

Del prisma de Newton a la wiphala. Aportes a la enseñanza y la divulgación de la física desde las relaciones ciencia-arte

From Newton's prism to the wiphala. Contributions
to the teaching and dissemination of physics from
science-art relationships

Lisbeth Lorena Alvarado-Guzmán^{1*} y Roberto Nardi¹

¹Facultad de Ciencias, Universidad Estadual Paulista, UNESP, Av. Eng. Luís Edmundo Carrijo Coube, 14-01 - Núcleo Res. Pres. Geisel, Bauru - SP, 17033-360, São Paulo, Brasil.

*E-mail: lisbeth.alvarado@unesp.br

Recibido el 15 de junio de 2021 | Aceptado el 1 de septiembre de 2021

Resumen

El objetivo de este artículo es presentar una propuesta para la enseñanza y la divulgación de la física, donde se consideran el prisma de Newton y la wiphala como artefactos culturales, que pueden contribuir en la indagación y a la creación de sentidos atribuidos a los colores, desde las relaciones entre la ciencia y el arte. Se realizó un análisis documental de textos de la historia de la óptica, la historia del arte e investigaciones sobre la wiphala y el arte indígena. Se concluye que las explicaciones sobre las relaciones entre la luz y el color requieren tener en cuenta el sistema observador-fuente de luz-objeto. Particularmente, el observador, visto más allá del ojo como mecanismo que recibe la luz, es un complejo sistema visual e histórico cultural que genera sentidos de lo que "ve" que sobrepasan la percepción óptica. En esta vía, el color, abordado desde las relaciones ciencia-arte y el diálogo de saberes, es un puente entre los conocimientos científicos y las cosmovisiones de los pueblos originarios de América Latina, ampliando y entrelazando la red de sentidos construidos en la vida cotidiana, el arte y las ciencias.

Palabras clave: Color; Newton y Goethe; Enseñanza de la óptica; Relaciones arte y ciencia; Diálogo de saberes.

Abstract

The objective of this article is to present a proposal for the teaching and dissemination of physics, where Newton's prism and the wiphala are considered as cultural artifacts, which can contribute to the inquiry and creation of senses attributed to colors, from the relationship between science and art. A documentary analysis was carried out with texts from the History of Optics, History of Art, and research on the wiphala and indigenous art. It is concluded that explanations about the relationship between light and color require considering the observer-light source-object system. In particular, the observer, seen beyond the eye as the mechanism that receives light, is a complex visual and cultural-historical system that generates senses of what it "sees" beyond optical perception. In this way, color, approached from the science-art relations and the dialogue of knowledge, is a bridge between scientific knowledge and the cosmovision of the native peoples of Latin America, expanding and intertwining the network of senses constructed in everyday life, art, and science.

Keywords: Color; Newton and Goethe; Teaching of Optics; Art and Science Relations, Dialogue of knowledge

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación procura ubicarse en la confluencia de la historia y filosofía de la ciencia (Matthews, 2017) y el diálogo de saberes en la enseñanza de las ciencias (Grajales y García, 2013). Así, frente a la pregunta “¿cómo establecer un diálogo de saberes entre los conocimientos ancestrales y científicos?”, se proponen puentes, en la enseñanza de las ciencias, entre los conocimientos científicos escolares y los conocimientos ancestrales (Chadwick y Bonam, 2018) de pueblos originarios latinoamericanos, desde las relaciones entre la ciencia y el arte (Reis, Guerra y Braga, 2006). Para desarrollar esta propuesta, se plantea que tanto la ciencia como el arte pueden ser vistos como sistemas culturales (Elkana, 1983; Geertz, 1993) en constante interacción con otros sistemas. Por tanto, frente a la pregunta “¿por qué es necesario este diálogo de saberes en el aula de Física y en los espacios de divulgación científica?”, se reconoce que el hombre se inscribe en entramados de significado que él mismo elabora, por lo cual, al interactuar y reconocer diferentes sistemas culturales, se avanza hacia una visión de la ciencia como actividad humana atravesada por la historia, hecha por sujetos y grupos sociales, en un contexto sociocultural y que obedece a tradiciones, prácticas y creencias.

El problema elegido en este caso fue la relación entre la luz y el color y para abordarlo se llevó a cabo una revisión documental de algunos textos de la historia de la óptica, particularmente los trabajos de Newton y Goethe, donde se resalta el papel del prisma en la estabilización del fenómeno de la refracción (Alvarado, 2017) y los colores como fuente de diversas interpretaciones, así como textos de la Historia del arte e investigaciones sobre la wiphala y el arte indígena.

El artículo se dividió en tres apartados: un análisis del modelo de visión: observador- objeto-fuente de luz (Gagliardi, Giordano, y Recchi, 2006); una revisión de las teorías sobre el color y la luz de Newton y Goethe (Cardona y Romero-Chacón, 2014), un acercamiento a los movimientos de arte indígena, claroscuro e impresionismo y, por último, una propuesta de divulgación científica que tiene como objetivo mostrar el color como un puente entre los conocimientos científicos y ancestrales a través del estudio de los colores del arcoíris y la construcción de sentidos desde el prisma de Newton y la wiphala. Se espera con esto, ayudar a tejer comprensiones, no dicotómicas sino complementarias, que puedan entrar en diálogo para ampliar el horizonte de los problemas asociados a la luz en la enseñanza de la óptica.

II. EL MODELO DE VISIÓN OBSERVADOR-OBJETO-FUENTE DE LUZ EN LA ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA

Desde la perspectiva de la filosofía de la ciencia y los trabajos de Ronald Giere (1992, 1999), se retoma la concepción de modelo cognitivo como una de las formas de representar los contenidos científicos. En estos trabajos, el modelo es caracterizado como una abstracción de segundo orden que se distingue del fenómeno físico y respeta la estructura sintáctica del sistema físico, modelándolo con términos teóricos y planteando relaciones funcionales y estructurales entre ellos (Aduriz-Bravo y Morales, 2002). Así, se reconocen dos niveles de representación, que están mediados por símbolos y sentidos que se otorgan a ellos, el primero es denominado sistema físico, que según (Aduriz-Bravo y Morales, 2002) citando a Duschl (1997) se puede ver como una representación de primer orden que da estructura al mundo de los fenómenos, transformando (organizando) los datos en evidencias, estableciendo un patrón y por lo tanto, ya supone una intervención del hombre por organizar su realidad para hacerla más aprehensible. Ya el segundo nivel de representación incluye teorías sobre los funcionamientos, propiedades y relaciones.

De esta concepción sobre modelos, es importante resaltar la función semiótica de la representación, es decir, el papel del lenguaje en la significación e intervención en el mundo. Así, el modelo tiene una parte en el mundo real y otra en la teoría científica (Hernández Silva e Izquierdo, 2017). Teniendo en cuenta lo anterior y atendiendo a la particularidad del modelo sobre la visión para la enseñanza de la Óptica, que es el objeto de estudio en este trabajo, es necesario distinguir entre modelos sobre visión y sobre la luz. El primero requiere la intervención de otros campos del saber cómo la anatomía, la neurología y la física, entre otros, mientras que los modelos, corpuscular y ondulatorio, sobre la luz en física, agrupan una amplia gama de fenómenos asociados a la entidad física denominada luz y sus interacciones con la materia.

Al ahondar entonces en los modelos sobre visión, se destaca el trabajo de Gagliardi, (2006) bajo el proyecto nacional de investigación SeCiF, que presenta el problema de la luz más allá de la óptica geométrica para la formación de profesores y propone la triada observador- objeto-fuente de luz como un sistema inseparable que hace posible explicar el hecho de que veamos. Uno de los problemas detectados fue la clásica idea sobre la visión, pues se cree que está es una acción pasiva que tiene lugar a través del ojo, simplificando el problema a la formación de imágenes en la retina. Al respecto, Gagliardi, Giordano y Recchi (2006) mencionan que “*La secuencia tradicional de enseñanza de la óptica reduce el proceso de la visión a un registro «pasivo» [...] sin embargo, desde una perspectiva cultural más amplia, esto se considera como un serio error conceptual.*” Por esta razón se hace necesario acudir a la fenomenología como un elemento que permita comprender desde la cotidianidad la complejidad del fenómeno óptico y salir de reduccionismos que fragmentan su comprensión. Por tanto, desde una perspectiva cultural y formativa, al reconocer los

fenómenos luminosos (Gagliardi *et al.*, 2006), se vinculan dos elementos centrales: luz y ojo, este último alejado de la clásica representación pasiva. Esto se torna importante pues el problema en sí no es el rayo de luz y su comportamiento al atravesar medios, sino todo el problema de la visión que vincula tanto al receptor (de manera activa) como al emisor o fuente de luz y elementos de corte cultural que permiten interpretar y dar sentido a la experiencia. Así, Gagliardi *et al.* (2006) afirman que

enseñar óptica significa guiar a los estudiantes desde sus percepciones y emociones cotidianas, sus modos indiferenciados de considerar la luz, la visión, la sombra, la oscuridad... hacia el punto de vista de la física, para que se den cuenta de que la óptica es uno, entre los múltiples puntos de vista construidos por la cultura para afrontar este tema (entre otros: religión, filosofía, geometría, astronomía, En el desarrollo del conocimiento científico (y no sólo científico) en los niños, así como también en el desarrollo histórico, el problema no es la «luz» en sí misma, sino la luz en su estrecha relación con el hecho de ver o de reconocer. (p. 140)

Atendiendo a lo anterior, el color podría ser un buen punto de partida para introducir estas relaciones entre luz, observador y fuente, pues juega un papel importante en la cotidianidad y en los vínculos con otras áreas de conocimiento como el arte. Driver y otros (1989, citados por Bravo y Pesa, 2005), al explorar las ideas que estudiantes entre 10 y 15 años tienen sobre el color, concluyen que no lo relacionan espontáneamente con la luz, pues se entiende más como una propiedad de los objetos, independiente de la luz. Avanzar hacia una comprensión del color sistémica y compleja, desde una perspectiva cultural, implica reconocer los elementos que intervienen en esta percepción psicofísica y los sentidos construidos alrededor de ella.

III. TEORÍAS ASOCIADAS AL COLOR: NEWTON Y GOETHE

El color ha sido, durante la historia de la humanidad, un elemento de interés y gran utilidad. Al pensar en la forma en que se sabe si una fruta está lista para comer, un animal representa un grave peligro o formas rápidas de establecer códigos como el de tránsito, el color se ha usado como información relevante. Frente a esto, las preguntas que surgen son: ¿qué es el color? ¿Cuál es la relación entre el color y la luz? Como mencionamos anteriormente, algunos trabajos como el de Feher y Meyer (1992) citados por Bravo y Pesa (2016) han encontrado que “*el color de los objetos es considerado una propiedad de los objetos que se mantiene bajo luz blanca y que la luz coloreada es oscura y contiene color que puede mezclarse con el del objeto*”.

Ahora se sabe que el color no es una propiedad de los objetos sino una sensación que se deriva de la interacción de nuestro sistema visual con la luz. Sin embargo, este hecho nos llevó bastante tiempo establecerlo y varios científicos de la llamada “era de las luces” se dieron a la tarea de elaborar teorías sobre el color y la luz. En este sentido, se resaltan los trabajos de Newton y Goethe, el primero tuvo gran influencia en la física y el segundo en las artes.

Algunos historiadores como Koyré y Lafuente, citados por Pimentel (2015) han mostrado la influencia que tuvo el trabajo de Newton, específicamente el tratado de la óptica, en las ideas sobre la luz y el método científico de la llamada era de las luces. Así mismo, su producción evidencia una fuerte influencia del contexto sociohistórico en el que se desarrolló, donde la luz era asociada a la verdad y la divinidad, tanto así que desde el siglo XIII los trabajos desarrollados en relación con la luz, fueron realizados por monjes dedicados a la explicación del fenómeno de la luz como parte de su cosmovisión sobre Dios y su relación con el hombre en la búsqueda de la verdad.

En esta vía, se destaca el trabajo de Teodorico de Friburgo (1250-1310) pues desarrolló un “laboratorio” para imitar la naturaleza y probar su modelo del arcoíris. Harré (1986), menciona:

En el dominio de la ciencia experimental, el estudio del arcoíris realizado por Teodorico es, a mi juicio, el más impresionante de los que han llegado desde aquel tiempo hasta nosotros. Además, en sus rasgos básicos, sigue siendo la explicación más aceptada de la formación del arcoíris. (p. 83)

El trabajo de Teodorico consistió en explicar la formación del arcoíris a partir de dos cuestiones: a) Los colores y su orden en el arcoíris b) la forma semiesférica del arcoíris. Retomando algunas ideas de Alberto de Magno (Harré, 1986), él propuso, que los colores que se forman en el arcoíris son producto de la refracción que existe en las gotas de agua al ser atravesadas por un rayo de luz solar. Hasta ese momento existían diferentes explicaciones atribuidas al arcoíris. Por ejemplo, para Aristóteles, éste se producía por la reflexión desde las gotas de lluvia recién formadas, que forman un “espejo mejor que la niebla” (Libro III, Aristóteles, tomado de Harre, 1986), Alberto Magno por su parte, proponía que el arcoíris se producía al interactuar la luz con cada una de las gotas. Sin embargo, él creía que los colores se formaban por algún tipo de estratificación en las gotas.

Volviendo al trabajo de Teodorico de Friburgo, se resaltan tres observaciones: 1) Los colores se producen en el centro de la gota, no en el ojo del observador. 2) En ocasiones, el arcoíris principal está acompañado de un arco

secundario, en el cual el orden de aparición de los colores es inverso al primero. 3) En el arcoíris, el color situado en lo más alto es el rojo y el más bajo es el azul. Para obtener este efecto a partir de una gota esférica, la luz tiene que refractarse en la superficie y reflejarse al interior de la gota. ¿Usted ha visto esto en un arcoíris? La próxima vez que este frente a uno, deténgase a evaluar estas observaciones.

Ahora, al abordar la explicación a los tonos que aparecen en el arcoíris se utiliza una hipótesis sobre la clasificación de los colores, esto es

...Teodorico creía que había cuatro colores radiantes, rojo, amarillo, verde y azul y eran distintos [...] el amarillo y el rojo son colores claros, y el verde y azul colores distintos. [...] Un prisma de cristal está más limitado cerca de la superficie, y menos limitado al profundizar en su interior, por tanto, el rayo que pase más cercano a su superficie será rojo, y el que pase más profundamente amarillo. En el caso de los colores oscuros, es la relativa opacidad del medio la responsable... (Harré, 1986, p. 85)

De la anterior cita es evidente la problematización sobre la naturaleza de los colores, esto es ¿qué distingue al amarillo del azul? Este es un problema que Newton abordó en la Óptica o Tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz. La primera edición de la Óptica de Newton divulgada tiene lugar en 1704, diecisiete años después de la primera edición de los Principia Filosófica Matemática. Sin embargo, su cátedra titulada lecciones de Óptica se desarrolla entre 1669 a 1671 y su primera carta a la Royal Society sobre cuestiones relacionadas con la luz se recibe en 1672¹.

En este tratado, Newton retoma una serie de experimentos cualitativos antes de desarrollar el experimento crucial con el prisma. En esta exploración, busca establecer la relación entre refracción de la luz y color. ¿Por qué? Descartes en la dióptrica (1637) afirmaba que la luz se movía como una presión transmitida a través de la materia sutil hasta la retina y que lo hacía más rápidamente en medios más densos, además de mostrar una clasificación de colores denominados enfáticos o aparentes, “los producidos mediante los prismas o por el arco iris” y los reales (los propios de los cuerpos, desvelados, pero no producidos por la luz” (Perales, 2015). Así, nuevamente aparece la clasificación de los colores y el criterio al parecer es la asociación a los cuerpos-objetos. Esto conecta con la idea extendida de que el color es una propiedad de los objetos. En oposición a esta idea, para Newton los colores son una propiedad no de los objetos, sino de los rayos de luz o la luz. Esta propiedad, denominada refrangibilidad, consiste en la desviación del rayo de luz, es decir su cambio de velocidad. Para establecer esto, define primero la unidad de la luz: el rayo de luz que tiene propiedades mecánicas y se comporta como una “pelota” con trayectorias lineales a menos de que un obstáculo se presente. Así, existe luz o rayos de luz homogéneos porque presentan la misma refrangibilidad y luz o rayos de luz heterogéneos a los que tienen diferente refrangibilidad. En palabras del propio Newton, la clasificación de colores es:

Llamo primarios, homogéneos y simples a los colores de la luz homogénea; y a los de la heterogénea los denomino heterogéneos y compuestos, pues, como se mostrará en lo que sigue, siempre están compuestos a partir de los colores de las luces homogéneas. (Solís, 1989, p. 8)

Como se puede evidenciar, para Newton el color es una propiedad de la luz o los rayos de luz, pues a diferentes grados de refrangibilidad, diferentes colores. En el caso de Newton, se problematiza la luz y no el medio por el que pasa. Esto es, ella tiene la propiedad de desviarse de un medio a otro. La luz blanca, al pasar por un medio se descompone en diferentes rayos de luz, todos con diferente grado de refrangibilidad.

El tratado de la Óptica de Newton marcó un camino para hacer Ciencia y tuvo impacto en muchos de sus contemporáneos y sucesores. En el caso de Goethe, el exponente por excelencia de la ilustración alemana replicó algunos de los experimentos sugeridos por Newton, generando una interpretación alejada de la postura newtoniana. Según Pimentel (2015) entre 1790 y 1810, Goethe desarrolló su trabajo sobre la teoría de los colores y la materializó en un texto titulado Zur Farbenlehre (A la teoría de los colores), compuesto por tres partes: a) la Didáctica, donde presenta sus ideas, b) la controversia con Newton y su óptica y c) la histórica, donde recoge documentos y escritos sobre la luz y los colores (Goethe, 1810/1992, citado por Pimentel, 2015).

En este trabajo de Goethe se resalta el énfasis por los fenómenos de la cotidianidad que se oponía a una comprensión de la luz y los colores netamente física y matematizada, por el contrario, resaltó la importancia de los colores en la vida cotidiana y en la experiencia del hombre. Frente al problema de la clasificación de los colores, postuló que existen colores fisiológicos, físicos y químicos. Los primeros, a los que les otorgó mayor importancia, son aquellos que tienen que ver con el órgano visual, aquellos que el ojo humano genera. Además, concibió al ojo humano como un hijo de la luz y afín al Sol (Goethe 1810/1992, citado por Pimentel, 2015), enfatizando el carácter activo de los sentidos, particularmente el de la vista.

¹ Se sugiere revisar las cartas de Newton disponibles en <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2014.0213>

Para el caso de los colores físicos, aquellos que eran producidos por el paso de la luz en un medio transparente o traslucido, como agua, vidrios, prismas, el color es explicado como interacción entre la luz y oscuridad. Así, los colores no forman parte de la luz sino, que son gradaciones del contacto entre luz y oscuridad (Pimentel, 2015). Esto se expresa en el círculo cromático, que ha sido tomado como la base de los trabajos sobre el color en el arte. Los colores que se ubican en el círculo cromático simétrico se oponen de acuerdo con su relación con la luz y la oscuridad, por eso el primer par es amarillo y azul, pues para él, el primer color está más cerca de la luz, mientras que el azul está más cerca de la oscuridad. El segundo par es el verde y el rojo, que son la mezcla de la luz y las tinieblas, sin embargo, el segundo tiene un significado mayor en la medida en que no se puede obtener por la mezcla de amarillo y azul. El último par es el naranja y el violeta. Por último, Newton enlista siete colores (Rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta), mientras que Goethe presenta seis (Amarillo, Azul, Rojo, Verde, Naranja y Violeta), así esta reducción llega a lo que hoy conocemos como los colores fundamentales Rojo, Verde, Azul.

Como se evidencia, los colores para Goethe tienen un significado más allá de lo matemático, comportan relaciones entre ellos de complementariedad y oposición. Según Mínguez García:

a diferencia de la rueda de colores newtoniana de los siete colores convencionales, el círculo de Goethe creado a partir del agrupamiento de colores por pares, representa una innovación crucial para la fecha, porque observamos por primera vez los términos de complementariedad de los colores además de que expresan en sí mismo por una parte, un sistema de armonía, porque por ejemplo, el azul armoniza con sus dos vecinos, el verde y el violeta y, por otra, contrasta o se complementa con su color opuesto, el naranja. (Mínguez García, 2011, p. 106)

Para finalizar, es interesante que la réplica de Goethe a Newton, en su concepción sobre la luz y los colores, se dio más de cien años después de la primera carta enviada por Newton a la Royal Society y sesenta y tres después de la muerte de Newton. También se reconoce que ambos trabajos son apuestas por comprender no solo la luz y explicar los fenómenos asociados a ella, sino una manera de comprender el desarrollo de la actividad científica, en un tema vigente por su importancia en la cotidianidad y en la construcción de conocimiento, como es el color.

A. Los colores y la luz en el arte. El claroscuro, el impresionismo y el arte indígena Latinoamericano

Según Perales (2015) la descomposición de la luz en la Ilustración significó una conquista heroica, un acto liberador y lleno de significado para la humanidad. En efecto, si nuestra relación con el mundo y todo cuanto conocemos, viene en gran medida de la luz y particularmente de esa reducida franja de espectro de luz visible con la que nuestro sistema visual entra en resonancia, es claro que descomponerla y ahondar en la comprensión de los fenómenos asociados a ella, nos acercan a una comprensión de nosotros mismos.

En la época del marcado humanismo, de mirar hacia la cotidianidad y denunciar las miserias de la guerra y el hambre, ya se habían acumulado desarrollos científicos que bien podrían evidenciarse en muchos campos como en el arte. Así se generaron obras que buscaban evocar sentimientos y generar emociones, sensaciones de espacio, temporalidad y divinidad. Las pinturas del movimiento Claroscuro mostraron un uso de la luz para llamar la atención del espectador en personajes y acciones, así como sensaciones de volumen. Por ejemplo, algunos historiadores del arte consideran el trabajo de Caravaggio como pionero en el tratamiento de la luz (Flores, 2003). Sus trabajos se caracterizaron por ser escenas de un realismo trágico en donde la relación entre luz y sombra es protagonista. Según Reveron Álvarez (2015), Caravaggio *“con su luz y color consigue que lo humano y lo divino se encuentren.”*

En el caso de Joseph Wright o Derby, que también utiliza la técnica del claro oscuro, se encuentra que los temas son científicos, sus escenas parecen fotografías de eventos divulgativos donde se tratan temas científicos, con un énfasis en las actitudes, sensaciones y sentimientos de los espectadores. Así, Dominiczak (2002) menciona respecto del trabajo de Joseph:

‘Un experimento con el pájaro’ es una de las pinturas clave que marcan la ‘cientificación’ de la sociedad. Cuando se creó la pintura, aún no había surgido un científico como profesional; los individuos implicados en la experimentación todavía se llamaban filósofos. (traducción propia)²

Por otro lado, uno de los periodos más destacados de la pintura se da con el movimiento impresionista que surge a finales del siglo XIX en Francia y tiene interesantes repercusiones en diferentes campos desde la música a la psicología. Según Martínez Rivas (2009) una de las características del grupo denominado impresionistas era:

² El texto original es *“An Experiment with the Bird” is one of the key paintings that mark the ‘scientification’ of the society. When the painting was created, a scientist as a professional had not yet emerged; individuals involved in experimentation were still called philosophers.*

...captar el instante único que se produce en función de la variación de la luz, era su principal objetivo, pero para lograrlo hacía falta una técnica adecuada, aplicada con rapidez, para que no se esfumase esa impresión única e irrepetible. (Martínez Rivas, 2009)

Por tanto, los impresionistas no solo revolucionaron con sus temas, desnudos, cotidianidad, sino con la técnica, pues con la posibilidad de trasladar su taller a cualquier parte y llevar las pinturas al aire libre, era posible pintar más rápidamente y captar la luz en un instante. También se destaca el uso del color, jugando con los contrastes y la complementariedad, esto es: se dieron cuenta de que se daba una impresión más intensa y clara de un color cuando se juntan en la superficie del cuadro manchas de otros colores puros que se mezclan en los ojos del observador (Martínez Rivas, 2009). Aquí empieza a problematizarse el papel del observador en lo que ve, pues al ver las pinturas desde cerca, parece que son manchas de color sin sentido, pero poco a poco al tomar distancia del cuadro y evocar formas, el espectador “define” la forma que ve, interpreta.

Por otro lado, en Latinoamérica, y particularmente al dirigir nuestra mirada al arte indígena, se encuentra una estrecha relación entre los colores y las cosmovisiones de los pueblos originarios. Este arte, alejándose de visiones occidentales de belleza y estética parametrizadas, se consolida como una expresión cultural y de resistencia milenaria, así como parte de la defensa de la memoria histórica de los pueblos indígenas. Esto es:

El arte indígena desde la cosmovisión ancestral es depositario de las tradiciones, usos y costumbres, raíces culturales a través de las cuales mujeres y hombres de los pueblos indígenas expresan y reproducen, no solo sus legados ancestrales milenarios, sino sus pensamientos como forma de resistencia étnica cultural para la conservación y pervivencia como pueblos legendarios. (Jiménez, Mendoza y Mendoza, 2016, pp. 93-94)

Particularmente, llama la atención algunos pueblos indígenas andinos que adoptaron en sus símbolos los colores del arcoíris y que en su cosmovisión tiene un lugar muy relevante este fenómeno natural. Un ejemplo de estos pueblos en Colombia es el pueblo Inga que se acento en el Valle del Sibundoy, en Putumayo, y quienes son considerados descendientes de los incas que llegaron a la región³ en el proceso de expansión de su imperio. Así, uno de sus artistas más destacados es Carlos Jacanamijoy (Villamil, 2011), quien en sus obras trae la mirada propia de sus raíces ancestrales y los sentidos sobre la relación entre la naturaleza y el hombre.

IV. WIPHALA Y PRISMA DE NEWTON. PROPUESTAS PARA LA ENSEÑANZA Y DIVULGACIÓN DE LA FÍSICA

La relación entre ciencia y arte ha sido explorada de muchas formas y en diferentes periodos históricos. Por ejemplo, en la búsqueda de la ilustración por un hombre conocedor y humanista, encontramos varios felices encuentros en donde una ha influenciado positivamente a la otra. Así, podemos comprender que estos vínculos están en la matriz de la creación y significación humana. Por tanto, al pensar en una propuesta formativa y de divulgación científica, la búsqueda que se emprende es por nuevos significados, que generen miradas amplias, complejas e incluyentes. A propósito de lo anterior, Grajales y García (2013) se preguntan ¿Cómo establecer un diálogo de saberes entre los conocimientos ancestrales y científicos? A lo cual se agrega el cuestionamiento ¿Por qué es necesario este diálogo de saberes en el aula de física y en los espacios de divulgación científica? Pues bien, el reconocimiento de los diferentes saberes que pueden converger en un aula de física también es un reconocimiento de los sujetos que construyen conocimiento y una lucha en contra del etnocentrismo epistemológico. Reconocer la riqueza de las diversas epistemologías y sujetos de conocimiento presentes en Latinoamérica es parte de democratizar el conocimiento y generar formas inclusivas de dar sentido e interactuar en y con el mundo. Por tanto, el diálogo de saberes, que implica sujetos que dialogan, se caracteriza principalmente por el reconocimiento del otro, el contexto y la interacción que potencia el cambio y la puesta en escena de diferentes realidades. (Grajales y García, 2013).

En este caso particular, la wiphala y el prisma de Newton se sugieren como objetos culturales bajo los cuales se tejen sentidos asociados a las relaciones entre luz y color, bajo el cuestionamiento de lo que conocemos. La figura 1 muestra los cuatro elementos de la propuesta que tienen en común los colores: el arcoíris, la wiphala, el experimento crucial de Newton y la rueda del color de Goethe.

El prisma ha tenido una resignificación a lo largo de la historia de las ciencias, pues en principio era considerado un simple juguete que producía bellos colores y decoraba los salones en la Europa victoriana, o parte de los instrumentos de un mago, pero luego, al llevarlo al laboratorio, se transformó en un instrumento para cuestionar la naturaleza y características de la luz. En este camino, fue protagonista de múltiples controversias, pues en el caso del trabajo de Newton, se reconocía que para generar los efectos que mencionaba él, era necesario un prisma de una calidad

³ Esta información es extraída de <https://www.onic.org.co/pueblos/1105-inga> el 18 de mayo del 2021.

excepcional y con una transparencia que solo era posible con una técnica de vidrio muy avanzada, lo cual generó dudas en el carácter crucial del experimento del prisma, así como su replicabilidad (Schaffer, 2011). Algunas preguntas que emergen y podrían guiar nuestras reflexiones con el prisma son: ¿Qué ocurre con la luz al pasar por el prisma? ¿Qué colores puedo identificar al descomponer la luz en el prisma? ¿Estos colores coinciden con los colores del arcoíris? ¿Qué significado evoca cada color? ¿Se puede reducir la cantidad de colores básicos y con ellos generar toda la gama de colores que podemos percibir? ¿los colores blanco y negro, como se producen?

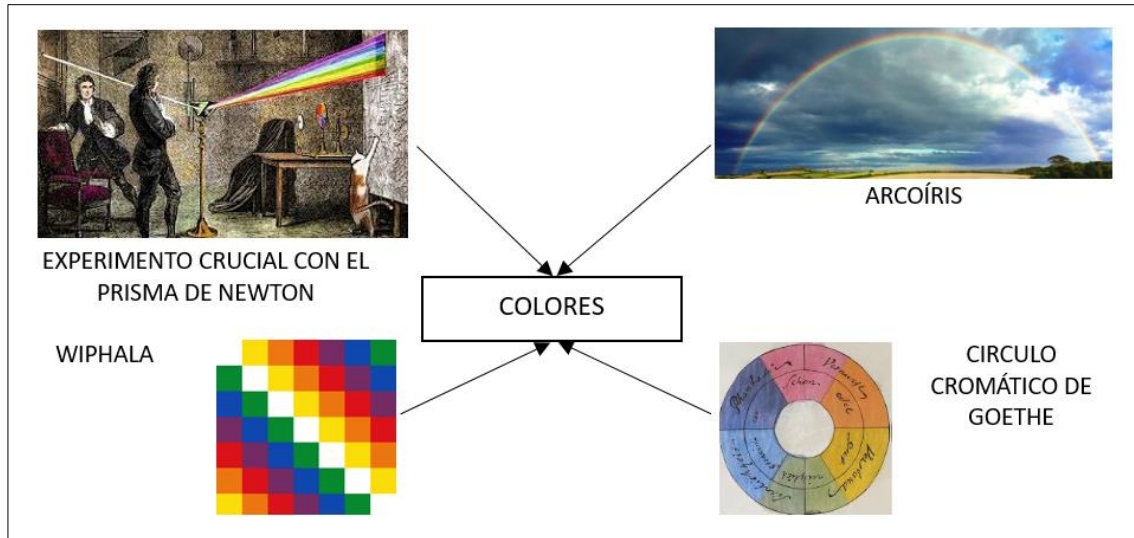


FIGURA 1. Cuatro elementos relacionados por los colores.

La wiphala, por su parte, ha sido reconocida en Latinoamérica como un símbolo de los pueblos indígenas. Es claro que este símbolo se posicionó en el siglo veinte como parte del movimiento y protestas de los quechuas y aimaras en contra de la marginalización social y con el propósito de identificarse con la cosmovisión precolombina en oposición a la mestiza-colonizada (Magdalena y Śniadecka-kotarska, 2010). Este símbolo que está presente en Perú, Chile, Argentina, Bolivia, Ecuador y Colombia, países por los cuales se extiende la cordillera de los Andes, consta de 7 columnas y 7 filas (49 cuadros), que a su vez conforman un cuadrado, donde el color blanco ocupa la diagonal y los demás cuadros constituyeran una combinación de verde, azul, violeta, rojo, naranja y amarillo. En este símbolo se sintetiza una cosmovisión compleja que Inka Chupiwanka, citado por Magdalena y Śniadecka-kotarska, explica así:

La wiphala abarca y refleja las estructuras más importantes y los principios organizativos de las sociedades precolombinas, es decir la unión de la comunidad y la relación del hombre con la naturaleza y el mundo, todo lo cual constituiría una cosmovisión específica: la importancia de la luna y el sol, la riqueza de la tierra y el agua, la claridad y la oscuridad, el movimiento y la inmovilidad, la uniformidad y la diferencia, la vida y la muerte, la vitalidad y la pasividad, la guerra y la paz, la masculinidad y la feminidad. (2010, p. 9)

Como se evidencia, esta cosmovisión hace énfasis en la relación entre el hombre, la naturaleza y los otros. Al explorar el significado de cada uno de los colores se encuentra que el rojo simboliza el planeta Tierra; El naranja representa la sociedad y la cultura; El amarillo es la energía y fuerza (cha'ama pacha), expresión de los principios morales, es la doctrina del Pachakama y Pachamama; el blanco es el tiempo y la dialéctica (jaya pacha); El verde que representa la economía y la producción andina, riquezas naturales de la superficie y el subsuelo, la flora y fauna que son un don; El azul es el espacio cósmico, el infinito (araxa pacha); El violeta representa la política y la ideología andina⁴. Como se puede ver, la búsqueda por los sentidos que evocan los colores nos lleva desde explicaciones científicas hasta cosmovisiones de los pueblos indígenas. Así como Newton y Goethe reconocen el rojo, amarillo, verde, azul, naranja y violeta como colores del arcoíris, así también la wiphala reconoce estos colores y los dota de sentidos sobre lo trascendente en la vida del hombre en la tierra. Por tanto, en esta propuesta convergen saberes científicos, que buscan avanzar de una idea común del color como una propiedad a una explicación sistémica donde el observador, la fuente y el objeto interactúan para que podamos percibir el color, y saberes de pueblos originarios que muestran en un fenómeno que todos podemos apreciar, como se pueden tejer sentidos que cuestionan aspectos de nuestras relaciones con la naturaleza y el reconocimiento del otro. Es pues, un aporte a una educación para la paz.

⁴ Para más información, se sugiere revisar el enlace <https://pueblosoriginarios.com/sur/andina/aymara/whipala.html>

V. CONCLUSIONES

Reconocer el papel que juega la luz y las concepciones sobre el color en la configuración de una imagen de mundo requiere tener en cuenta el sistema observador-fuente de luz-objeto. En esa vía, el observador es más que el ojo como mecanismo, es un complejo sistema visual e histórico cultural que genera sentidos de lo que “ve”. Así, el color, visto desde las relaciones ciencia-arte y el diálogo de saberes, se propone como un puente entre los conocimientos científicos y las cosmovisiones de los pueblos originarios de América Latina, ampliando y entrelazando la red de sentidos construidos en la vida cotidiana, el arte y las ciencias. Con esto se espera romper con las dicotomías epistemológicas y volver sobre aquellos fenómenos como el arcoíris, los colores de los alimentos, el color del cielo, que han exigido teorías interdisciplinarias y que muestran un carácter flexible, dinámico y sistémico del conocimiento.

Por tanto, la propuesta de formación y divulgación resalta el lugar como observadores activos de los fenómenos y la forma en que se entretienen sentidos extraídos de diversos sistemas culturales que están en constante interacción, para convivir y tener una vida armónica. El diálogo que se propone establecer entre los desarrollos científicos y las concepciones sobre la luz y el color en el arte, así como las cosmovisiones de los pueblos originarios, complejiza y complementa la mirada sobre el color y la luz. Sin embargo, muchas otras relaciones quedan por fuera y será el maestro con sus estudiantes, en la lectura del contexto y las necesidades formativas del espacio donde se inscribe su práctica, que posibilitará el diálogo de saberes entre las y los sujetos. Por último, se espera en una próxima investigación, avanzar en la implementación de la propuesta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/PROAP) y al Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por el apoyo al desarrollo de esta investigación. La primera autora agradece a la Asociación Iberoamericana de Posgrados (AUIP) y a la Facultad de Ciencias de la Universidad Estadual Paulista (UNESP) por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo mediante la beca de doctorado N° CNPJ 00.889.834/0001-08.

REFERENCIAS

- Adúriz-Bravo, A., & Morales, L. (2002). El concepto de modelo en la enseñanza de la Física-consideraciones epistemológicas, c] didácticas y retóricas. *Caderno Brasileiro de ensino de Física*, 19(1), 79-91.
- Alvarado-Guzmán, I (2017). El papel de la experimentación en los discursos sobre la refracción de la luz: elementos para la formación de profesores de ciencias naturales. Tesis de maestría. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Bravo, B., Pesa, M. (2005). Concepciones de alumnos (14–15 años) de educación general básica sobre la naturaleza y percepción del color. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 10(3), 337–362.
- Calvo, I. (2012). *Cuatro aproximaciones a la teoría de los colores de Johan Wolfgang von Goethe*. Diseña Dossier.
- Chadwick, G., Bonam, L. (2018). Educación científica intercultural: tendiendo puentes conceptuales sobre las Pléyades en el Gran Chaco. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (43), 17-29
- Cardona, E. T., Romero-Chacón, Á. E. Newton y Goethe: entre sombras y luz. Un análisis histórico-crítico de perspectivas sobre los fenómenos cromáticos (2014). Documento presentado en la *III Conferencia Latinoamericana del International, History and Philosophy of Science Teaching group IHPST*. Santiago de Chile
- Dominiczak, M. (2002). Science, Alchemy and Light: Paintings by Joseph Wright of Derby. *Clinical chemistry and laboratory medicine : CCLM / FESCC*, 40(1), 74-7. Doi: 10.1515/CCLM.2002.015.
- Elkana, Y. (1983). La ciencia como sistema cultural: una aproximación antropológica. *Boletín de la sociedad colombiana de epistemología*, 3(10-11), 65-80.
- Flores, R. V. L. (2003). *Caravaggio y Giordano Bruno: Modelos de disidencia y modernidad*. Boletín de arte, (24), 131-162.

Gagliardi, M., Giordano, E., & Recchi, M. (2006). *Un sitio web para la aproximación fenomenológica de la enseñanza de la luz y la visión. Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 139-146

Grajales, Y. y García, E. (2013). Conhecimentos ancestrais e o conhecimento científico: Rumo a uma necessidade de um diálogo de saberes no ensino de ciências naturais. Documento presentado en el *IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC*. Águas de Lindóia, São Paulo, Brasil.

Harré, R. (1980). Las causas del Arco Irís. En *Grandes experimentos científicos* (págs. 83-91).

Hernández Silva, C., & Izquierdo i Aymerich, M. (2017). Formaciones semióticas en libros de texto: uso de modelos para interpretar fenómenos ondulatorios. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 3881-3888.

Mínguez García, Hortensia. (2011) Teoría del color. Material docente inédito de la Maestría en Estudios y Procesos Creativos en Arte y Diseño (MEPCAD), *cap. IV, Los sistemas métricos del color*. Origen, historia y desarrollo, (pp. 105-106). En Teoría del Color. <http://teoriadelcoloruacj.blogspot.com/>

Jiménez, M., Mendoza, C., & Mendoza, K. (2016). El arte de la mujer indígena colombiana: Expresión de resistencia cultural. *Artes en femenino: Investigaciones situadas y performances colaborativos*, 89-113.

Magdalena, S., Śniadecka-kotarska, M. (2010). Acerca de la insólita carrera de la bandera Wiphala. *Estudios Latinoamericanos*, 30, 7–24.

Rivas, A. M. (2009). Breve introducción del Impresionismo. *Revista de Clases historia*, (3), 1.

Newton, I., Solís, C. (1977). *Óptica o tratado de las reflexiones refracciones inflexiones y colores de la luz*/sir Isaac Newton, introducción, traducción, notas e índice analítico Carlos Solís. Madrid: Alaguara.

Pimentel, J. (2015). Teorías de la luz y el color en la época de las Luces. De Newton a Goethe. *Arbor*, 191(775), 264.

Reis, J. C., Guerra, A., & Braga, M. (2006). Ciência e arte: relações improváveis? *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 13, 71-87.

Reverón Álvarez, E. (2015). *Tras la huella de Caravaggio*. Pintores de la luz en la Europa del siglo XVII. Repositorio institucional de la Universidad de La Laguna. URL: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/1297>

Schaffer, S. (2011). *Trabajos de cristal*. Madrid: Marcial Pons Historia.

Villamil, Y. (2011). Visiones Mágicas : Colores de identidad Investigación creación sobre El Color en la Cultura Inga del Valle del Sibundoy. *El Artista*, 8, 1–24. <https://www.redalyc.org/pdf/874/87420931010.pdf>