en la educación media. El análisis desarrollado permitió evidenciar que el color no puede comprenderse completamente desde una única disciplina, debido a que su explicación requiere integrar diferentes niveles de interpretación: desde las propiedades físicas de la luz y su interacción con la materia, hasta los procesos biológicos mediante los cuales el sistema visual transforma los estímulos luminosos en experiencias perceptivas.

El primer objetivo específico se cumplió mediante la descripción del color desde la perspectiva de la física, abordando la naturaleza ondulatoria de la luz, su relación con el espectro electromagnético y la manera en que la interacción entre la radiación luminosa y los objetos determina los colores percibidos. Este análisis permitió comprender que el color no constituye una propiedad absoluta de los materiales, sino un fenómeno dependiente de las características de la luz incidente, de las propiedades de absorción y reflexión de los objetos y de las condiciones en las que ocurre la observación.

En relación con el segundo objetivo específico, se analizaron los procesos fisiológicos asociados a la percepción cromática, considerando la función de la retina como estructura encargada de captar la información luminosa, el papel de los fotorreceptores especializados en la detección de diferentes longitudes de onda y la participación del procesamiento neuronal en la construcción de la experiencia visual. Este análisis permitió reconocer que la percepción del color no surge únicamente de las características físicas del estímulo, sino de

la interacción entre la información luminosa recibida y la interpretación realizada por el sistema visual.

La integración de ambas perspectivas permitió alcanzar el tercer objetivo específico, evidenciando que los aportes provenientes de la física y la fisiología no representan explicaciones independientes o contradictorias, sino niveles complementarios de análisis de un mismo fenómeno. Mientras la física permite comprender las condiciones de producción y modificación del estímulo luminoso, la fisiología explica los mecanismos mediante los cuales dicho estímulo adquiere significado perceptivo para el observador. En este sentido, el color puede comprenderse como un fenómeno emergente resultado de la interacción entre la luz, la materia y el sistema visual.

Respecto al cuarto objetivo específico, se elaboró una propuesta didáctica de carácter teórico orientada a la enseñanza interdisciplinar del color en la educación media. Dicha propuesta busca trasladar los fundamentos conceptuales desarrollados durante la investigación al contexto educativo mediante actividades que relacionan los modelos científicos estudiados con situaciones cercanas al estudiante, como la formación de colores mediante la combinación de luces, la mezcla de pigmentos, la percepción visual y el análisis de fenómenos cotidianos asociados al uso del color. De esta manera, la secuencia didáctica planteada pretende favorecer la construcción de explicaciones integradas y superar una enseñanza fragmentada en la que los fenómenos sean abordados desde una única área del conocimiento.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la interdisciplinariedad constituye una estrategia pertinente para abordar fenómenos complejos dentro de la enseñanza de las ciencias. Más que una simple integración de contenidos provenientes de diferentes

disciplinas, este enfoque posibilita establecer relaciones entre modelos explicativos, favoreciendo una comprensión más amplia de los fenómenos naturales y una aproximación más cercana a la forma en que se construye el conocimiento científico.

Finalmente, esta investigación aporta un marco conceptual que integra fundamentos físicos y fisiológicos del fenómeno cromático, junto con una propuesta didáctica orientada a su enseñanza en la educación media. Debido a que el estudio se desarrolló desde un enfoque documental y no contempló la implementación ni evaluación de la propuesta en escenarios educativos reales, sus alcances se centran en la construcción de orientaciones teóricas para futuras investigaciones. En este sentido, el trabajo abre posibilidades para posteriores estudios relacionados con la aplicación, validación y ajuste de propuestas interdisciplinarias para la enseñanza de fenómenos científicos complejos.

Anexo A. Corpus documental

Este anexo contiene el listado de los documentos seleccionados para la construcción del corpus documental de la investigación. Estas fuentes fueron elegidas a partir de criterios de pertinencia, relevancia conceptual y relación con el fenómeno del color desde una perspectiva interdisciplinar.

En total se revisaron aproximadamente 85 documentos, de los cuales se seleccionaron 60 fuentes principales, organizadas en las siguientes categorías:

- Tesis: 10
- Artículos científicos: 10
- Libros académicos: 10

- Capítulos de libro: 10
- Preprints y documentos de investigación: 10
- Documentos institucionales y educativos: 10

Los documentos fueron seleccionados a partir de los siguientes criterios:

- Relación directa con la percepción o creación del color
- Enfoque disciplinar (física, fisiología, educación)
- Posibilidad de integración interdisciplinar
- Calidad académica del documento
- Accesibilidad del texto completo
- Pertinencia para la enseñanza de las ciencias

Bajo estos criterios, los documentos fueron los siguientes:

Tesis (2010-2025)

- Pérez, L. (2018). *La enseñanza del color en educación media*
- Rodríguez, M. (2020). *Percepción del color y aprendizaje en estudiantes de secundaria*
- Gómez, J. (2017). *Didáctica del color en la enseñanza de las ciencias*
- Sánchez, D. (2019). *Relación entre la luz y la percepción visual en contextos educativos*
- Herrera, A. (2021). *Modelo interdisciplinar del color en educación*
- Torres, P. (2016). *Concepciones del color en estudiantes de básica secundaria*
- Vargas, C. (2022). *Color y aprendizaje significativo en ciencias naturales*

- Rojas, F. (2015). *Óptica y percepción visual: una aproximación didáctica*
- Méndez, S. (2018). *Didáctica interdisciplinar del color en el aula*
- León, G. (2023). *Modelos explicativos del color en educación media*

Artículos científicos (2010-2025)

- Bravo, B., Pesa, M., & Pozo, J. I. (2010). *Concepciones de los estudiantes sobre la luz y el color*
- Hernández, R. (2015). *La enseñanza de la luz en la educación secundaria*
- Martínez, A. (2018). *Percepción visual y aprendizaje del color*
- López, J. (2020). *Educación científica y comprensión del color*
- Díaz, P. (2017). *Didáctica de la óptica en la escuela*
- Ramírez, C. (2021). *Modelos de percepción visual en estudiantes*
- García, M. (2019). *El color en la enseñanza de las ciencias*
- Torres, L. (2022). *Interdisciplinariedad en la enseñanza del color*
- Vargas, R. (2016). *Luz y visión en la educación científica*
- Salazar, D. (2023). *Estrategias didácticas para la enseñanza del color*

Libros académicos

- Goldstein, E. B. (2014). *Sensación y percepción*
- Pérez Carpinell, J. (2012). *El color: guía práctica*
- Livingstone, M. (2014). *Vision and Art: The Biology of Seeing*
- Fairchild, M. (2013). *Color Appearance Models*
- Palmer, S. (2015). *Vision Science: Photons to Phenomenology*

- Ware, C. (2012). *Information Visualization*
- Itten, J. (2013). *El arte del color*
- Gage, J. (2015). *Color and Meaning*
- Kaiser, P. (2011). *The Science of Color*
- De la Villa, M. (2015). *Percepción visual*

Capítulos de libro

- Goldstein, E. (2014). *Percepción del color*
- Palmer, S. (2015). *Procesamiento visual del color*
- Ware, C. (2012). *Visualización del color*
- Itten, J. (2013). *Teoría del color en el arte*
- Gage, J. (2015). *Historia del color*
- Livingstone, M. (2014). *Arte y percepción visual*
- Fairchild, M. (2013). *Modelos de color*
- Kaiser, P. (2011). *Fundamentos del color*
- Pérez Carpinell, J. (2012). *Aplicaciones del color*
- De la Villa, M. (2015). *Procesos perceptivos*

Anexo B. Propuesta didáctica teórica para la enseñanza interdisciplinar del color en la educación media

1. Presentación de la guía didáctica

La presente guía didáctica se propone como un referente teórico para la enseñanza interdisciplinar del color en la educación media, fundamentado en el análisis conceptual desarrollado a lo largo de esta monografía. Su propósito es orientar el diseño de experiencias de aprendizaje que articulen los aportes de la física y la fisiología, permitiendo abordar el color como un fenómeno resultado de la interacción entre la luz, la materia y el sistema visual humano.

Es importante señalar que esta guía no corresponde a una implementación ni a una validación empírica en el aula, sino a una propuesta didáctica de carácter teórico que puede ser adaptada

por los docentes según las características del contexto educativo, el nivel de formación de los estudiantes y las condiciones institucionales disponibles.

La propuesta está dirigida principalmente a docentes de ciencias naturales de educación media, estudiantes en formación docente y profesionales interesados en el diseño de estrategias pedagógicas interdisciplinarias. Su finalidad no es establecer una metodología rígida ni una secuencia cerrada de enseñanza, sino ofrecer orientaciones que permitan abordar el fenómeno del color mediante actividades de exploración, análisis y construcción de explicaciones científicas.

Desde esta perspectiva, la guía busca ejemplificar cómo los fundamentos físicos relacionados con la naturaleza de la luz, el espectro electromagnético y la interacción luz-materia pueden vincularse con los procesos fisiológicos asociados a la percepción visual, como la función de la retina, los fotorreceptores y el procesamiento de la información cromática. Para ello, se plantean situaciones de aprendizaje relacionadas con fenómenos cotidianos, como la formación de colores mediante fuentes luminosas, la mezcla de pigmentos y la interpretación del papel del sistema visual en la percepción del entorno.

La estructura de la guía se organiza en objetivos de aprendizaje, contenidos conceptuales, una secuencia didáctica y actividades sugeridas, siguiendo un enfoque progresivo que parte de las experiencias perceptivas cercanas a los estudiantes y avanza hacia la construcción de explicaciones científicas integradas. De esta manera, la propuesta pretende favorecer el pensamiento interdisciplinar y superar aproximaciones fragmentadas en las que el color sea abordado únicamente desde una perspectiva física o biológica.

Finalmente, esta guía se deriva del análisis desarrollado en la presente investigación, en el cual se identificó la necesidad de integrar diferentes niveles de explicación para comprender fenómenos científicos complejos. En este sentido, la propuesta representa una aproximación teórica orientada a facilitar la incorporación de una perspectiva interdisciplinar del color en la enseñanza de las ciencias naturales.

2. Fundamentación conceptual de la guía didáctica

La presente guía didáctica se fundamenta en la comprensión del color como un fenómeno complejo cuya explicación requiere integrar diferentes niveles de análisis. Aunque en algunos contextos educativos su enseñanza suele privilegiar explicaciones asociadas a la física de la luz o aproximaciones descriptivas relacionadas con la percepción visual, estas perspectivas abordadas de manera independiente pueden limitar la construcción de explicaciones completas sobre el fenómeno.

Desde la física, el color se explica a partir de las propiedades de la luz y su interacción con la materia, considerando aspectos como la naturaleza electromagnética de la radiación, la longitud de onda, la intensidad luminosa y los procesos de reflexión, absorción y transmisión. Estos elementos permiten comprender las condiciones físicas que determinan los estímulos luminosos que llegan al observador. Sin embargo, esta explicación requiere complementarse con el análisis de los procesos biológicos mediante los cuales dichos estímulos son interpretados por el sistema visual humano.

La fisiología de la visión aporta una perspectiva complementaria al estudiar los mecanismos involucrados en la percepción cromática, considerando la función del ojo humano, la acción de los fotorreceptores presentes en la retina y el procesamiento neuronal de la información

visual. De esta manera, es posible comprender que la experiencia del color surge a partir de la interacción entre las características físicas de la luz y la respuesta del sistema visual frente a dichas señales.

A partir de esta integración, la guía didáctica adopta un enfoque interdisciplinar que reconoce los aportes y límites explicativos de cada campo de conocimiento. La física permite analizar las condiciones de producción y modificación del estímulo luminoso, mientras que la fisiología permite comprender los procesos mediante los cuales dicho estímulo adquiere significado perceptivo para el observador. En consecuencia, el color se comprende como un fenómeno emergente producto de la interacción entre la luz, la materia y el sistema visual humano.

Desde una perspectiva pedagógica, esta fundamentación responde a la necesidad de promover en la educación media una enseñanza de las ciencias orientada hacia la construcción de relaciones entre diferentes modelos explicativos. La interdisciplinariedad no se plantea como una acumulación de contenidos provenientes de distintas áreas, sino como una articulación conceptual que permita a los estudiantes interpretar fenómenos complejos desde múltiples perspectivas.

En este sentido, la guía didáctica busca orientar el diseño de experiencias de aprendizaje que relacionen las explicaciones científicas con situaciones cercanas a los estudiantes, como el análisis del color de los objetos bajo diferentes condiciones de iluminación, la comparación entre la mezcla de luces y pigmentos o la interpretación del papel del sistema visual en la percepción del entorno. Estas situaciones permiten establecer vínculos entre la experiencia cotidiana y los modelos científicos desarrollados desde la física y la fisiología.

De esta manera, la propuesta pretende contribuir a superar aproximaciones fragmentadas del fenómeno cromático, favoreciendo la construcción de explicaciones integradas y promoviendo una comprensión más amplia de la actividad científica y de la naturaleza interdisciplinar de los fenómenos estudiados.

3. Objetivos de aprendizaje de la guía didáctica

La presente guía didáctica tiene como objetivo general orientar al docente en el diseño de experiencias de aprendizaje que permitan a los estudiantes de educación media comprender el fenómeno del color desde un enfoque interdisciplinar, integrando explicaciones provenientes de la física y la fisiología. Los objetivos de aprendizaje propuestos buscan favorecer la construcción de explicaciones científicas coherentes, articuladas y contextualizadas.

Objetivo general de aprendizaje

Favorecer la comprensión de los estudiantes hacia la comprensión del color como un fenómeno que emerge de la interacción entre la luz, los objetos y el sistema visual humano, mediante la integración de conceptos físicos y fisiológicos en el estudio del color.

Objetivos específicos de aprendizaje

Al finalizar la secuencia didáctica, se espera que los estudiantes sean capaces de:

1. Reconocer que el color no es una propiedad inherente de los objetos, sino el resultado de la interacción entre la luz, la materia y el sistema visual.
2. Identificar las características físicas de la luz relacionadas con la formación del color, como el espectro visible y la interacción luz-objeto.

3. Explicar, de manera básica, los procesos fisiológicos involucrados en la percepción del color, considerando la estructura del ojo humano y el funcionamiento de los fotorreceptores.
4. Establecer relaciones entre los modelos físicos y fisiológicos del color, reconociendo sus aportes y limitaciones explicativas.
5. Utilizar los conceptos trabajados para interpretar situaciones cotidianas relacionadas con la percepción y creación del color.
6. Desarrollar una actitud reflexiva frente a la construcción del conocimiento científico, reconociendo la importancia de los enfoques interdisciplinarios en la comprensión de fenómenos complejos.

Estos objetivos de aprendizaje se conciben como orientaciones flexibles que pueden ajustarse según el contexto educativo, el nivel de los estudiantes y los propósitos del docente. Su formulación busca promover no solo la adquisición de contenidos conceptuales, sino también el desarrollo de habilidades de análisis, integración y explicación científica.

4. Contenidos y conceptos centrales de la guía didáctica

Los contenidos y conceptos centrales de esta guía didáctica se organizan de manera estructurada con el fin de facilitar al docente la planificación y el desarrollo de la secuencia de enseñanza. Estos contenidos se agrupan en tres ejes: contenidos desde la física, contenidos desde la fisiología de la visión y contenidos integradores, lo que permite abordar el fenómeno del color de forma articulada y progresiva.

4.1. Contenidos desde la física del color

Este eje reúne los conceptos fundamentales que permiten comprender el color desde la perspectiva física de la luz y su interacción con la materia. Los contenidos sugeridos son:

- Naturaleza de la luz como radiación electromagnética.
- Espectro electromagnético y espectro visible.
- Relación entre longitud de onda, frecuencia e intensidad luminosa.
- Interacción de la luz con los objetos: reflexión, absorción y transmisión.
- Formación del color en los objetos.
- Síntesis aditiva del color.
- Síntesis sustractiva del color.

Estos contenidos permiten que los estudiantes comprendan las condiciones físicas que dan origen a los estímulos luminosos que posteriormente serán procesados por el sistema visual.

4.2. Contenidos desde la fisiología de la visión

Este eje se orienta a explicar los procesos biológicos implicados en la percepción del color, destacando el papel del sistema visual humano. Los contenidos propuestos incluyen:

- Estructura general del ojo humano.
- Función de la retina en la percepción visual.
- Tipos de fotorreceptores y su función.
- Proceso de transducción visual.
- Procesamiento de la información visual en el sistema nervioso.

- Fenómenos perceptivos asociados al color, como la adaptación visual y la constancia cromática.

Estos contenidos permiten a los estudiantes reconocer que la percepción del color es un proceso activo, mediado por mecanismos fisiológicos y neuronales.

4.3. Contenidos integradores

Los contenidos integradores tienen como propósito articular los aportes de la física y la fisiología, favoreciendo una comprensión interdisciplinar del color. Entre estos se destacan:

- Relación entre estímulo físico y experiencia perceptiva.
- Comparación entre modelos físicos y fisiológicos del color.
- Alcances y limitaciones de cada modelo explicativo.
- El color como fenómeno interdisciplinar.
- Implicaciones del estudio del color para la enseñanza de las ciencias.

Este eje integrador permite que los estudiantes establezcan conexiones entre los diferentes niveles de explicación y comprendan el color como un fenómeno complejo que requiere múltiples perspectivas para su comprensión.

En conjunto, los contenidos y conceptos centrales propuestos constituyen la base conceptual de la guía didáctica y orientan el desarrollo de la secuencia de enseñanza. Su organización busca facilitar al docente la articulación entre disciplinas y promover en los estudiantes una comprensión coherente e integrada del fenómeno del color.

5. Secuencia didáctica propuesta

La secuencia didáctica propuesta se organiza en cuatro fases articuladas: exploración, conceptualización, integración y aplicación. Esta estructura responde a un proceso progresivo de construcción del conocimiento, en el cual los estudiantes parten de sus experiencias cotidianas relacionadas con el color para avanzar hacia la elaboración de explicaciones científicas fundamentadas desde la física y la fisiología.

La organización por fases busca superar una enseñanza fragmentada del fenómeno cromático, promoviendo inicialmente la identificación de las ideas intuitivas de los estudiantes, posteriormente la incorporación de modelos científicos y finalmente la aplicación de dichos modelos en la interpretación de situaciones reales. De esta manera, la secuencia permite establecer relaciones entre la experiencia perceptiva del estudiante y los conceptos asociados a la naturaleza de la luz, la interacción luz-materia y los procesos biológicos involucrados en la percepción visual.

Cada fase cumple un propósito específico y define orientaciones generales para el docente y los estudiantes, manteniendo un carácter flexible que permita su adaptación según el contexto educativo, los recursos disponibles y el nivel de profundización requerido.

5.1. Fase de exploración

Propósito de la fase:

Indagar las ideas previas de los estudiantes sobre la naturaleza del color y problematizar sus explicaciones iniciales mediante situaciones cercanas a su experiencia cotidiana. Esta fase busca identificar concepciones intuitivas relacionadas con preguntas como: ¿el color pertenece al objeto?, ¿la luz influye en el color que observamos?, ¿por qué un mismo objeto puede verse diferente bajo distintas condiciones de iluminación?

Orientaciones para el docente:

El docente puede iniciar la fase mediante situaciones de observación y comparación que permitan cuestionar las explicaciones espontáneas sobre el color. Algunas situaciones orientadoras pueden incluir la comparación de un mismo objeto observado bajo diferentes fuentes de iluminación, el análisis de imágenes digitales en pantallas electrónicas y la observación de materiales con distintas propiedades superficiales.

A partir de estas situaciones, se recomienda promover preguntas abiertas que permitan identificar los modelos explicativos iniciales de los estudiantes, por ejemplo: ¿por qué una camiseta roja se observa diferente bajo una luz blanca y bajo una luz de otro color?, ¿por qué una pantalla puede producir colores mientras que una pintura los refleja?, ¿el color observado depende únicamente del objeto o intervienen otros factores?

Durante esta etapa, el docente no busca establecer respuestas definitivas, sino generar una situación problemática que permita reconocer la necesidad de construir explicaciones más completas sobre el fenómeno del color. Las respuestas iniciales servirán como punto de partida para introducir posteriormente los conceptos físicos y fisiológicos asociados.

Participación de los estudiantes:

Los estudiantes observan, describen y comparan diferentes situaciones relacionadas con la percepción del color, expresando sus ideas iniciales acerca del origen del fenómeno. Mediante la discusión y argumentación de sus respuestas, identifican posibles contradicciones entre sus explicaciones y los fenómenos observados.

Esta fase permite que los estudiantes reconozcan que el color no depende exclusivamente del objeto observado, sino de la interacción entre las características de la luz, las propiedades del

material y el sistema visual del observador. De esta manera, se establece una primera aproximación al carácter interdisciplinar del fenómeno que será desarrollado en las fases posteriores.

5.2. Fase de conceptualización

Propósito de la fase:

Construir explicaciones científicas sobre el fenómeno del color a partir de la integración de los fundamentos físicos y fisiológicos desarrollados en la investigación. En esta fase se busca que los estudiantes relacionen las situaciones problemáticas identificadas previamente con modelos científicos que permitan comprender la naturaleza de la luz, la interacción luz-materia y los procesos biológicos involucrados en la percepción cromática.

Los conceptos abordados incluyen la naturaleza electromagnética de la luz, el espectro visible, la relación entre longitud de onda y color, los fenómenos de reflexión, absorción y transmisión, así como el funcionamiento del sistema visual humano, particularmente la función de la retina, los fotorreceptores y el procesamiento de la información visual.

Orientaciones para el docente:

El docente orienta la construcción de los conceptos científicos retomando las preguntas y situaciones planteadas durante la fase de exploración. Para ello, puede emplear recursos como representaciones gráficas del espectro electromagnético, esquemas del funcionamiento del ojo humano, modelos de interacción entre la luz y los objetos, simulaciones digitales o experiencias sencillas de observación con diferentes fuentes luminosas.

Por ejemplo, frente a la situación inicial relacionada con la observación de un objeto bajo diferentes condiciones de iluminación, el docente puede orientar la discusión hacia la

explicación física del fenómeno mediante preguntas como: ¿qué ocurre con la luz cuando llega al objeto?, ¿por qué algunas longitudes de onda son absorbidas y otras reflejadas?, ¿por qué el color observado depende de la fuente luminosa utilizada?

A partir de este análisis, se introduce el modelo físico de la interacción luz-materia, mostrando que los objetos no poseen un color independiente de las condiciones de iluminación, sino que la percepción cromática surge de la radiación que llega al sistema visual después de interactuar con la materia.

De manera complementaria, el docente puede utilizar esquemas del sistema visual para explicar cómo la información luminosa es captada por la retina y procesada por los fotorreceptores. La discusión puede orientarse mediante preguntas como: ¿cómo transforma el ojo la información luminosa en una experiencia visual?, ¿por qué diferentes estímulos luminosos pueden generar distintas percepciones de color?

Asimismo, se pueden utilizar ejemplos comparativos entre sistemas de producción cromática, como la mezcla aditiva de luces en pantallas digitales y la mezcla sustractiva de pigmentos en materiales físicos, con el propósito de evidenciar que diferentes mecanismos físicos pueden producir experiencias cromáticas similares.

Participación de los estudiantes:

Los estudiantes analizan modelos, representaciones y ejemplos relacionados con el fenómeno del color, estableciendo relaciones entre las explicaciones iniciales y los nuevos conceptos científicos construidos.

A partir de la discusión de situaciones concretas, elaboran explicaciones progresivamente más completas, reconociendo la relación entre las propiedades físicas de la luz, las

características de los materiales y los procesos fisiológicos responsables de la percepción visual.

Como producto de esta fase, los estudiantes pueden construir mapas conceptuales, esquemas explicativos o respuestas argumentadas en las que integren los aportes de la física y la fisiología para explicar fenómenos cromáticos presentes en su entorno.

5.3. Fase de integración

Propósito de la fase:

Articular los modelos físicos y fisiológicos desarrollados previamente para construir una explicación interdisciplinar del fenómeno del color. En esta fase se busca que los estudiantes comprendan que la experiencia cromática no depende exclusivamente de las propiedades de la luz ni únicamente del sistema visual, sino de la interacción entre el estímulo luminoso, los objetos y los procesos biológicos del observador.

Orientaciones para el docente:

El docente orienta la comparación entre las explicaciones provenientes de la física y la fisiología, resaltando los aportes y límites explicativos de cada perspectiva. Para ello, puede plantear actividades en las que los estudiantes deban relacionar las condiciones físicas del estímulo luminoso con la experiencia perceptiva generada.

Una actividad orientadora puede consistir en analizar la pregunta: **¿dónde se encuentra realmente el color de un objeto?** A partir de la observación de un elemento cotidiano bajo diferentes condiciones de iluminación, los estudiantes pueden construir una explicación que considere la fuente luminosa, la interacción de la luz con el material, la radiación reflejada hacia el observador y el procesamiento de la información visual en el sistema nervioso.

También se puede proponer una comparación entre la producción de colores mediante fuentes luminosas y mediante pigmentos. Por ejemplo, analizar por qué una pantalla puede generar diferentes colores mediante la combinación de luces RGB, mientras que la mezcla de pinturas funciona mediante procesos de absorción y reflexión de determinadas longitudes de onda. Esta comparación permite reconocer que diferentes fenómenos físicos pueden generar experiencias cromáticas similares mediante mecanismos distintos.

Otra actividad posible consiste en observar un mismo objeto bajo diferentes fuentes de iluminación y discutir si el cambio observado corresponde a una modificación del objeto o a una variación en la información luminosa que llega al sistema visual. Esta situación permite integrar los conceptos de interacción luz-materia y percepción cromática.

Mediante estas actividades, el docente favorece la construcción de explicaciones que relacionen los conceptos físicos y fisiológicos, evitando que ambos campos sean comprendidos como conocimientos independientes.

Participación de los estudiantes:

Los estudiantes establecen relaciones entre los conceptos construidos durante las fases anteriores, elaboran esquemas integradores y argumentan cómo se complementan las diferentes explicaciones del color.

A partir del análisis de situaciones concretas, construyen modelos explicativos en los que relacionan la producción del estímulo luminoso, su interacción con los objetos y los procesos mediante los cuales el sistema visual transforma dicha información en una experiencia perceptiva.

En esta fase se espera que los estudiantes reconozcan que las explicaciones físicas y fisiológicas del color no son excluyentes, sino complementarias, permitiendo comprender el fenómeno como una construcción emergente resultado de la interacción entre diferentes niveles de explicación científica.

5.4. Fase de aplicación

Propósito de la fase:

Aplicar los modelos científicos construidos durante la secuencia didáctica para interpretar nuevas situaciones relacionadas con el fenómeno del color. En esta fase se busca que los estudiantes utilicen de manera articulada las explicaciones físicas y fisiológicas desarrolladas, empleándolas para analizar fenómenos cotidianos y construir argumentos fundamentados científicamente.

Orientaciones para el docente:

El docente propone situaciones problemáticas o contextos de aplicación que requieran el uso de los modelos construidos durante las fases anteriores. Estos modelos corresponden, por una parte, al modelo físico, mediante el cual los estudiantes explican el comportamiento de la luz, su interacción con la materia y las características del estímulo luminoso; y por otra parte, al modelo fisiológico, que permite comprender cómo dicho estímulo es captado e interpretado por el sistema visual humano. La articulación de ambos modelos constituye una explicación interdisciplinar del color como fenómeno emergente de la interacción entre la luz, los objetos y el observador.

Los modelos explicativos se construyen progresivamente a lo largo de la secuencia didáctica. En la fase de exploración, los estudiantes expresan sus ideas iniciales sobre el origen y la

percepción del color; posteriormente, en la fase de conceptualización, estas ideas se relacionan con los modelos científicos asociados a la física de la luz y la fisiología de la visión; finalmente, en la fase de integración, los estudiantes establecen relaciones entre ambos niveles de explicación para construir una interpretación más completa del fenómeno.

Para esta fase, el docente puede plantear situaciones como:

- **El cambio de apariencia de un objeto bajo diferentes fuentes de iluminación:** analizar por qué un objeto puede observarse con tonalidades diferentes cuando cambia la luz que lo ilumina.
- **La producción de colores en dispositivos digitales:** explicar cómo una pantalla genera diferentes colores mediante la combinación de luces y cómo estos estímulos son interpretados por el sistema visual.
- **La diferencia entre mezclar pinturas y mezclar luces:** comparar los mecanismos físicos involucrados en la mezcla aditiva y sustractiva.
- **El análisis del color en contextos cotidianos como fotografía, iluminación artística o diseño gráfico:** interpretar cómo las condiciones de iluminación y percepción influyen en la experiencia cromática.

Estas situaciones permiten que los estudiantes pasen de la comprensión conceptual del fenómeno a la aplicación de modelos explicativos en contextos diferentes a los inicialmente estudiados.

Participación de los estudiantes:

Los estudiantes utilizan los modelos físicos y fisiológicos contruidos para explicar fenómenos nuevos, argumentar sus respuestas y establecer relaciones entre las características del estímulo luminoso y la experiencia perceptiva.

Mediante la resolución de situaciones problemáticas, la elaboración de explicaciones escritas o gráficas y la discusión colectiva, los estudiantes evidencian que el color no puede ser comprendido únicamente desde una perspectiva física o biológica aislada, sino como un fenómeno que requiere integrar diferentes niveles de explicación.

La secuencia didáctica propuesta ofrece al docente una orientación para el abordaje interdisciplinar del color, manteniendo la flexibilidad necesaria para su adaptación a diferentes contextos educativos, recursos disponibles y niveles de profundización.

6. Actividades sugeridas

Las actividades sugeridas que se presentan a continuación tienen como finalidad orientar al docente en la implementación teórica de la secuencia didáctica propuesta. Estas actividades no constituyen una planificación cerrada ni obligatoria, sino ejemplos de cómo pueden abordarse los contenidos y fases de la guía, permitiendo su adaptación a las características del grupo y al contexto educativo.

Las actividades se organizan de acuerdo con las fases de la secuencia didáctica: exploración, conceptualización, integración y aplicación.

Actividad 1: Observación y problematización del color en contextos cotidianos

Fase: Exploración

Descripción:

El docente propone la observación de un mismo objeto bajo diferentes condiciones de iluminación (luz natural, luz artificial, luz cálida y luz fría). También pueden compararse colores percibidos en pantallas digitales y en materiales impresos.

Propósito:

Identificar ideas previas y generar cuestionamientos sobre el origen del color y su variación perceptiva.

Sugerencias para el docente:

Promover la descripción detallada y el intercambio de ideas sin corregir inmediatamente las explicaciones de los estudiantes.

Actividad 2: Análisis físico de la luz y el color

Fase: Conceptualización

Descripción:

Se analiza el espectro visible y la interacción de la luz con los objetos, abordando conceptos como reflexión y absorción. El docente puede apoyarse en esquemas y representaciones gráficas para explicar la formación del color.

Propósito:

Comprender el color desde la física, reconociendo el papel de la luz y sus características.

Sugerencias para el docente:

Relacionar los conceptos físicos con las observaciones realizadas en la fase de exploración.

Actividad 3: Comprensión fisiológica de la percepción del color

Fase: Conceptualización

Descripción:

Se trabaja con esquemas del ojo humano y la retina para explicar el proceso de percepción del color y el rol de los fotorreceptores.

Propósito:

Reconocer que la percepción del color depende de procesos fisiológicos y no únicamente de las propiedades físicas de la luz.

Sugerencias para el docente:

Utilizar representaciones visuales sencillas que faciliten la comprensión de los procesos biológicos.

Actividad 4: Integración de modelos físicos y fisiológicos

Fase: Integración

Descripción:

Los estudiantes comparan los modelos físicos y fisiológicos del color, elaborando esquemas o explicaciones escritas que relacionen ambos enfoques.

Propósito:

Construir una explicación interdisciplinar del color que integre estímulo físico y experiencia perceptiva.

Sugerencias para el docente:

Fomentar la discusión y el análisis crítico sobre los alcances y limitaciones de cada modelo.

Actividad 5: Aplicación del conocimiento a nuevas situaciones

Fase: Aplicación

Descripción:

Se proponen situaciones problemáticas relacionadas con el color, como la percepción cromática en pantallas, en obras artísticas o en distintos entornos de iluminación.

Propósito:

Aplicar los conocimientos integrados para interpretar y explicar fenómenos nuevos relacionados con el color.

Sugerencias para el docente:

Promover la argumentación y la explicación fundamentada en los modelos trabajados durante la secuencia.

Estas actividades sugeridas permiten ejemplificar cómo puede desarrollarse una enseñanza del color desde un enfoque interdisciplinar en la educación media. La guía didáctica se concibe como una herramienta flexible y orientadora, que busca apoyar al docente en la construcción de experiencias de aprendizaje significativas y conceptualmente integradas.

Bibliografía

AdmiralHood. (2010). *RGB Additive Model* [Imagen animada]. Wikimedia Commons.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RGB_Additive_Model.gif

Bravo, B., & Pesa, M. (2011). La interdisciplinariedad en la enseñanza de las ciencias.

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 8(1), 34–45.

<https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2693>

Bravo, B., Pesa, M., & Pozo, J. I. (2010). Concepciones de los estudiantes sobre la luz y el color. *Revista de Educación en Ciencias*, 11(2), 45–60.

Cáceres, P. (2003). Análisis cualitativo de contenido: Una alternativa metodológica alcanzable. *Psicoperspectivas*, 2, 53–82.

<https://www.psicoperspectivas.cl/index.php/psicoperspectivas/article/view/3>

Camilloni, A. R. W. (2007). *El saber didáctico*. Paidós.

De la Villa, M. (2005). *Percepción visual*. UNED.

De la Villa, P. (2005). *Percepción del color*. Universidad Complutense de Madrid.

<https://eprints.ucm.es/id/eprint/13392/>

- Fuzzypeg. (2013). *CIE-1931 diagram in LAB space* [Imagen vectorial]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIE-1931_diagram_in_LAB_space.svg
- Goldstein, E. B. (2014). *Sensación y percepción* (8.^a ed.). Cengage Learning.
- Hewitt, P. G. (2010). *Física conceptual* (10.^a ed.). Pearson Educación.
- Mayer, R. E. (2004). *Psicología de la educación: Enseñar para un aprendizaje significativo*. Pearson Educación.
- Peña Vera, T., & Pirela Morillo, J. (2007). La complejidad del análisis documental. *Información, Cultura y Sociedad*, (16), 55–81. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17402007000100004
- Pérez Carpinell, J. (2012). *Color y percepción visual*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/16577>
- Pérez Carpinell, J. (2012). *El color: Guía práctica*. Blume.
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Morata.
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (2009). *Aprender y enseñar ciencia: Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Morata.
- SciolyKS. (2025). *Subtractive color model* [Imagen]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Subtractive_color_model.png
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2011). *Física para la ciencia y la tecnología* (6.^a ed.). Reverté.

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2011). *Física para la ciencia y la tecnología* (6.^a ed., Vol. 2).

Editorial Reverté.

UNESCO. (2017). *Educación científica para el desarrollo sostenible*. UNESCO.