

Construcción de efectos sobre el fenómeno de la radiación ultravioleta desde una perspectiva fenomenológica e histórico crítica.

Leidy Dayanna Diaz Amado

lddiaz@unal.edu.co

Directora: Marina Garzón Barrios

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Bogotá D.C, 2025

Dedicatoria

Con gran amor y orgullo dedico esta tesis a mi hermosa madre, quien con su fuerza y dedicación me enseñó a construir mis sueños. Mi madre que con su ejemplo me ha enseñado valentía y me ha inculcado principios que han forjado mi ser, es a quien va dirigido el gran esfuerzo de este trabajo.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi madre que siempre me apoyo y animó a que yo fuera la primer mujer de la familia en conseguir un título universitario. Agradezco sus palabras de aliento y de sabiduría que han sido el bálsamo en los momentos difíciles.

Agradezco a mi asesora, la Dra. Marina Garzón Barrios que con su gran conocimiento y experiencia, orientó y apoyo cada una de mis inquietudes científicas y filosóficas. Agradezco su asesoría y apoyo en todo este proceso, como también todo lo que logré aprender bajo su acompañamiento.

Agradezco a los laboratoristas del departamento, al personal del centro de documentación, como también al encargado del centro de computación, quien con el apoyo de su madre guiaron una parte de mi trabajo.

Finalmente agradezco a Russell quien con su apoyo emocional y compañía incondicional acompañó todas las noches en vela y mis momentos de crisis al realizar este trabajo.

Tabla de contenido

Introducción.....	8
Capítulo 1. Planteamiento de pregunta, objetivo y diseño metodológico.....	12
1.1 Pregunta de investigación.....	12
1.2 Objetivo general.....	12
1.3 Objetivos específicos.....	12
1.4 Antecedentes.....	12
1.5 Diseño metodológico.....	15
1.5.1 La perspectiva de la fenomenología hermenéutica como marco metodológico.....	16
1.5.2 La perspectiva de los estudios histórico-críticos como marco metodológico.....	17
1.6.3 Metodología para el registro de la experiencia situada: efectos experimentales y diálogo con los textos.....	21
Capítulo 2. Reconstrucción histórico-crítica sobre la radiación ultravioleta.....	23
2.1 Rayos coloreados en la época de Newton.....	23
2.2 Rayos calóricos de Herschel: el poder calórico de los rayos coloreados.....	25
2.3 Seebeck y la estabilización del fenómeno de los rayos calóricos.....	31
2.4 Rayos químicos y la percepción de un efecto diferente al térmico.....	37
2.5 Becquerel y la estabilización del fenómeno de los rayos químicos.....	47
Capítulo 3. Construcción de efectos sensibles.....	54
3.1 Actividad perceptual: efecto químico.....	54
3.1.1 Efecto químico mediante sales de plata.....	55
3.1.2 Efecto químico a través de Cianotipia.....	60
3.2 Actividad perceptual: efecto de fluorescencia.....	65
3.3 Actividad perceptual: Efecto visual de fosforescencia.....	72

Capítulo 4. Propuesta experimental.....	75
4.1 Actividad experimental 1.....	75
4.2 Actividad experimental 2.....	76
4.3 Actividad experimental 3.....	80
4.4 Actividad experimental 4.....	84
4.5 Actividad experimental 5.....	87
5. Conclusiones.....	90
6. Bibliografía.....	93
7. Anexos.....	97
Traducción libre del texto <i>Über das Sonnenlicht</i>	97

Tabla de figuras

Figura 1. Ruta metodológica.....	22
Figura 2. Descomposición de la luz blanca en el espectro visible.....	23
Figura 3. Espectro de variación cromática.....	24
Figura 4. Experimento de William Herschel para medir el efecto térmico de los rayos infrarrojos.....	25
Figura 5. Espectro de variación de temperatura.....	26
Figura 6. Contraste entre la capacidad de calentar e iluminar.....	27
Figura 7. Acciones en regiones invisibles.	29
Figura 8. Organización de la acción química.....	42
Figura 9. Identificación del efecto químico en comparación con las diferentes acciones de la luz.....	42
Figura 10. Rayos excitadores y rayos continuadores según Becquerel.....	51
Figura 11. Materiales y químicos para la construcción del papel salado.....	55

Figura 12. Montaje experimental para la exposición del papel salado a la fuente de luz ultravioleta.....	56
Figura 13. Secuencia del proceso de impresión sobre el papel salado.....	58
Figura 14. Registro temporal de la exposición del papel salado a la luz ultravioleta artificial...59	
Figura 15. Químicos necesarios para la cianotipia.....	60
Figura 16. Materiales necesarios para el efecto con la cianotipia.....	61
Figura 17. Reporte del índice de radiación ultravioleta	62
Figura 18. Registro temporal de papel sensibilizado con cianotipia.....	62
Figura 19. Comparación del tiempo de exposición después del lavado y del secado.....	63
Figura 20. Pasos para obtener la muestra de clorofila.....	66
Figura 21. Comparación visual de efecto de las muestras 1,2 y 3 bajo luz blanca y luz ultravioleta.....	67
Figura 22. Comparación visual de efecto de las muestras 4,5 y 6 bajo luz blanca y luz ultravioleta.....	67
Figura 23. Alcohol isopropílico puro expuesto a luz ultravioleta.....	69
Figura 24. Análisis visual comparativo de la exposición del extracto de clorofila a diferentes tipos de luz.....	69
Figura 25. Espectro de absorción de la clorofila a y b.....	71
Figura 26. Polvo fosforescente utilizado para la construcción del efecto.....	72
Figura 27. Mezcla fosforescente bajo luz natural ambiente.....	72
Figura 28. Condiciones de distancia entre la mezcla y las fuentes de luz.....	73
Figura 29. Análisis visual comparativo del efecto de fosforescencia.....	74

Tabla de tablas

Tabla 1. Registro de la variación de temperatura en los rayos coloreados según Herschel (1800).....	26
Tabla 2. Registro de la variación de temperatura en regiones más allá de los rayos coloreados Herschel (1801).....	28
Tabla 3. Variación del efecto térmico en distintas regiones del espectro según la serie de experimentos 21-30 Seebeck (1819), organizados del violeta al rojo.....	33
Tabla 4. Resultados experimentales obtenidos mediante la réplica del actinómetro electroquímico de Becquerel.....	49

Introducción

En Colombia la enseñanza-aprendizaje de la Física está orientada hacia el desarrollo de *habilidades científicas*, y según los lineamientos curriculares del Ministerio de Educación Nacional (MEN) para las ciencias naturales y la educación ambiental, es necesario retomar “el mundo de la vida”, planteado por el filósofo Edmund Husserl (1936). Según estos lineamiento del MEN (2006) “*Cualquier cosa que se afirme dentro del contexto de una teoría científica (y algo similar puede decirse de cualquier sistema de valores éticos o estéticos), se refiere, directa o indirectamente, al mundo de la vida en cuyo centro está la persona humana.*” (p. 6). En este sentido, las y los maestros están llamados a reflexionar sobre la articulación entre la experiencia que se da en el mundo de la vida y las formalizaciones conceptuales de la Física.

Bajo estos lineamientos del MEN, la educación científica es fundamental para el desarrollo de la sociedad colombiana, ante lo cual surge la pregunta: ¿qué significa educación científica? Al respecto, Arcà et al. (1990), como cita Garzón (2024), señalan que:

La educación científica significa desarrollo de modos de observar la realidad, y de modos de relacionarse con la realidad; que esto implica y supone los modos de pensar, los modos de hablar, los modos de hacer, pero sobre todo la capacidad de juntar todos estos aspectos.
(Arcà et al., 1990, pp. 24-25)

Estos diferentes modos que señalan Arcà *et al.* (1990) surgen estando *en el mundo* y en contextos situados, es decir, en el mundo de la vida. Esta visión de educación científica no se agota en una formación para la ciencia, sino que también se convierte en una educación para la ciudadanía (Ayala, 2006; Garzón, 2024).

Bajo esta necesidad de recuperar el mundo de la vida y, en particular, la experiencia en el contexto educativo, el marco epistemológico que se asume en esta monografía es *la fenomenología*. Este marco ofrece un horizonte epistemológico que reivindica el papel de la experiencia en la construcción de conocimiento, lo que sin duda está directamente relacionado con la enseñanza-aprendizaje de la Física (Chaparro, *et al.*, 1996). Desde la perspectiva fenomenológica, el eje central del conocimiento es la experiencia del sujeto que conoce, experiencia en la cual los *efectos observables de manera directa* son fundamentales para construir conocimiento sobre los fenómenos físicos. Toda vez que desde la perspectiva fenomenológica: “*soy la fuente absoluta*

que hace posible un ser para mí, [...] soy yo quien recorre con mi mirada el mundo: un mundo se ordena en torno mío y empieza a existir para mí” (Merleau-Ponty, 1993, pp. 8–9). En consecuencia, la experiencia directa de los fenómenos, vivida por un “yo” determinado y situado, adquiere una relevancia central en los contextos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Ahora, el campo de los fenómenos que estudia la física es muy diverso, por lo cual el fenómeno aquí elegido es la *radiación ultravioleta*. Este tipo de radiación corresponde a una franja del espectro electromagnético más allá de la franja visible; por lo cual, se vuelve necesario identificar cómo se organizó inicialmente este fenómeno a principios del siglo XIX. Comprender como es dado el fenómeno de la radiación ultravioleta a la experiencia, pese a su carácter “invisible”, permite la reflexión fenomenológica que se busca, la cual consiste en reivindicar el papel de la experiencia en la construcción de conocimiento. Además, direcciona este trabajo hacia la construcción de efectos que puedan ser reproducidos en contextos educativos, con el fin de traer a la experiencia el fenómeno de la radiación ultravioleta.

Lo anterior plantea la pregunta: ¿Cómo hacer visible la radiación ultravioleta, que es directamente invisible al órgano visual humano? A través de una revisión histórica se puede reconocer que, si bien este fenómeno de la radiación ultravioleta no produce sensaciones lumínicas directas en la retina, o sensaciones directas en otro órgano sensorial humano, puede “hacerse visible” mediante la producción de efectos, como lo son: la fluorescencia, la fosforescencia, efectos fotoquímicos, el efecto eléctrico, entre otros. Es en este punto donde la *actividad experimental* cumple un papel fundamental en la producción de los efectos que puedan dar cuenta del fenómeno.

Además de la dificultad de ser un tipo de radiación no visible directamente, también hay otro tipo de dificultades al llevar actividades experimentales al aula de este fenómeno, como lo son: corresponde a una región del espectro electromagnético que necesita especial manejo debido a sus efectos negativos para la piel y los ojos; se requiere uso de químicos de especial manejo y de difícil acceso.

Por otro lado, los docentes de Física se enfrentan también, con diversas dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje, como por ejemplo:

- Lograr establecer conexiones entre los conocimientos teóricos de la física con los intereses y experiencias cotidianas de los estudiantes.
- El desarrollo de habilidades científicas.
- Estructuras de razonamiento y representación de los fenómenos, y conceptos que se abordan en la física.
- Desarrollo de procesos de argumentación frente a las descripciones o explicaciones sobre las actividades prácticas que se realizan en el aula.

Frente a las mencionadas dificultades se considera que éstas no se logran superar desde perspectivas de enseñanza tradicional, como lo son: ejercicios de final de capítulo de libros de física, o prácticas de laboratorio descontextualizadas, o memorización de fórmulas matemáticas. Ya que, esta enseñanza por transmisión amplía la brecha entre los saberes teóricos-prácticos y los intereses de los estudiantes, limitando el desarrollo de actitudes positivas hacia los temas científicos tratados en el aula (Acevedo, 2004; Ayala, 2006; Sandoval *et al.*, 2018; Garzón, 2024). Este panorama evidencia la necesidad de replantear los marcos epistemológicos tradicionales de transmisión y memorización, donde el papel de la experiencia del estudiante es pasivo.

Por esta razón, la presente monografía se propone recuperar la percepción directa con el mundo, como fundamento del proceso de conocer, mediante la construcción de efectos que puedan ser llevados al aula. Con esto se espera ofrecer una alternativa para la enseñanza – aprendizaje del fenómeno de la radiación ultravioleta, al reflexionar sobre los siguientes aspectos:

- 1) El papel de la experiencia como fundamento en la construcción del conocimiento en física, destacando su carácter activo y constitutivo en los procesos de enseñanza-aprendizaje.
- 2) Los procedimientos experimentales que han permitido organizar y conceptualizar el fenómeno de la radiación ultravioleta.
- 3) El contexto histórico que brinda herramientas para identificar el lugar epistemológico dónde surgen las preguntas y los paradigmas que llevan al origen de las teorías científicas.

Se considera que los anteriores aspectos son esenciales para dotar de significado el mundo físico y sus conceptualizaciones. Lo cual conduce necesariamente a reflexionar sobre ¿Cómo se organizó históricamente el fenómeno de la radiación ultravioleta?, esto permite comprender la

génesis histórica y experimental de su organización, lo cual fomenta una conexión más profunda con los conceptos científicos que están a la base (Matthews, 1989; Gramajo & Ayala, 1996; Ayala, 2006). La reflexión de cada uno de estos aspectos contribuye a la construcción de efectos sobre el fenómeno de la radiación ultravioleta, que permitan identificar cambios perceptualmente sensibles que pueden ser replicados en contextos educativos.

De este modo, la presente monografía se organiza de la siguiente manera. En el **Capítulo 1** se expone el diseño metodológico de este trabajo, que articula la perspectiva fenomenológica hermenéutica con los estudios histórico-críticos, que guía la interpretación de los textos originales y la sistematización de la experiencia en la construcción de los efectos. Dicha metodología ha sido empleada con éxito en investigaciones como la desarrollada por Garzón (2024).

En el **Capítulo 2**, se desarrolla el estudio histórico-crítico en torno a los efectos de la radiación ultravioleta, a partir de la revisión y el análisis de los siguientes textos originales: *Ueber die ungleiche Erregung der Wärme im prismatischen Sonnenbilde* —Sobre la excitación desigual del calor en la imagen solar prismática— (1819) de Thomas Johann Seebeck; *Über die Sonnenstrahlen* —Sobre la luz solar— (1803), de Johann Wilhelm Ritter; y *Mémoire sur le rayonnement chimique qui accompagne la lumière solaire et la lumière électrique* —Memoria sobre la radiación química que acompaña a la luz solar y a la luz eléctrica— (1842), de Edmond Becquerel.

En el **Capítulo 3** se presenta el proceso de construcción de los efectos asociados al fenómeno de la radiación ultravioleta. A partir de la revisión histórico-crítica, se identifican y desarrollan los siguientes efectos: efecto químico, efecto de fluorescencia y efecto de fosforescencia. Asimismo, en este capítulo se realiza una discusión fenomenológica de la experiencia en primera persona de la autora de la presente monografía, en relación con cada uno de los efectos construidos.

Posteriormente, en el **Capítulo 4** se estructura la propuesta experimental de aula, dirigida para estudiantes de grados 10° y 11° de educación media. Finalmente, se presentan las **Conclusiones** y los **Anexos**, en los anexos se incluye la traducción libre del texto de Ritter: *Über die Sonnenstrahlen* de 1803, con el fin de que pueda ser consultada en trabajos futuros.

Capítulo 1. Planteamiento de pregunta, objetivo y diseño metodológico

El presente trabajo de grado indaga sobre los efectos del fenómeno de la radiación ultravioleta con el fin de identificar rutas de trabajo experimental para contextos de aula en la enseñanza-aprendizaje de la física.

1.1 Así, la **pregunta de investigación** que guía este trabajo es:

¿Cómo construir una propuesta de enseñanza de carácter experimental sobre el fenómeno de la radiación ultravioleta, enfocada en efectos visibles, a partir de estudios histórico-críticos?

1.2 En este sentido el **objetivo general** consiste en:

Construir efectos perceptualmente visibles, desde una experiencia en primera persona, que posibiliten la organización del fenómeno de la radiación ultravioleta desde la experiencia, con el fin de fundamentar una propuesta experimental de enseñanza desde una perspectiva fenomenológica e histórico-crítica.

1.3 Objetivos específicos

- ✓ Reconstruir críticamente el proceso histórico - experimental que, a principios del siglo XIX, permitió la percepción y la organización del fenómeno de radiación ultravioleta.
- ✓ Producir efectos visibles del fenómeno de la radiación ultravioleta, teniendo como guía la actividad experimental descrita en los textos originales de Johann Wilhelm Ritter (1776 - 1810), Tomas Johann Seebeck (1770 - 1831) y Edmond Becquerel (1820 - 1891).
- ✓ Identificar cómo la producción de efectos visibles y la organización de la experiencia del fenómeno de la radiación ultravioleta operan como mediadores cognitivos en la construcción de significados sobre el fenómeno de la radiación ultravioleta.
- ✓ Estructurar una propuesta experimental de enseñanza del fenómeno de la radiación ultravioleta que pueda ser reproducida en el aula.

1.4 Antecedentes

Además de los textos originales que se abordan en el Capítulo 2, el historiador Jérôme Fatet constituye un referente internacional para la revisión histórica desarrollada en dicho capítulo. Asimismo, se llevó a cabo una búsqueda en el contexto colombiano, especialmente en instituciones orientadas a la formación docente, con el fin de delimitar la revisión de

antecedentes. Los criterios de selección de estos antecedentes incluyeron investigaciones centradas en la enseñanza de las regiones invisibles del espectro electromagnético, así como estudios que abordan aspectos de la perspectiva fenomenológica y revisiones histórico-críticas. A partir de esta revisión, se identificó que los trabajos más relevantes fueron desarrollados en el Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Por esta razón, el presente apartado se enfoca en la recopilación y el análisis de dichas investigaciones.

En el estado del arte sobre la enseñanza de la radiación electromagnética se encuentra Campos y Granados (2012)¹ quienes abordaron diferentes franjas del espectro electromagnético, entre ellas la ultravioleta, desde una perspectiva interdisciplinaria. Estos autores concluyeron que es necesario abordar problemáticas sociales como la contaminación invisible desde los escenarios de la enseñanza de la física. Además, señalan las dificultades derivadas del acceso a materiales experimentales por sus costos o restricciones de uso. Si bien, ellos abordan la radiación ultravioleta, lo hacen a través de sus efectos negativos para el ser humano, quedando pendiente sus beneficios y su relevancia para los sistemas vivos en la tierra.

Por su parte, Redondo, (2016)² diseñó y organizó experimentos en el aula para poder abordar la enseñanza de la radiación infrarroja, buscando disminuir la brecha entre el conocimiento común y el conocimiento científico. Redondo, concluye que su propuesta didáctica acerca a los estudiantes a la comprensión de la radiación infrarroja de manera más vivencial y práctica, resaltando la actividad experimental y el reconocimiento de los contextos socio-culturales; sin embargo, no aborda la región ultravioleta del espectro electromagnético.

Por otro lado, Moreno (2017)³ analiza cómo la luz invisible infrarroja puede ser percibida mediante la temperatura, y así construir a través de una propuesta experimental la relación entre la luz y el calor radiante. En este trabajo se concluye que el análisis teórico-epistemológico de los trabajos de William Herschel permitieron romper con la concepción de productos terminados de la ciencia, permitiendo reflexionar sobre los contextos, problemáticas y la actividad científica. Además, concluye que esta revisión histórica le proporcionó a él como maestro en formación

¹ Granados, G. & Campos, J. D. (2012). *Comprendiendo los efectos de la contaminación invisible. Una propuesta para la enseñanza de la radiación a nivel básico y medio*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/2104>

² Redondo, C. A. (2016). *En busca de lo invisible: una propuesta para la enseñanza de la radiación infrarroja en grado noveno*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/2035>

³ Moreno, C. C. (2017). *Radiación térmica: construyendo la identidad entre luz y calor*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/9925>

hacer construcciones que favorecieron su propuesta de enseñanza. Sin embargo, este trabajo sólo hace referencia a los trabajos de Herschel y la región infrarroja.

Rodríguez (2021)⁴, propone una ruta para enseñar la relación radiación y temperatura en la clasificación estelar, mediante variaciones experimentales de temperatura, color y brillo. Enfocando su trabajo en las organizaciones semánticas que construyen los estudiantes. El autor destaca la importancia de la enseñanza del fenómeno de la radiación en el aula, el papel central de la experiencia en los procesos de aprendizaje de los estudiantes y la importancia de las construcciones lingüísticas que realizan los estudiantes de los fenómenos físicos. Torres, (2021)⁵ aborda la transferencia de calor por radiación térmica y realiza una revisión histórica de los experimentos de William Herschel; donde concluye que la revisión de textos originales permite contextualizar la construcción de conocimiento como un producto humano e histórico; además, que la actividad experimental permite la construcción de conceptos en torno a la transferencia de calor por radiación térmica. Sin embargo, en estos dos trabajos mencionados sólo se aborda la región infrarroja del espectro electromagnético, quedando por abordar la región ultravioleta.

Otros trabajos, como los de García (2023)⁶ y Jiménez (2023)⁷ exploran el efecto fotoeléctrico a través de sustancias químicas fotosensibles expuestas a la radiación ultravioleta. Además, realizan una revisión histórico-crítica de textos originales de Edmond Becquerel (1820 - 1891), Heinrich Hertz (1857 - 1894) y Jérôme Fatet (1977-); lo que favorece la producción de efectos que posteriormente son llevados al aula. Sus resultados son importantes para esta monografía en tanto que son un referente en la construcción de efectos —como el eléctrico— asociados a la interacción entre sustancias y la radiación ultravioleta.

En relación con los aportes de la perspectiva fenomenológica a la enseñanza, destacamos el trabajo de Sanabria (2016)⁸ quién utiliza las figuras de Chladni para explorar otras fenomenologías del sonido más significativas para estudiantes sordos. Este autor concluye que

⁴ Rodríguez, J. A. (2021). *La radiación a través de la variación de la temperatura-color-brillo: una ruta para la enseñanza-aprendizaje en grado séptimo*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/17070>

⁵ Torres, J. S. (2021). *La actividad experimental, su papel en la construcción de conocimiento científico y en la enseñanza de las ciencias: el caso de la transferencia de calor por radiación térmica*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/17061>

⁶ García, L. Y. (2023). *Análisis de la luz a partir de su interacción eléctrica: una propuesta experimental para generar conocimientos sobre el efecto fotoeléctrico*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/18592>

⁷ Jiménez, J. C. (2023). *Una aproximación experimental al estudio sobre el fenómeno de la transformación de la luz en electricidad con sustancias fotosensibles*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/19485>

⁸ Sanabria, J. S. (2016). *El aula inclusiva como un escenario de reflexión para la enseñanza de la Física: la fenomenología del sonido*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/2154>

la fenomenología es una perspectiva valiosa para la enseñanza de la física, porque pone de manifiesto que mediante *percepciones diversas* se puede construir conocimiento de un mismo fenómeno. Además, concluye que se pueden construir conceptos distintos según el órgano sensorial con el cual se percibe el fenómeno. Esta diversidad de modos de darse los fenómenos a la percepción es de vital importancia en la presente monografía, ya que el objetivo de construir efectos invita a reflexionar sobre las distintas maneras en que la radiación ultravioleta puede darse a la experiencia y, por tanto, a la comprensión.

En conjunto, los trabajos descritos anteriormente constituyen referentes importantes para comprender los aportes del análisis histórico-crítico al diseño de propuestas de aula y la potencia de la actividad experimental en la construcción de significados, en tanto que desde la perspectiva fenomenológica el centro son las experiencias perceptivas de los sujetos. Sin embargo, quedan caminos por construir en relación con la enseñanza-aprendizaje de la radiación ultravioleta y con la revisión de otros investigadores de principios de siglo XIX que aportaron en la organización del espectro electromagnético.

En contraste, el presente trabajo se orienta hacia otro tipo de efectos que no se han abordado en anteriores trabajos, tales como la fluorescencia, la fosforescencia y los efectos fotoquímicos. Además, se considera que esta tesis aporta a la enseñanza de la Física mediante el análisis histórico-crítico de textos originales en torno a la organización del fenómeno de la radiación ultravioleta, abordando científicos como Johann Wilhelm Ritter (1776 - 1810), Thomas Johann Seebeck (1770 - 1831) y Edmond Becquerel (1820 - 1891). Esta revisión de los textos originales no sólo permite reflexionar sobre los modos de aparición del fenómeno en la experiencia de estos científicos, sino que también ofrece orientaciones conceptuales y metodológicas para la construcción de los efectos sensibles y la propuesta experimental que en esta monografía se propone.

1.5 Diseño metodológico

Autores como Matthews (1989, citado en Garzón, 2024) y Gramajo (1998) sostienen que la historia de las ciencias y la historia de la filosofía desempeñan un papel fundamental en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias; por esta razón, el enfoque histórico constituye un eje central en el diseño metodológico de la presente monografía. El segundo eje metodológico de este trabajo se inscribe en el marco de la fenomenología. Etimológicamente, el término

«fenomenología» deriva del griego *phainómenon* (φαινόμενον), que significa “lo que aparece”, y *lógos* (λόγος), que se traduce como “estudio” o “ciencia”. En este sentido, la fenomenología puede entenderse como la ciencia de los fenómenos, es decir, el estudio de lo que se *aparece en* la experiencia humana. Desde esta perspectiva, la fenomenología constituye un marco favorable, en tanto que destaca el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento (Chaparro, *et al.*, 1996; Garzón, 2024).

Los anteriores ejes metodológicos convergen en la fenomenología hermenéutica, la cual es una perspectiva que orienta el análisis de textos originales antiguos. Por otro lado, la sistematización de la experiencia se ubica en la experiencia propia de la autora de este trabajo, docente en formación, con el fin de favorecer las intencionalidades pedagógicas para una propuesta experimental que pueda ser llevada al aula.

En este sentido, el presente marco metodológico permite que la experiencia directa de los efectos de la radiación ultravioleta sean el punto de partida para la construcción del conocimiento, como alternativa a un abordaje exclusivamente teórico en la enseñanza de este fenómeno.

1.5.1 La perspectiva de la fenomenología hermenéutica como marco metodológico

Uno de los objetivos específicos de esta monografía es realizar una revisión de textos originales, y la fenomenología hermenéutica de Hans-Georg Gadamer ofrece un marco para lograrlo. Para Gadamer (1977), comprender el pasado implica una *conciencia histórica abierta*, y lo que satisface esta conciencia es siempre una pluralidad de voces con las que resuena el pasado (p. 353). Para este filósofo la historia siempre está abierta a nuevas interpretaciones y esto permite que siempre existan nuevos marcos para comprender el pasado. Por ello, volver a textos originales es un proceso de diálogo, de interpretar y reinterpretar sucesos del pasado; lo cual sólo es posible bajo una visión de la historia como siempre abierta a la comprensión.

En continuidad con esta idea de diálogo con el pasado, un aspecto fundamental de la hermenéutica es que no busca adoptar una postura de "no-posición", propia de la figura del pensador absoluto que pretende acceder a una verdad inmanente. Al respecto Gadamer (1977) afirma:

La pretensión de suspender todos los prejuicios para alcanzar una comprensión puramente objetiva es en sí misma un prejuicio. La conciencia histórica no elimina los prejuicios, sino que toma conciencia de ellos y de su función en la comprensión. (Gadamer, 1977, p. 272).

Desde esta perspectiva, la comprensión histórica implica un diálogo, un dejarse interpelar por el pasado, que permite que se construyan horizontes de sentido compartidos con el pasado y con el presente. Por lo tanto, desde la hermenéutica, toda interpretación es un *comprender situado* que se configura en el encuentro con la alteridad del pasado (Gadamer, 1977). Este comprender situado es propio de los planteamientos fenomenológicos y es una de las razones del porqué la hermenéutica está inscrita en la fenomenología. Además, distanciarnos de la visión de no-posición tiene implicaciones pedagógicas relevantes, toda vez que invita a pensar la acción pedagógica desde una perspectiva interpretativa situada, enraizada en el territorio y en la experiencia concreta del mundo.

En este sentido, la hermenéutica Gadameriana orientó esta monografía hacia la revisión de textos originales, no con el fin de lograr una traducción fiel, ni una reproducción exacta de los experimentos o del pensamiento de la época; sino para entablar un diálogo interpretativo. La intencionalidad fue abrir horizontes de sentido compartidos con el pasado, de manera que esta reflexión hermenéutica aportó a la construcción de los efectos del fenómeno de la radiación ultravioleta.

En coherencia con lo anterior, la perspectiva propuesta por la hermenéutica de Gadamer converge con la necesidad de recuperar el contexto histórico, tanto para los análisis filosóficos como para los análisis de la ciencia y de los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física. Una estrategia metodológica que complementa esta visión hermenéutica, son los análisis histórico-críticos que se han desarrollado en contextos particulares de la ciencia y no sólo de la filosofía. El análisis histórico-crítico ofrece herramientas para abordar los primeros estudios sobre la radiación ultravioleta, rastreando las experiencias iniciales y las primeras configuraciones experimentales que se construyeron con efectos directamente perceptuales.

1.5.2 La perspectiva de los estudios histórico-críticos como marco metodológico

Los estudios histórico-críticos no son ajenos a los planteamientos hermenéuticos; por el contrario, convergen en múltiples puntos. Ayala (2006) sostiene que los estudios histórico-críticos son un modo de rescatar los argumentos del pasado, lo cual se convierte en una

herramienta fundamental para la recontextualización de saberes desde las problemáticas de nuestro tiempo. Este proceso posibilita una renovación del pensamiento y la posibilidad de analizar problemáticas desde nuevas miradas, razón por la cual los estudios histórico-críticos trascienden un mero ejercicio historiográfico.

En este marco, resulta pertinente preguntarse: ¿qué se entiende por recontextualización de saberes? Ayala (2006) la define como:

La recontextualización de saberes es entonces una actividad constructiva y dialógica en busca de elementos para la elaboración o solución de un problema o la construcción de una imagen de una clase de fenómenos, que depende inevitablemente de los intereses, conocimiento y experiencia de quienes la realizan (Ayala, 2006, p. 11).

Bajo esta perspectiva, el análisis histórico-crítico mediante procesos de recontextualización, permite la construcción de formas alternativas de representación y comprensión del fenómeno de la radiación ultravioleta, a partir de la reflexión sobre los *modos* en que este fenómeno fue organizado en el pasado. Lo cual no se distancia del marco hermenéutico; por el contrario, Gadamer (1977) sostiene que el diálogo con la tradición —con el pasado— no es de carácter *reproductivo*; por el contrario, es *productivo*. En este sentido, la reflexión histórico-crítica orienta la producción de efectos del fenómeno de la radiación ultravioleta que aquí se propone, acorde con los recursos actuales, tanto tecnológicos como conceptuales, de manera pertinente para el contexto colombiano y sus necesidades educativas específicas. En este sentido, diversos autores han destacado que el retorno a las fuentes primarias enriquece las prácticas pedagógicas, al incorporar una dimensión histórica y cultural; entre ellos se encuentran Granés y Caicedo (1997), Ayala (2006) y Garzón (2024), cuyos planteamientos respaldan la pertinencia del análisis histórico-crítico en procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física.

Por otra parte, el análisis histórico-crítico permite reflexionar sobre la existencia de múltiples modos mediante los cuales el ser humano organiza su experiencia del mundo fenoménico, antes de su formalización teórica. Este momento de organización inicial resulta crucial para el desarrollo de la comprensión de las teorías científicas. Así, desde los estudios histórico-críticos y la hermenéutica, se propone volver a los procesos de construcción del conocimiento científico a través del análisis de textos originales, con el fin de recontextualizarlos en los contextos de enseñanza.

En el caso particular de la radiación ultravioleta, este análisis consistió en abordar algunos textos originales de Johann Wilhelm Ritter, Thomas Johann Seebeck y Edmond Becquerel. La elección de estos científicos y no otros, responde a una revisión histórica inicial orientada a identificar quienes contribuyeron de manera significativa a las primeras percepciones y formas de organización de este fenómeno. De esta revisión se desprende que Ritter abre el camino al mostrar que la luz posee el *poder* de producir efectos químicos incluso en regiones donde no ilumina, es decir, en una zona invisible del espectro. Posteriormente, Seebeck retoma y sistematiza las experiencias de Ritter y de Herschel en torno a los *poderes térmicos y químicos de la luz*. Finalmente, Becquerel amplía la comprensión del efecto químico sobre sustancias fotosensibles expuestas a la región ultravioleta. Si bien otros científicos del siglo XIX abordaron el estudio de la radiación ultravioleta, en la presente monografía se circunscribe el análisis a estos tres científicos en particular.

Los textos originales que en particular son analizados en esta monografía son:

- *Über die Sonnenstrahlen* —Sobre la luz solar— (1803), de Johann Wilhelm Ritter.
- *Mémoire sur le rayonnement chimique qui accompagne la lumière solaire et la lumière électrique* —Memoria sobre la radiación química que acompaña a la luz solar y a la luz eléctrica— (1842), de Edmond Becquerel.
- *Ueber die ungleiche Erregung der Wärme im prismatischen Sonnenbilde* —Sobre la excitación desigual del calor en la imagen solar prismática— (1819), de Seebeck.

En el primer texto original, se recogen algunas de las conclusiones a las que llegó Ritter a partir de sus experiencias con sales de plata expuestas a regiones del espectro situadas más allá del violeta visible. En el segundo texto, Edmond Becquerel presentó también diversas experiencias de exposición de sales de plata a distintas regiones del espectro conocidas en su época, incluyendo la luz visible, la radiación infrarroja y la radiación ultravioleta. Se considera que el diálogo entre los textos de Ritter y Becquerel complementan la comprensión de la organización de la radiación ultravioleta, en la medida en que en los textos de Ritter, a los que se logró tener acceso, no se presentan descripciones detalladas de los desarrollos experimentales, sino principalmente las conclusiones de sus investigaciones. Por su parte, Becquerel ofrece una descripción más sistemática y detallada de sus procedimientos experimentales, lo cual favorece

el análisis de las condiciones experimentales y de los efectos observados. Finalmente, el texto de Seebeck permite una reflexión en torno a la estabilización de los fenómenos.

La *pregunta histórica* que guía la revisión de estas fuentes originales es: ¿cómo fueron esas primeras organizaciones de la experiencia del fenómeno de la radiación ultravioleta? Desde esta perspectiva, se buscó reconstruir los horizontes de sentido que emergen de dichos textos desde la propia situación presente, para así recuperarlos no como meros registros históricos, sino como *testimonios vivos* del pasado. Estos testimonios permiten la construcción de efectos directamente perceptibles del fenómeno de la radiación ultravioleta, a partir de los cuales se elaboró una propuesta experimental orientada a su enseñanza-aprendizaje.

De este modo, en coherencia con el marco fenomenológico-hermenéutico aquí presentado, los criterios de análisis de los textos seleccionados se orientan a privilegiar la comprensión de los modos en que estos autores organizaron su experiencia del fenómeno de la radiación ultravioleta. En primer lugar, se atiende a la descripción de las experiencias y a la manera en que los fenómenos se hacen visibles o sensibles para los investigadores, identificando qué efectos de la luz son considerados relevantes y bajo qué condiciones estos aparecen. Este criterio permite comprender cómo el fenómeno emerge inicialmente en la experiencia a través de sus efectos, antes de consolidarse en formulaciones conceptuales. En segundo lugar, se identificaron las formas de organización conceptual presentes en los textos, tales como las distinciones entre distintos tipos de rayos, las nociones de acción, excitación o continuidad, la distinción entre los rayos, así como el lenguaje empleado para dar cuenta de los fenómenos que exceden el ámbito de lo visible, toda vez que una forma de entender las formas de organización es a través de un “hablar de los fenómenos” —carácter enunciativo— (Chaparro, *et al.*, 1996). Finalmente, a partir de estos análisis, se desarrollaron estrategias orientadas a la construcción de efectos y propuestas experimentales, mediante la recontextualización de las experiencias registradas en los textos originales, con el fin de favorecer una aproximación experiencial al fenómeno en el aula.

En síntesis, la metodología aquí adoptada permite articular las dimensiones histórica, experimental y pedagógica, en coherencia con investigaciones como la de Garzón (2024). Este marco metodológico posibilita rutas para la construcción de los efectos aquí propuestos, como también la oportunidad de construir nuevos horizontes de sentido en torno a la radiación ultravioleta. Los efectos que se construyeron en el presente trabajo mediante el uso de sales de

plata, cianotipia, fluorescencia de la clorofila y fosforescencia, se convierten en una oportunidad para hacer visible lo invisible, proponiendo una forma de construcción de conocimiento científico fundamentada en lo fenoménico.

1.6.3 Metodología para el registro de la experiencia situada: efectos experimentales y diálogo con los textos

A partir de la articulación metodológica antes descrita, se hace necesario explicitar el modo en que la experiencia fue registrada y reflexionada en primera persona. Desde una perspectiva fenomenológica, el sujeto que percibe y organiza su experiencia no se encuentra fuera del mundo ni es separable del proceso de construcción del conocimiento; por el contrario, su experiencia es lo que permite dicho proceso. En este sentido, el registro de la experiencia se asume desde el carácter situado de la docente en formación, reconociendo que hay dos dimensiones de esta experiencia, a saber, la experiencia en la construcción de los efectos y la experiencia del diálogo interpretativo con los textos originales. Dos dimensiones que no son instancias separadas, por el contrario, son modos de una misma experiencia fenomenológica.

A la luz de lo anterior, se muestra a continuación una serie de fases e instrumentos cualitativos de registro fenomenológico, alineados con la necesidad de recuperar los modos en que el fenómeno aparece y se configura para un sujeto situado. Las fases e instrumentos son los siguientes:

- **Descripción cualitativa y reflexiva de la experiencia.** En esta fase se realizó un registro continuo de la experiencia experimental mediante un diario perceptual. En dicho diario se consignaron las condiciones experimentales, las percepciones visuales asociadas a los efectos observados y las reflexiones que emergieron a lo largo del proceso. Estos registros permitieron reconstruir y sistematizar el proceso de aparición del fenómeno en el transcurso de la experiencia.

Además en esta fase, se emplearon registros fotográficos de los efectos sensibles del fenómeno, entre los cuales se incluyen la fluorescencia, la fosforescencia y efectos fotoquímicos. Desde una mirada fenomenológica, estos registros no se entienden como un mero soporte visual, sino como instrumentos que permiten identificar los modos de aparición del fenómeno bajo distintos tipos de luz, así como reconocer variaciones asociadas al contraste y al fondo utilizado en el registro.

- **Organización de la experiencia.** A partir de los registros fotográficos y del diario perceptual, se realizó una organización de la experiencia en primera persona mediante el lenguaje escrito. Esta fase buscó dar forma y coherencia a la *experiencia vivida*, articulando descripciones, reflexiones y observaciones en un relato que permitió comprender el proceso de la experiencia del fenómeno de la radiación ultravioleta.
- **Articulación con los textos originales.** Los registros escritos se ponen en diálogo con los horizontes históricos reconstruidos, a partir de la revisión histórico-crítica de los textos originales. Esta articulación permitió contrastar y enriquecer la experiencia presente con las formas pasadas de organización del fenómeno.
- **Propuesta experimental.** Finalmente, a partir de la construcción de los efectos, de la experiencia acumulada durante las fases anteriores y del diálogo con los textos originales, se elaboró una propuesta experimental accesible, reproducible e innovadora para su implementación en el aula.

La ruta metodológica se representa en la Figura 1, la cual inicia con la revisión hermenéutica y el análisis histórico-crítico de los textos originales. Posteriormente, se avanza hacia la construcción de los efectos del fenómeno de la radiación ultravioleta, a partir de un registro sistemático de la experiencia vivida en primera persona. Esta experiencia es luego organizada, para culminar en la elaboración de una propuesta experimental para los grados 10° y 11°.



Figura 1.Ruta metodológica.
Elaboración propia.

Capítulo 2. Reconstrucción histórico-crítica sobre la radiación ultravioleta

Antes de abordar los llamados *rayos químicos* —denominación empleada inicialmente para referirse a lo que hoy se conoce como radiación ultravioleta— conviene realizar una breve introducción a los otros rayos que formaron parte del proceso histórico de la organización de la luz, a saber, los *rayos coloreados* y los *rayos calóricos*.

2.1 Rayos coloreados en la época de Newton

En 1666, los experimentos de Isaac Newton (1642–1727) en el campo de la óptica le permitieron observar que, al hacer pasar la luz proveniente del sol a través de un prisma, ésta se descompone en un *espectro visible de colores* (Figura 2).

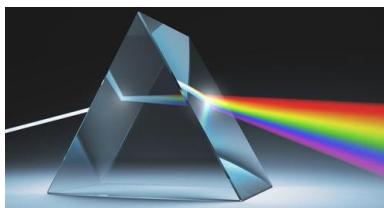
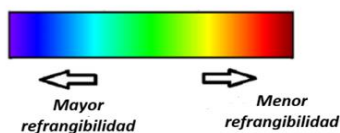


Figura 2. Descomposición de la luz blanca en el espectro visible. Fuente: Pequeños Alquimistas (2015), ¿Por qué aparece el color blanco? Recuperado el 10 septiembre de 2024 de <https://pequenosalquimistas.blogspot.com/2015/11/por-que-aparece-el-color-blanco.html>.

Al observar la descomposición de la luz en distintos colores, Newton identificó que cada uno de ellos se desviaba en un ángulo diferente al atravesar el prisma, lo que le permitió reconocer la *refrangibilidad*⁹ característica para cada rayo coloreado (Figura 2). Esta diferencia en la refrangibilidad daba lugar a un patrón visual ordenado y continuo de los colores, que se presentaban siempre en la misma secuencia: rojo, naranja, amarillo, verde, cian, azul y violeta. La organización de los rayos coloreados según la refrangibilidad se representa en la Figura 3.



⁹ En *Opticks: or, a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light* Newton dice: “La refrangibilidad de los rayos de luz es su disposición a refractarse o desviarse de su camino al pasar de un cuerpo o medio transparente a otro.” (Libro I, Parte I, Proposición II, Definición VI.) Traducción libre de la autora.

Figura 3. Espectro de variación cromática. Organización según la propiedad de refrangibilidad de los rayos coloreados.
Elaboración propia.

A partir de estas observaciones, Newton concluyó que la forma y disposición de los rayos coloreados no eran efectos producidos por el prisma, ni por el medio, sino consecuencias de una *propiedad intrínseca* de la luz (Granés, 1988). Al comprobar, además, que cada rayo coloreado no podía descomponerse nuevamente en otros colores, dedujo que la luz blanca estaba compuesta por estos rayos coloreados específicos.

Al respecto, Granés (1988) señala que el fenómeno de la dispersión de la luz blanca fue ampliamente estudiado en la época de Newton por diversos investigadores, entre ellos Robert Boyle (1627–1691) y Robert Hooke (1635–1703), lo que dio lugar a múltiples explicaciones sobre su naturaleza. Una de las concepciones sostenía que la luz era una *sustancia* o *entidad simple*, y que los rayos coloreados surgían como una modificación producida por el prisma o por el medio, sin pertenecer a la esencia misma de la luz (Granés, 1988, p. 18). Esta concepción se opone a la propuesta de Newton, quien afirmaba que los rayos coloreados no eran una alteración externa de la luz, sino componentes propios de ella. En consecuencia, la luz blanca no podía ser entendida como una sustancia simple, sino como compuesta de rayos con *propiedades diferenciadas*, por ejemplo su refrangibilidad.

La concepción newtoniana de la luz tuvo una gran influencia en las décadas posteriores. Su idea de que la luz está compuesta por los rayos coloreados tuvo gran aceptación, aunque la discusión sobre su naturaleza ondulatoria o corpuscular no se resolvió en ese momento —debate que en el siglo XIX volvería a tener relevancia—. Según Granés (1988), Newton no se comprometió plenamente con una interpretación corpuscular de la luz; en cambio, se centró más en los aspectos geométricos y matemáticos de estos *rayos*. Desde esta perspectiva, se consolidó un modo de investigar la luz a partir de su propagación, reflexión, refracción, inflexión y dispersión; mediante principios geométricos y matemáticos, característicos del pensamiento newtoniano y, en general, de la ciencia moderna.

Con este acotado recuento histórico sobre el sentido que tenían los rayos coloreados en la época de Newton, es posible avanzar hacia otro tipo de rayos, cuya aparición en la experiencia no estuvo asociada directamente al color visible, sino a *efectos de distinta naturaleza*. Iniciar el análisis por los rayos coloreados resultó pertinente para introducir una cuestión central para este trabajo, a saber: cuáles son los modos de reconocer la acción de la luz cuando esta no se presenta

directamente como un fenómeno cromático. Lo cual permite reconocer que la luz no se reduce sólo a aquello que *aparece* como color, sino que puede manifestar su *acción* de múltiples formas, es decir, *la luz tiene distintos modos de aparecer a la experiencia*. Hacia finales del siglo XVIII, mediante un experimento análogo al del prisma, comenzaron a explorarse otros efectos de la luz, como el térmico, indagando la capacidad de los rayos coloreados para producir calor.

2.2 Rayos calóricos de Herschel: el poder calórico de los rayos coloreados

La comprensión sobre la luz, sus modos de aparecer a la experiencia y sus propiedades se trasladaron de una aparición visual con los rayos coloreados a una aparición no visual con el efecto térmico. Quien exploró el efecto térmico de la luz fue William Herschel (1738–1822), quien estaba interesado en el *poder iluminador* de los rayos coloreados, porque estaba realizando observaciones solares con grandes telescopios y buscaba la forma más segura y efectiva para sus observaciones (Moreno, 2017; Torres, 2021). En los trabajos que venía desarrollando desde 1800, Herschel observó que los vidrios de distintos colores que usaba en sus observaciones con telescopio se calentaban de manera diferente; debido a esto Herschel pensó que había una distribución distinta de calor en cada rayo coloreado. Esto lo llevó a la conclusión de que no sólo los rayos coloreados tienen un *poder de iluminar* distinto sino también un *poder de calentar* distinto (Torres, 2021), con lo cual el estudio de la luz no se agotaba en lo directamente visible.

En sus experimentos, Herschel dispersó la luz solar mediante un prisma, de forma similar como lo había realizado Newton, y ubicó termómetros en los rayos coloreados del espectro visible, e incluso en regiones más allá de las visibles. Observó y registró cómo las temperaturas variaban según el color y su posición en el espectro. El montaje experimental realizado por Herschel se representa en la Figura 4.

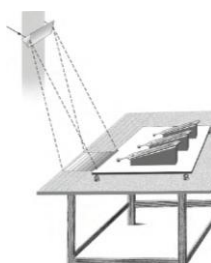


Figura 4. Experimento de William Herschel para medir el efecto térmico de los rayos infrarrojos. Recuperado de: S. Beeson & J. W. Mayer, *Patterns of Light: Chasing the Spectrum from Aristotle to LEDs* (p. 148), 2008, Springer.

Herschel realizó una serie de experimentos orientados a medir la variación de temperatura asociada a los distintos rayos coloreados. A partir de la traducción libre realizada por Moreno

(2017) del texto original de Herschel: “*Investigación sobre el poder de calentamiento e iluminación de los colores prismáticos, con observación del grado de diferencia de refrangibilidad del calor radiante*” (1800), se seleccionan los siguientes datos experimentales. Estos dan cuenta de los aumentos de temperatura observados en algunos de los rayos coloreados, y en especial en aquellos situados en los extremos del espectro, que son los más relevantes para el presente trabajo (Tabla 1).

Tabla 1. Registro de la variación de temperatura en los rayos coloreados según Herschel (1800). Selección y reelaboración a partir de los datos reportados por Herschel (1800), según la traducción libre de Moreno (2017).

Experimento	Rayo coloreado	Aumento temperatura	Tiempo
#1	Rojo	$6\frac{3}{4}$ de grados	8-10 minutos
#3	Verde	$3\frac{1}{4}$ de grados	8-10 minutos
#4	Violeta	2 grados	8-10 minutos

A partir de estos resultados, Herschel concluyó que el rayo rojo posee un mayor poder de calentar que el rayo violeta. Esta variación del efecto térmico a lo largo del espectro visible puede representarse como una distribución gradual del poder calórico, en la cual la temperatura registrada disminuye hacia el violeta y aumenta hacia el rojo (Tabla 1 y Figura 5)

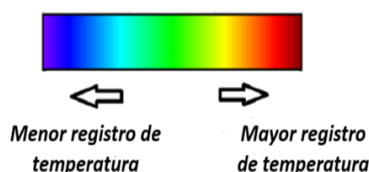


Figura 5. Espectro de variación de temperatura. Distribución de la variación del efecto térmico en el espectro visible: hacia el violeta el registro de temperatura es menor, mientras que hacia el rojo es mayor. Elaboración propia.

Con el reconocimiento del poder de calentar de los rayos coloreados, se da un desplazamiento en el modo de la diferenciación de la luz: de una propiedad accesible directamente a través de lo visual —el color— a una propiedad diferenciada en relación con la temperatura, accesible mediante la medición instrumental. En este sentido, el espectro deja de organizarse únicamente según la percepción cromática directa y pasa a organizarse también según el poder de calentar de cada rayo coloreado.

A partir de estos datos, Herschel se preguntó si ¿la capacidad de iluminar de cada rayo se distribuye del mismo modo que su capacidad de calentar? Es decir, si el rayo rojo posee el mayor

poder de calentar, entonces ¿tendrá también la mayor capacidad de iluminar? (Moreno, 2017) Tras llevar a cabo una nueva serie de experimentos, Herschel concluyó que los rayos coloreados que producen mayor iluminación no son los mismos que producen mayor calentamiento. A este respecto, afirmó:

Por lo tanto, no será irrelevante si indico aquí cómo llegué a la suposición de que el poder de calentar y el poder de iluminar pueden no estar distribuidos de la misma manera entre los rayos de color del Sol.¹⁰ (Herschel, 1801, p. 138)

Herschel concluye que los rayos coloreados que presentan mayor poder de iluminar no coinciden con aquellos que poseen mayor poder de calentar. En particular, él identificó que las regiones correspondientes al verde pálido y al amarillo son las que producen mayor iluminación (Moreno, 2017). El contraste entre ambos poderes —calentar e iluminar— se representa en la Figura 6, en la cual se compara el espectro de la variación de temperatura, con la región donde se localiza el mayor poder de iluminación.

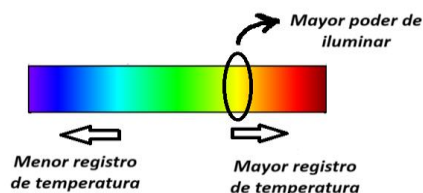


Figura 6. Contraste entre la capacidad de calentar e iluminar: Distribución en el espectro visible de la variación de temperatura en comparación con el poder de iluminación de los rayos coloreados. Elaboración propia.

Posteriormente, en la segunda serie de experimentos reportados en los *Annalen der Physik* de 1801, Herschel describe que al ubicar un termómetro *más allá* del rayo rojo visible — a una pulgada de distancia—, inicialmente como un termómetro de control situado fuera de los rayos coloreados, observó que éste no sólo registraba temperatura, sino que dicha temperatura era mayor que la registrada en cualquiera de los rayos coloreados del espectro visible. También ubicó un termómetro en el otro extremo del espectro visible —más allá del violeta—, donde no evidenció alteraciones significativas en la medida de temperatura. Según sistematización de los

¹⁰ Traducción libre del texto de Herschel, W. (1801). *Ueber die wärmende und die erleuchtende Kraft der farbigen Sonnenstrahlen*. *Annalen der Physik*, Vol.7, 137–156. Recuperado de: https://archive.org/details/sim_annalen-der-physik_1801_7/page/n139/mode/2up. En este mismo volumen se encuentra el anuncio oficial de Ritter del descubrimiento de los rayos químicos.

datos experimentales de Herschel por Torres (2021), se destacan los siguientes resultados experimentales¹¹ (Tabla 2)

Tabla 2. Registro de la variación de temperatura en regiones más allá de los rayos coloreados Herschel (1801).
Datos recopilados de Torres (2021, pp.15-21).

Experimento	Región del espectro	Cambio de temperatura	Tiempo	Distancia
#1	Más allá del rayo coloreado rojo	$6 \frac{1}{4}$ de grados	10 minutos	$\frac{1}{2}$ de pulgada
#8	Más allá del rayo coloreado rojo	$8 \frac{3}{4}$ de grados	16 minutos	$\frac{1}{2}$ de pulgada
#3	Más allá del rayo coloreado violeta	$\frac{1}{2}$ de grados	12 minutos	1 pulgada

A partir de los datos presentados en la Tabla 2, se destacan las siguientes conclusiones a las que llega Herschel:

- La variación tan pequeña que se registra en la región más allá del rayo coloreado violeta, se le atribuye al movimiento del aire y al cambio de temperatura de la habitación y no al poder de calentar de esta región (Torres, 2021, p. 16). En consecuencia, al no detectar un aumento térmico significativo más allá del violeta, Herschel concluye que *en esta región no existe un poder perceptible ni de iluminación ni de calentamiento*, a diferencia de lo observado en el extremo opuesto del espectro —más allá del rojo—.
- En particular, a partir del experimento número 8, en el cual se registró un aumento de $8 \frac{3}{4}$ de grados en la región más allá del rayo coloreado rojo, Herschel determina que el máximo poder de calentar se encuentra *fuera del espectro visible*, más allá del rayo coloreado rojo.

Las anteriores conclusiones se representan en la Figura 7.

¹¹ Los valores de temperatura corresponden a las unidades y condiciones de medición reportadas por Herschel (1800; 1801). En los textos originales no se especifica de manera explícita la escala del termómetro utilizado. En este contexto, Herschel se interesa principalmente por las variaciones relativas de temperatura entre las distintas regiones del espectro, más que por la determinación de valores absolutos en una escala estandarizada.

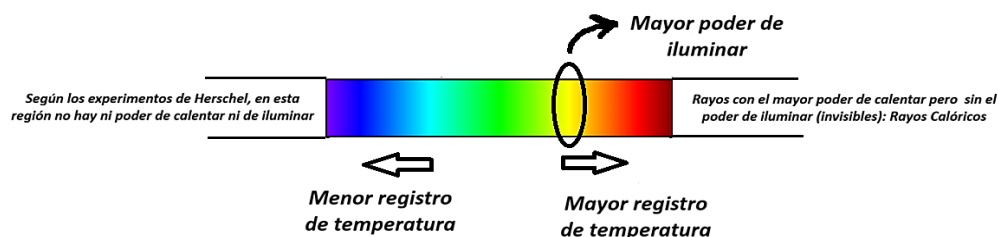


Figura 7. Acciones en regiones invisibles. Comparación entre el espectro de variación de temperatura, el espectro del poder de iluminar y los poderes registrados fuera del espectro visible. Elaboración propia.

De este modo, Herschel logró identificar que más allá del rayo rojo visible, existían *rayos invisibles* al ojo humano que producían un *efecto térmico*. Gracias a los registros de temperatura obtenidos, logró inferir la existencia de “algo” que actuaba como causa del aumento de la temperatura, aun cuando ésta era invisible. Así, Herschel no sólo experimentó con los diferentes poderes de la luz —de iluminar y de calentar— de los rayos coloreados, sino que estableció que existían otros rayos que no poseían la capacidad de iluminar y, sin embargo, sí presentaban la capacidad de calentar. De hecho esta capacidad de calentar era mayor en estos rayos invisibles más allá del rojo que en los propios rayos coloreados.

A este “algo”, inferido a partir de su efecto térmico, Herschel lo denominó *rayos calóricos*, en referencia a su capacidad de calentar, y en la actualidad se identifican como radiación infrarroja. En los *Annalen der Physik* de 1801, Herschel afirma:

De esto se sigue innegablemente que hay rayos solares que se refractan menos que todos aquellos que afectan el sentido de la vista, y que estos rayos solares invisibles están dotados de un gran poder para calentar, pero no con la capacidad de iluminar. Esto explica por qué han escapado hasta ahora a nuestra atención y han pasado desapercibidos para todos los físicos. (Herschel, 1801, p. 145)¹²

Una posible interpretación fenomenológica de la cita anterior es que, para dar cuenta de un nuevo campo de investigación, es necesario que este se dé como fenómeno, es decir, como una experiencia que es dada a un sujeto situado en el mundo (Chaparro et al., 1996). En este sentido, se interpreta que lo invisible —los rayos que no iluminan— adquiere existencia para un sujeto particular en la medida en que deviene fenómeno para él. Así, solo cuando aquello que ha

¹² Traducción libre del texto de Herschel, W. (1801). *Ueber die wärmende und die erleuchtende Kraft der farbigen Sonnenstrahlen*. *Annalen der Physik*, Vol.7, 137–156.

permanecido desapercibido deja de serlo para el sujeto cognoscente, puede darse a la experiencia y resultar susceptible de organización.

Otro aspecto que destacar de la investigación de Herschel, con respecto a la relación luz-calor es que él introduce un nuevo concepto para referirse a este poder de calentar, lo llamó *calor radiante*, con el fin de diferenciarlo de las ideas de calor que se germinaban en la época en relación con el modelo cinético de las partículas (Moreno, 2017, p. 21). A partir de esta distinción, Herschel se formula la siguiente pregunta:

Si llamamos Luz a los rayos que iluminan los objetos, y Calor Radiante (Strahlende Wärme) a los rayos por los cuales los cuerpos se calientan, entonces cabe preguntar: ¿si la Luz y el Calor Radiante son esencialmente diferentes entre sí? [...] (Herschel, 1801, pp. 146–147)¹³.

Con el fin de responder a esta pregunta, Herschel llevó a cabo una serie de experimentos orientados a determinar, si el calor radiante poseía las mismas propiedades que Newton le había atribuido a la luz, a saber: refrangibilidad, refracción, reflexión y dispersión. Al respecto, Herschel (1801) concluyó: el calor radiante es refrangible, presenta diferentes grados de refrangibilidad, está sujeto a las leyes de la reflexión y puede ser detenido en su propagación por otros cuerpos (Torres, 2021, p. 24). En consecuencia, el calor radiante comparte las mismas características fundamentales que Newton había atribuido a la luz, por lo que se le puede llamar *luz invisible* a aquellos rayos situados más allá del rojo visible que carecen de la capacidad de iluminar (Moreno, 2017, p. 31).

En síntesis, desde la perspectiva fenomenológica asumida en esta monografía aunque los rayos calóricos son invisibles al ojo humano, pueden hacerse presentes en la experiencia a través de otro tipo de efectos, en particular mediante la sensación de calor. Si bien esta sensación no resulta diferenciable de forma inmediata por el tacto humano, puede ser organizada y discriminada mediante instrumentos de medición, como el termómetro. Lo relevante, desde este enfoque fenomenológico, es que la construcción del fenómeno del calor radiante está ligado a la experiencia del sujeto que percibe y organiza, de modo que incluso lo invisible se constituye

¹³ Ibid.

fenomenológicamente en relación con la corporeidad humana que media con los fenómenos del mundo.

2.3 Seebeck y la estabilización del fenómeno de los rayos calóricos

Años posteriores a los experimentos de Herschel, Thomas Johann Seebeck (1770 - 1831) retomó y *examinó críticamente* estas experiencias sobre el poder de calentar de los rayos coloreados. Seebeck se interesó en un problema: distintos investigadores reconocidos en su época obtuvieron resultados divergentes respecto del fenómeno del poder de calentar de los rayos coloreados. En particular, algunos investigadores registraron máximos de temperatura en regiones distintas al rayo rojo, lo cual contradecía los resultados reportados por Herschel. Por ejemplo, Alexis-Marie de Rochon (1741–1817) encontró mayores aumentos de temperatura en las regiones correspondientes al naranja y al amarillo (Seebeck, 1819, p. 340).

Ante esta situación, en su publicación de 1819, *Ueber die ungleiche Erregung der Wärme im prismatischen Sonnenbilde* —Sobre la excitación desigual del calor en la imagen solar prismática— Seebeck plantea que las divergencias observadas no necesariamente indican un error en los resultados, sino posibles diferencias en las *condiciones experimentales*. Al respecto, señala:

En vista de estas experiencias contradictorias de científicos naturales experimentados, surgió la idea de que tal vez sólo las diferencias en el aparato o el método utilizado en la investigación podían haber dado lugar a los diferentes resultados y que, como puede suceder con demasiada facilidad en un nuevo campo de investigación, tal vez se habían pasado por alto o no se habían tenido en cuenta adecuadamente condiciones que debieron haber sido influyentes. (Seebeck, 1819, p. 306)¹⁴

La revisión histórico-crítica del trabajo de Seebeck permite poner en evidencia un aspecto fundamental de la actividad experimental en las ciencias: la importancia y necesidad de la *estabilización del fenómeno*. Tarazona *et al.* (2023) entienden por estabilización: “una actividad por la cual se objetivan resultados, procesos y medios de experimentación y se unifican formas y técnicas de aplicación” (Tarazona *et al.*, 2023, p. 454). Tal como señalan Hacking (1996) y Tarazona *et al.* (2023), la organización de un fenómeno sólo es posible en relación con un

¹⁴ Traducción libre del texto: *Ueber die ungleiche Erregung der Wärme im prismatischen Sonnenbilde* de Seebeck (1819). Recuperado de: <https://digital.deutsches-museum.de/de/digital-catalogue/library-object/BV042066909/>

conjunto de condiciones experimentales que permiten su replicabilidad por distintos investigadores, así como la comparación de los resultados. Desde la perspectiva fenomenológica asumida en esta monografía, estas condiciones remiten al carácter situado del sujeto que conoce, es decir, a aquel que tiene experiencia directa del fenómeno en un contexto experimental determinado. En este sentido, el sujeto que organiza el fenómeno no es externo a él; por el contrario, forma parte constitutiva de su organización. Este marco resulta central para comprender el esfuerzo sistemático de Seebeck, por controlar y variar las condiciones experimentales en sus investigaciones, pues la estabilización del fenómeno constituye la condición de posibilidad misma del experimento.

Esta necesidad de lograr la estabilización del fenómeno se hace particularmente evidente a la luz del texto de Seebeck (1819), quien consideraba que el hecho de que distintos investigadores obtuvieran resultados diferentes a los de Herschel se debía, en gran medida, a variaciones en los dispositivos y en las condiciones experimentales. En particular, Seebeck señala que Herschel no especificó el tipo de vidrio del prisma utilizado en sus experimentos, ni resulta claro si las mediciones correspondían a uno o a varios prismas de distintos materiales (Seebeck, 1819, p. 337). Esta falta de información metodológica dificultó que otros investigadores pudieran reproducir sus resultados. Con el fin de examinar estas diferencias, Seebeck llevó a cabo una extensa serie de experimentos —61 en total— en los que varió de manera controlada las condiciones experimentales. Entre estas variaciones se incluyeron el uso de prismas de distintos materiales, tales como vidrio Corona (*Crown glass*), vidrio Sílex común, vidrio Sílex inglés y vidrio Flint; también se varió la distancia entre el prisma y el termoscopio; el tiempo de medición; el ángulo de refracción del prisma; el empleo de prismas con fluidos en su interior; así como prismas de diferentes colores.

Con base en el programa experimental sistemático de Seebeck (1819), y atendiendo a los objetivos del presente trabajo, se seleccionan a continuación algunos resultados correspondientes a los experimentos del 21 al 30. Esta serie resulta particularmente relevante, pues fue realizada bajo condiciones experimentales constantes y permite analizar con mayor detalle la variación del efecto térmico a lo largo del espectro visible y en las regiones más allá de sus límites cromáticos (Tabla 3).

Tabla 3. Variación del efecto térmico en distintas regiones del espectro según la serie de experimentos 21-30 Seebeck (1819), organizados del violeta al rojo. Condiciones experimentales: Prisma de vidrio Flint; distancia prisma–termoscopio: 6 pies; tiempo de medición: 10 minutos. Elaboración propia¹⁵.

Posición del termoscopio respecto al espectro visible	Región espectral aproximada	Variación de temperatura registrada
1 pulgada por encima del violeta	Más allá del violeta	2" 8'''
$\frac{1}{2}$ pulgada por encima del violeta	Más allá del violeta	2" 8'''
$\frac{1}{4}$ pulgada por encima del violeta	Más allá del violeta	2" 9'''
Justo en el límite del violeta	Violeta	2" 9 $\frac{1}{4}$ "
Abajo un poco de violeta en la esfera	Violeta	2" 10'''
Un poco más de violeta	Violeta	2" 11'''
Completamente en violeta	Violeta	3" 2'''
En violeta pero abajo un poco de azul	Transición violeta–azul	3" 8'''
Medio en azul	Transición violeta–azul	3" 8'''
Completamente en azul	Azul	4" 0'''
$\frac{1}{4}$ pulgada verde a azul	Transición azul–verde	4" 4'''
$\frac{1}{2}$ verde	Verde	4" 6'''
Amarillo y arriba verde	Transición verde–amarillo	5" 2'''
Rojo y amarillo	Transición amarillo–rojo	5" 9'''
Un poco más profundo en rojo	Rojo	5" 11'''
Justo en el límite rojo	Rojo	5" 11 $\frac{1}{2}$ "
$\frac{1}{4}$ pulgada por encima del rojo	Más allá del rojo	5" 12'''
$\frac{1}{2}$ pulgada por encima del rojo	Más allá del rojo	5" 10'''

A partir de los datos consignados en la Tabla 3, se observa que Seebeck logró registrar una variación térmica más allá del violeta diferente a la reportada originalmente por Herschel, quien le atribuyó, la pequeña variación de temperatura a las condiciones ambientales de la habitación y no a esta región específica del espectro. Este resultado puede atribuirse, al menos en parte, a diferencias en los instrumentos de medición y a un mayor control de las condiciones experimentales, lo que le permitió a Seebeck detectar variaciones térmicas que Herschel no logró medir. Asimismo, el uso específico de prismas de vidrio Flint muestra un aumento progresivo

¹⁵ Según la notación empleada por Seebeck (1819), las medidas se expresan en pulgadas y líneas; por ejemplo, la medida “2" 8'''” debe leerse como 2 pulgadas y 8 líneas. Además, la escala absoluta no es explicada en el texto original; los valores se interpretan de manera relativa al igual que en Herschel.

del efecto térmico a lo largo del espectro, en concordancia con los resultados obtenidos por Herschel, aunque extendiendo la medición a un mayor número de regiones del espectro.

A partir de esta serie de experimentos, Seebeck infiere que el prisma empleado por Herschel en sus investigaciones fue con alta probabilidad de vidrio Flint, dado que es con este tipo de prisma con el que logra reproducir de manera más consistente los resultados reportados por él. Este punto resulta especialmente relevante, ya que el material del prisma —que no es explícito en los trabajos de Herschel— se revela en el análisis de Seebeck como una condición experimental decisiva para la organización del fenómeno térmico tal como fue descrito originalmente por Herschel. Al respecto, Seebeck (1819) señala:

Es deseable que el Sr. Herschel se explique definitivamente sobre esto, y especialmente que proporcione información sobre si el prisma que utilizó habitualmente, y especialmente para los primeros experimentos, era de vidrio Flint, como debo creer según mis experiencias.”
(Seebeck, 1819, p. 337)¹⁶

Otro aspecto relevante que se pone en evidencia a partir de la Tabla 3 es la metodología y la experiencia experimental de Seebeck. Como se observa, sus mediciones abarcan un mayor número de regiones del espectro, tanto visibles como no visibles, lo que lo llevó a reconocer que los límites entre los colores no son siempre claros ni inmediatos. Seebeck (1819) advierte que dichos límites pueden variar en función de la distancia respecto al prisma, del tipo de prisma utilizado y de la configuración misma del montaje experimental. Asimismo, señala que la diferenciación visual de los rayos coloreados depende en gran medida de la experticia del observador, especialmente en situaciones de adaptación visual prolongada en la oscuridad o en transiciones abruptas entre condiciones de luz y oscuridad. En este sentido, los límites del espectro no se presentan como datos dados de antemano, sino que *se construyen* en el marco de prácticas experimentales concretas. Este análisis refuerza la dimensión experiencial del experimento, que en este trabajo se busca destacar, en la medida en que el ojo humano no opera como un detector neutro, sino como un órgano con capacidades y límites que pueden variar de un observador a otro y que participa activamente en la organización del fenómeno.

¹⁶ Traducción libre del texto: *Ueber die ungleiche Erregung der Wärme im prismatischen Sonnenbilde* de Seebeck (1819). Recuperado de: <https://digital.deutsches-museum.de/de/digital-catalogue/library-object/BV042066909/>

Además de los anteriores aspectos que ponen de manifiesto el carácter situado de la experiencia, se suman factores ambientales que también pueden modificar el espectro visible y las medidas de temperatura, como las condiciones del tiempo atmosférico. Al respecto Seebeck (1819) plantea, por ejemplo, que en días muy soleados el calentamiento de la habitación podía afectar las mediciones de temperatura, volviendo menos confiables los registros absolutos. No obstante, observa que, cuando se mantienen constantes estas condiciones experimentales susceptibles de control, las diferencias relativas de temperatura entre los distintos rayos coloreados se conservan de manera estable. Al respecto Seebeck (1819) afirma:

¿Qué influencia tendrá un cambio en la temperatura del aire sobre los fenómenos? ¿Cómo se comparan las diferencias de calidez en las imágenes en color en días cálidos y fríos? Es fácil prever que en los días fríos el calor en la imagen en color será menor en todas partes, porque el aire enfría entonces el termómetro, calentado por la luz, más rápidamente que en un día cálido, y que por tanto la diferencia se expresará también en números menores. Sin embargo, la relación de los grados de calor en los diferentes colores del espectro siempre permanece igual, sin importar cómo se realice la investigación, en un día frío o cálido, siempre que todas las demás condiciones sean las mismas: los días estén igualmente despejados, se utilice el mismo prisma, la posición sea normal, la distancia del termoscopio y la abertura en el cajón o en el prisma sean las mismas¹⁷. (Seebeck, 1819, p. 335)

En este contexto, y dado el valor que adquiere la estabilización del fenómeno en el trabajo experimental de Seebeck, resulta pertinente recoger las principales conclusiones a las que llega tras su extensa serie de experimentos con distintos prismas. A partir de Seebeck (1819), se destacan las siguientes conclusiones:

- 1) En todas las imágenes en color prismáticos se produce excitación térmica, que siempre es más débil en el límite más externo del violeta.*
- 2) A partir de ahí aumenta a medida que se avanza a través del azul y el verde hasta el lado amarillo y rojo, y*
- 3) alcanza su máximo en amarillo en algunos prismas, particularmente en el prisma de agua, (ver experimento 39), y según el Sr. Wunsch, también en prismas llenos de alcohol y aceite de trementina.*

¹⁷ Ibid.

- 4) *Algunos otros líquidos, especialmente la solución de cloruro de amonio y sublimado de mercurio, así como el ácido sulfúrico concentrado e incoloro, tenían el máximo de calor en el medio entre el amarillo y el rojo (en el naranja). Ver experimentos 40-43.*
- 5) *Los prismas Crownglas y de vidrio blanco ordinario tienen el mayor calor en el rojo completo. Ver experimentos 1-5, 20, 21 y 8.*
- 6) *En algunos prismas de vidrio, el máximo de calor cae en el límite del rojo. Ver experimentos 24-30.*
- 7) *Los prismas de vidrio Flint tienen el máximo de calor más allá del rojo, cuando el bulbo del termoscopio se encuentra fuera de la imagen de color bien delimitada. Ver experimentos 6-18 y el experimento 31.*
- 8) *El calor disminuye de manera constante más allá del límite del rojo, y en todos los prismas, sin excepción la excitación térmica todavía tiene lugar unas pocas pulgadas por debajo del límite del rojo. Véase el experimento 2, 3, 7. (Conclusiones de Seebeck, 1819, pp. 336–337¹⁸)*

El trabajo de Seebeck (1819) culmina con una reflexión epistemológica en torno a qué debe entenderse como luz y cuáles son sus límites. Seebeck cuestiona el uso del lenguaje de los “rayos invisibles”, pues considera que aquello que produce efectos térmicos o químicos sigue siendo luz, aun cuando no se presente de manera visible ante el ojo humano. Esta posición se inscribe en una discusión epistemológica y ontológica vigente en la época de Herschel, Seebeck y Ritter, con relación a si los llamados rayos invisibles debían concebirse como entidades distintas que acompañan a la luz, o más bien como manifestaciones de la misma luz actuando de manera diferente. Recordando la sección dedicada a Herschel y los rayos calóricos, él concluyó que estos pueden ser considerados luz por tener propiedades propias de la luz, aunque esto no resuelve del todo el problema en este momento. En este sentido, en esta monografía, la distinción entre rayos coloreados, rayos calóricos y, posteriormente, rayos químicos no pretende aludir a entidades distintas, sino destacar *diferentes modos de aparición de la luz en la experiencia*.

En síntesis, la introducción de Seebeck en la reconstrucción histórico-crítica permitió, poner en evidencia la importancia metodológica, de explicitar las condiciones experimentales y de reconocer la dificultad de estabilizar ciertos fenómenos, en particular aquellos que no son directamente perceptibles. En relación con los rayos calóricos, Seebeck mostró, que dependiendo de las condiciones experimentales, el máximo efecto térmico podía aparecer en distintas regiones

¹⁸ Ibid.

del espectro visible o incluso más allá del rojo. Sin embargo, en el extremo opuesto —más allá del violeta— los efectos térmicos resultan débiles y difíciles de discriminar. Esta dificultad histórica para organizar y estabilizar el fenómeno térmico en la región más allá del violeta pone de manifiesto los límites de la sensación térmica como vía privilegiada para el estudio de esta región del espectro. Por esta razón, se hace metodológicamente pertinente recurrir a otro tipo de efecto que permita hacer sensible la acción de la luz más allá del violeta: los llamados rayos químicos, cuyo análisis se aborda en la siguiente sección.

2.4 Rayos químicos y la percepción de un efecto diferente al térmico

A partir de lo expuesto en el apartado anterior, se traza un panorama general de cómo, a comienzos del siglo XIX, comenzó a abrirse un nuevo campo de investigación, orientado a regiones situadas más allá de los límites visibles del espectro, así como a la identificación de los distintos poderes mediante los cuales la luz no visible se hace presente a la experiencia. Mientras que Herschel logró evidenciar un efecto térmico más allá del rojo visible —los rayos calóricos—, en la región situada más allá del violeta dicho efecto resultó pequeño y difícil de discriminar. Esto planteó la pregunta por la posible existencia de otras acciones de la luz en el extremo violeta del espectro, que no se manifiestan como calor ni como color. En este contexto se sitúan las investigaciones de Johann Wilhelm Ritter (1776–1810)¹⁹, quien, al conocer los trabajos de Herschel, se preguntó si más allá del violeta visible podrían encontrarse rayos invisibles caracterizables por un poder distinto del térmico. Siguiendo esta pregunta, Ritter logró identificar la presencia de una acción de la luz *capaz de producir transformaciones químicas* en determinadas sustancias sensibles a la radiación ultravioleta, a través del efecto visible de oscurecimiento de estas. A estos nuevos rayos con acción química se les denominó: *rayos químicos*.

En la literatura científica suele atribuirse a Ritter el descubrimiento de los rayos químicos —hoy denominados radiación ultravioleta—. Esta atribución se debe, en gran medida, a un breve

¹⁹ J. W. Ritter fue una figura singular en los inicios de la física y la química del siglo XIX. Según Holland (2010), vinculado al galvanismo —al igual que Volta— Ritter llevó a cabo experimentos con su propio cuerpo como instrumento de medida para explorar los fenómenos eléctricos que se gestaron en su época. Si bien fue reconocido por su habilidad experimental, su estilo de escritura y su marco conceptual eran muy especulativos y “oscuros”, lo que dificultó su recepción dentro de la comunidad científica de su tiempo. Ritter es considerado un precursor del romanticismo científico temprano en Alemania, para una profundización en su pensamiento y en el contexto de su obra, véase *Key Texts of Johann Wilhelm Ritter (1776–1810) on the Science and Art of Nature*, ed. y trad. Jocelyn Holland, Biblioteca de Historia de la Ciencia y la Medicina, vol. 16, Brill, 2010.

anuncio publicado por Ritter en los *Annalen der Physik* en 1801 (vol. 7)²⁰. En dicho anuncio, Ritter afirma:

También encontré rayos de sol en el lado violeta del espectro de colores, fuera de él, y los encontré a través de plata córnea²¹. Reducen aún más que la propia luz violeta, y el campo de estos rayos es muy grande. Hablaremos más sobre esto la próxima vez²². (Ritter, 1801, vol. 7, p. 527)

Este breve comunicado, presentado al final del volumen en forma de anuncio y sin acompañarse de una descripción detallada de las condiciones experimentales, ni de datos, posiblemente fue suficiente para que posteriormente se le atribuyera a Ritter el hecho histórico del “descubrimiento” de los rayos químicos.

Sin embargo, la categoría misma de *descubrimiento* constituye un interesante problema aún abierto dentro de la filosofía de la ciencia. En particular, se debate bajo qué criterios puede sostenerse la atribución de un descubrimiento científico²³. En este sentido, resulta pertinente preguntarse si lo realizado por Ritter —o incluso por Herschel— puede considerarse propiamente un descubrimiento, dado que, en sentido estricto, lo que Ritter identificó fue un efecto: *el oscurecimiento del cloruro de plata en una región situada fuera del espectro visible*. La inferencia de *la existencia de rayos invisibles se construye*, por tanto, a partir de una transformación material mediada por una sustancia fotosensible, y no a partir de una percepción directa de dichos rayos. No obstante, al respecto Frercks *et al.* (2009) sostienen que Ritter no estaba interesado en establecer la existencia ontológica de un nuevo tipo de rayo, sino en demostrar la *polaridad de la luz*²⁴ como principio fundamental de la naturaleza²⁵. Por lo que la simetría de la luz era la preocupación central en el marco filosófico-natural de Ritter; al respecto,

²⁰ En esta misma edición Herschel publicó su artículo: “sobre el poder calórico e iluminador de los rayos coloreados del sol” (P. 137)

²¹ La plata córnea hace referencia al Cloruro de Plata (AgCl)

²² Traducción libre de anuncio de Ritter en *Annalen der Physik*, Vol.7 de 1801 p. 527

²³ Para una discusión detallada sobre el problema del descubrimiento y su atribución histórica en el caso de Ritter, véase Frercks *et al.*, “Reception and discovery: the nature of Johann Wilhelm Ritter’s invisible rays”, *Studies in History and Philosophy of Science*, 40 (2009), 143–156. Donde los autores usan el modelo atribucional de descubrimiento para estudiar la recepción histórica de los hallazgos de Ritter en su época.

²⁴ La noción de *polaridad de la luz* en Ritter no debe entenderse en sentido moderno, sino en el marco de la *Naturphilosophie* de finales del siglo XVIII, donde la polaridad designa un principio general de organización de la naturaleza basado en oposiciones complementarias, e.g positivo/negativo, actividad/pasividad, etc.

²⁵ Un dato histórico que se identificó es que tanto Ritter como Seebeck creían que la polaridad de la luz se manifestaba o se hacía evidente en los experimentos que ellos realizaban. Seebeck (1819) afirmó: “En esta función de la luz, el polo opuesto sólo puede manifestarse como más o menos; y así la calidez mayor en una parte del espectro y la menor en la otra, lo mismo puede afirmarse del efecto químico.”

los autores afirman: “Para Ritter, los rayos no constituyen en sí mismos una entidad, sino que revelan la polaridad inherente de la luz” (Frercks *et al.*, 2009, p. 143). Esto permite un horizonte de sentido con relación a cómo Ritter interpretó los efectos que observó más allá del violeta visible.

Así, para comprender el contexto conceptual en el que se inscriben las ideas de polaridad de la luz que defiende Ritter, resulta necesario enmarcar su pensamiento en la llamada *Naturphilosophie*, corriente de pensamiento asociada al romanticismo temprano alemán, con representantes como F. W. Schelling (1775–1854), J. W. V. Goethe (1749–1832) y Novalis (1772–1801). Esta corriente sostenía que la naturaleza se organiza a partir de polaridades simétricas y concebía los fenómenos naturales no como objetos inertes, sino como procesos dinámicos y vivos (Holland, 2010). Desde esta visión de naturaleza se comprende por qué Ritter supone que, así como Herschel había identificado una acción invisible de la luz más allá del rojo visible, debía existir *necesariamente* también una acción complementaria en el extremo opuesto del espectro —más allá del violeta—.

Además de esta concepción filosófica de la naturaleza, el trabajo de Ritter tuvo una escasa recepción en su época por la tensión con la visión metafísica dominante alrededor de 1800. Como indican Frercks *et al.* (2009), la filosofía natural de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX estaba estructurada en torno a una ontología de las sustancias (*Stoffe*), según la cual los fenómenos físicos debían explicarse mediante entidades materiales específicas. Así, a los rayos coloreados se les atribuía una sustancia lumínica; a los fenómenos térmicos, una sustancia calórica; y a los fenómenos eléctricos una sustancia eléctrica. Sin embargo, la introducción de los nuevos rayos químicos planteó una dificultad fundamental para este modelo, ya que no resultaba plausible postular una “sustancia química” específica como causa de estos efectos, puesto que todas las sustancias eran ya objeto de clasificación dentro de la química, es decir, todas las sustancias —lumínica, calórica, eléctrica— eran de por sí químicas. En este sentido, la acción química de la luz constituía una amenaza para el modelo explicativo de las sustancias vigente (Frercks *et al.*, 2009, p. 150).

A la anterior dificultad se sumaron problemas de orden experimental. En particular, Ernst Wünsch (1744–1828) no logró replicar los experimentos de Ritter (Frercks *et al.*, 2009, p. 152), lo que pone de manifiesto un problema similar al identificado previamente en el caso de Herschel:

la falta de especificación de las condiciones experimentales. Entre los aspectos necesarios para poder replicar el experimento de Ritter se encuentran el tipo de prisma utilizado, las sustancias químicas empleadas, las proporciones de las muestras y el estado de la muestra durante la exposición —si debía encontrarse húmeda o seca—. Tal como se ha señalado anteriormente, la claridad de estas condiciones resulta indispensable para la estabilización del fenómeno. Una dificultad análoga se presenta al realizar el análisis histórico-crítico de los trabajos de Ritter. Por un lado, el acceso a sus textos originales resulta limitado, y en el marco de esta investigación sólo fue posible consultar directamente uno de ellos. Por otro lado, incluso en dicho texto no se ofrece una descripción detallada del procedimiento experimental, sino principalmente conclusiones, que no pueden ser contrastadas con datos experimentales.

Las cuestiones señaladas hasta este punto permiten ubicar históricamente el pensamiento de Ritter, así como los problemas ontológicos y epistemológicos, que emergieron a medida que se avanzaba en la organización de las distintas experiencias de la luz y de sus múltiples acciones. Desde la perspectiva histórico-crítica adoptada en esta monografía, el interés principal no es resolver estos debates —aunque si representan un interés en tanto hacen parte de las concepciones de la época—, sino identificar los distintos modos de aparición de la luz en la experiencia, en función de los efectos y de las prácticas experimentales que la hicieron sensible. Además, se considera que la reconstrucción del marco conceptual de Ritter no sólo ofrece un panorama de su visión de la naturaleza, sino que también permite comprender las condiciones bajo las cuales, la acción química de la luz sobre sustancias fotosensibles pudo ser pensadas y descritas en su momento histórico.

En este punto, y como parte del contexto histórico necesario para comprender la consolidación de los llamados rayos químicos, resulta importante señalar que, si bien Ritter suele ser reconocido como quien los descubrió, no fue ni el primero ni el único en experimentar con sustancias químicas fotosensibles, en particular con sales de plata. De hecho, la acción de la luz sobre este tipo de sustancias era conocida. Al respecto Becquerel (1842) afirma:

Schéele fue el primero en estudiar la acción de las diferentes partes del espectro sobre un papel recubierto de cloruro de plata; observó que este papel se ennegrecía más intensamente en los rayos violetas que en los demás. Más tarde, Wollaston y Ritter demostraron que la coloración se extendía no sólo a través del espacio ocupado por el violeta, sino también, en igual grado y aproximadamente a la misma distancia, más allá del espectro visible. Según

*estas experiencias, confirmadas por Beckmann y el Sr. Bérard, Wollaston mostró que estos efectos, así como otros comúnmente atribuidos a la luz, no se debían en realidad a ninguno de los rayos perceptibles por el órgano de la visión, sino a la acción de otros rayos invisibles que los acompañan*²⁶. (Becquerel, 1842, pp. 4-5)

Así, Carl Wilhelm Scheele (1742–1786) había investigado ya la acción química de los rayos coloreados sobre el cloruro de plata, identificando un mayor efecto en la región del rayo coloreado violeta, aunque sin extender sus estudios más allá de los límites visibles. En este sentido, el ennegrecimiento de sustancias bajo la acción de la luz no constituía un fenómeno desconocido a comienzos del siglo XIX. El aporte específico de Johann Wilhelm Ritter y de William Hyde Wollaston (1766–1828) consistió en extender este efecto fotoquímico fuera del dominio visible del espectro, desplazando la experiencia de la luz hacia regiones no accesibles a la percepción visual directa.

Para profundizar en esta reconstrucción histórico-crítica, resulta pertinente volver ahora sobre algunos apartados del texto original de Ritter: *Über die Sonnenstrahlen —Sobre la luz solar—*, publicado en los *Annalen der Physik* en 1803. A diferencia del breve anuncio de 1801, este texto ofrece conclusiones más detalladas de sus observaciones experimentales, lo que permite examinar con mayor detalle cómo Ritter organiza la acción química de la luz tanto en la región visible como no visible del espectro.

En particular, en el numeral 2 de dicho texto, Ritter describe la distribución gradual de la acción química a lo largo del espectro:

*Que la reducción disminuye desde el lugar del máximo fuera del violeta, a través del violeta, el azul, etc.; que cesa en o cerca del verde, si el espectro se presenta de manera suficientemente clara; y que en el naranja y el rojo se convierte en una verdadera oxidación de lo ya reducido, o, lo que es lo mismo, en un retraso de la reducción existente por otras razones, e incluso en su completa abolición*²⁷. (Ritter, 1803, pp. 409–410).

²⁶ Traducción libre del texto: Becquerel, E. (1842). *Mémoire sur le rayonnement chimique qui accompagne la lumière solaire et la lumière électrique*. Imprimerie Royale.

²⁷ Traducción libre del texto: Ritter, J. W. (1803). *Über die Sonnenstrahlen*. *Annalen der Physik*, 12, 409–415. Recuperado de: https://archive.org/details/sim_annalen-der-physik_1803_12/page/n417/mode/2up

De lo anterior se interpreta que, Ritter identifica un máximo de la *acción reductora* de la luz en una región situada más allá del rayo coloreado violeta del espectro visible. En consecuencia, sustancias fotosensibles como el cloruro de plata presentan allí una transformación *más rápida y de mayor intensidad*, manifestada en un efecto visual directo: ennegrecimiento de la sustancia. A partir de esta observación, Ritter concluye que, a diferencia de los rayos calóricos de Herschel, los rayos químicos presentan un máximo de acción reductora en el extremo violeta del espectro y disminuyen progresivamente a medida que se desplazan hacia el rojo visible.

Como parte de esta organización Ritter reconoce la existencia de dos acciones químicas diferenciadas asociadas a distintas regiones del espectro: *reducción* y *oxidación*. Esta distinción puede interpretarse, dentro de su marco conceptual, como una polaridad entre procesos opuestos, en la cual la reducción aumenta hacia el extremo violeta del espectro, mientras la oxidación hacia el rojo (Figura 8).

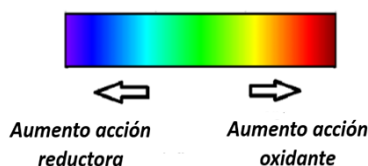


Figura 8. Organización de la acción química. Ritter distingue dos acciones, la acción reductora aumenta hacia el violeta y la acción oxidante aumenta hacia el rojo, igual que los rayos calóricos de Herschel. Elaboración propia.

Esta distribución de los poderes de la luz —calentar, iluminar y producir transformaciones químicas— permite reconocer que estos no se organizan de manera uniforme a lo largo del espectro. En síntesis con las Figuras 3, 5 y 7, esta organización comparativa se representa en la Figura 9, donde se integran los distintos modos de acción de la luz y su localización en el espectro.

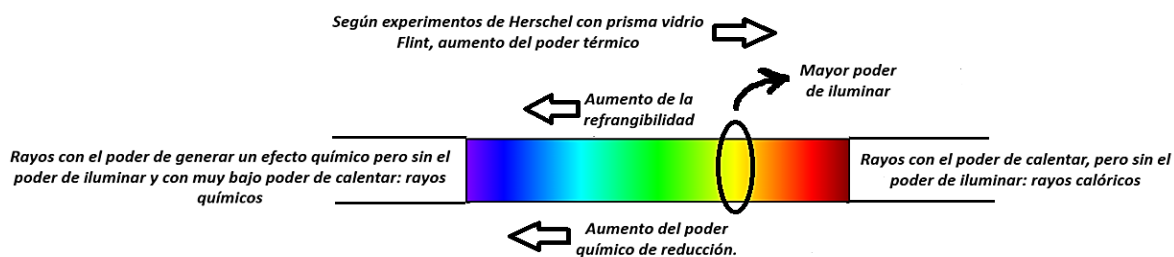


Figura 9. Identificación del efecto químico en comparación con las diferentes acciones de la luz. Síntesis de la organización que se ha construido hasta este punto en relación con los diferentes poderes de la luz y su ubicación en el espectro. Elaboración propia.

En este punto surge una pregunta: ¿cómo logró Ritter identificar y diferenciar estos dos tipos de acción química? dado que lo observable en la experiencia es, en ambos casos, un mismo efecto

sensible —el cambio en el aspecto de la sustancia fotosensible— Al respecto es necesario recordar que en la época de Ritter no se encontraba aún consolidada la fotoquímica, ni existía la concepción moderna de reducción y oxidación como procesos asociados a la ganancia o pérdida de electrones. Ritter, aunque tenía formación química, no disponía del aparato conceptual ni de los instrumentos experimentales que permitirían, más tarde, definir estos procesos como se conocen hoy en día. Sin embargo, desde la perspectiva fenomenológica e histórico-crítica asumida en este trabajo, la organización que Ritter realiza resulta aquí fundamental, puesto que permite *reconstruir la experiencia antes de la teoría*. Así, lo que se puede deducir de las afirmaciones de Ritter, es que él realiza la diferenciación entre reducción y oxidación, apoyándose únicamente en la observación de los cambios visibles que experimentan las sustancias bajo la acción de distintas regiones del espectro. En el caso de la reducción, Ritter identificó un ennegrecimiento más rápido e intenso del cloruro de plata; en cambio, la oxidación se manifestó como un debilitamiento de dicho ennegrecimiento, y necesidad de mayor tiempo de exposición. Esta interpretación se sustenta en descripciones experimentales como las siguientes:

*Cubro una tira de papel blanco resistente de quince a veinte centímetros de largo con plata cuerno recién preparada y dejo que el espectro solar claro del prisma incida sobre su centro en la habitación oscura, a una distancia de quince centímetros. La plata cuerno comienza a ennegrecerse a una distancia considerable del violeta más externo, y luego, un tiempo después, sigue la parte interior del violeta, y finalmente, el tono interior más débil del azul verdoso comienza a ennegrecerse. [...] Pero en el lado rojo se ha vuelto más blanco, y de nuevo de tal manera que el mayor efecto se produce media pulgada fuera del rojo más externo, y además disminuye según la misma ley que en el primer caso en el otro lado²⁸. (Ritter, 1801, *Intelligenzblatt der Litteratur-Zeitung*)*

El hecho de que Ritter reconozca dos acciones químicas diferenciadas —reducción y oxidación—, en lugar de una sola que va cambiando su efecto a lo largo del espectro, sólo adquiere un horizonte de sentido histórico desde su concepción de la polaridad de la luz. En este marco, para Ritter no existe una única acción química, sino dos acciones complementarias asociadas a regiones opuestas del espectro, lo cual constituía para él una evidencia de la polaridad inherente de la luz.

²⁸ Ritter, J. W. (1801). *Intelligenzblatt der Litteratur-Zeitung*. Fragmentos tomados de la traducción libre de Frercks, et al. (2009, p. 122).

Además, esta organización simétrica de la acción química de la luz se apoya, según Ritter, en una serie de observaciones experimentales realizadas con sustancias fotosensibles. Ritter (1803, p. 409) observa que, a medida que se avanza hacia el rojo, la luz produce un *efecto químico opuesto al* observado en el violeta y más allá de éste. Asimismo, señala que, en ausencia de una reducción previa, los rayos situados en la región roja del espectro pueden incluso retardar o impedir por completo procesos de reducción originados por otras causas externas. No obstante, estas observaciones atribuidas por Ritter a la acción oxidante de los rayos situados hacia el rojo presentan dificultades tanto experimentales como interpretativas. En particular, el hecho de que una sustancia previamente ennegrecida pueda volver a aclararse bajo la acción de los rayos rojos no pudo ser reproducida por Wünsch, quien señaló no haber logrado replicar este efecto en sus propios intentos experimentales (Frercks et al., 2009, p. 153). En este punto se evidencia un problema de interpretación y de falta de claridad en las conclusiones de Ritter, respecto a la reversión del ennegrecimiento de las sales de plata; cuestión que se abordará más adelante a partir del análisis de los trabajos de Becquerel.

Continuando con las dos acciones químicas que establece Ritter, en particular con la acción oxidante que aumenta en la misma dirección a través del espectro como los rayos calóricos de Herschel, surge la pregunta en relación con la diferencia o identidad de los rayos químicos oxidantes y los calóricos. Una cuestión central que devuelve el análisis al debate científico de comienzos del siglo XIX, el cual consiste: si los llamados rayos calóricos y los rayos químicos debían entenderse como una misma entidad, como manifestaciones distintas de la luz, o como rayos separables de los rayos coloreados del espectro visible. En “*Über die Sonnenstrahlen*”, Ritter reconoce que, para el momento de sus investigaciones, no disponía de los medios experimentales para determinar si los rayos químicos eran los mismos rayos calóricos.

Sin embargo, Ritter sí abordó experimentalmente la identidad entre los rayos coloreados y los rayos químicamente activos en el apartado III del mismo artículo *Über die Sonnenstrahlen* (1803). Allí sostiene que los rayos químicos son diferentes de los rayos coloreados, en el sentido de que *el color y la acción química constituyen propiedades distintas de la luz*. Así, el rojo no es igual a oxidación y el violeta no es igual a reducción. A diferencia del procedimiento seguido por Herschel —quien pudo caracterizar los rayos calóricos mediante mediciones directas de temperatura y su comportamiento óptico—, la acción química de la luz sólo se manifiesta a través de su interacción con determinadas sustancias. De este modo, la identificación de los rayos

químicos no podía caracterizarse a través de métodos ópticos geométricos —como la refracción, la reflexión o la refrangibilidad— ni con mediciones térmicas. Por esta razón, el método para determinar la identidad entre rayos químicos y rayos coloreados se centró también en las transformaciones materiales mediadas por sustancias fotosensibles, que funcionaron como indicadores indirectos de acción química de la luz invisible.

Ante este problema metodológico y experimental, Ritter propone una forma ingeniosa para distinguir la acción química de la luz, de su manifestación cromática. En particular, en su artículo de 1803 muestra que la acción químicamente activa de la luz puede superponerse espacialmente a regiones coloreadas del espectro sin modificar el color visible, pero sí se altera el efecto químico observado en la sustancia fotosensible. Con ello, Ritter busca mostrar que el color y la acción química no son propiedades idénticas de la luz, aun cuando coincidan en el espacio. Al respecto, afirma:

Al mismo tiempo se encontró que estos rayos químicamente activos deben ser completamente diferentes de los coloreados. Por ejemplo, fue fácil hacer que los rayos reductores invisibles superiores al color violeta producido por la refrangibilidad de un prisma fuera del violeta de la imagen de un prisma cayeran en el rojo de la imagen de un segundo, sin que el rojo se modificara en lo más mínimo, pero la oxidación en él no sólo fue anulada, sino que se convirtió en una reducción bastante fuerte²⁹. (Ritter, 1803, pp. 410–411)

A partir de la descripción de Ritter, puede inferirse que el experimento consistió en utilizar dos prismas para descomponer la luz solar y superponer espacialmente regiones distintas de ambos espectros. En particular, Ritter hace incidir sobre la región roja de un espectro —asociada por él a un efecto químico oxidante: debilitante o retardador del ennegrecimiento— la región situada más allá del violeta del segundo espectro, donde había identificado la máxima intensidad de la acción química reductora. El resultado fue que el color rojo no se modificó en lo más mínimo, permaneció perceptualmente idéntico; sin embargo, el efecto químico sí cambió de manera notable, pues allí donde antes se observaba un debilitamiento del ennegrecimiento, aparece ahora una transformación más intensa de la sustancia fotosensible, es decir, pasó de ser una acción retardadora a una acción reductora. A partir de esta observación, Ritter concluye que el color visible y la acción química de la luz no son propiedades idénticas ni causalmente equivalentes,

²⁹ Traducción libre del texto: Traducción libre del texto: Ritter, J. W. (1803). Über die Sonnenstrahlen. Annalen der Physik, 12, 409–415. Recuperado de: https://archive.org/details/sim_annalen-der-physik_1803_12/page/n417/mode/2up

porque puede darse un rayo coloreado rojo con una acción reductora en lugar de una acción oxidante. Este resultado sólo se puede comprender si se acepta que el “rayo coloreado” y el “rayo químicamente activo” son separables, es decir, que el color no determina por sí mismo el tipo de transformación química inducida. En este sentido, Ritter no sólo organiza que la máxima acción química reductora está más allá del violeta visible, sino que avanza un paso más, al mostrar experimentalmente que el color y la acción química constituyen modos distintos mediante los cuales la luz se hace presente en la experiencia.

Otro aspecto por señalar del análisis del texto *Über die Sonnenstrahlen* de 1803 es que Ritter señala de manera breve que también realizó experimentos con *fósforo de Kunkel*. Esta mención resulta significativa, pues sugiere que su interés no se limitaba exclusivamente a las transformaciones químicas inmediatas, sino que se extendía a otros modos de acción de la luz más allá del violeta visible, entre ellos lo que hoy se denomina *fosforescencia*, tanto en regiones visibles como no visibles del espectro. No obstante, al igual que en otros pasajes de su obra, Ritter no ofrece en este texto una descripción detallada de los procedimientos experimentales, ni de los efectos observados, lo que impide reconstruir con precisión el alcance de estas experiencias y limita su análisis desde el punto de vista experimental. En relación con el efecto de fluorescencia no se encontró evidencia de que Ritter hubiera abordado este efecto.

Recogiendo lo central de este análisis histórico-crítico, puede afirmarse que Ritter identificó, más allá del violeta visible, una acción química de la luz que no se manifiesta directamente a la percepción, sino que se hace sensible únicamente mediante su mediación con la materia, en particular con sustancias fotosensibles. Además, a partir de la observación del ennegrecimiento del cloruro de plata —su intensidad, extensión y dependencia del tiempo de exposición—, Ritter distinguió dos acciones químicas opuestas asociadas a distintas regiones del espectro. Asimismo, sostuvo que el color visible y la acción química no constituyen propiedades idénticas de la luz, ni que una determina necesariamente a la otra. Por otro lado, en el marco de la visión de naturaleza de Ritter, su investigación no estuvo orientada a establecer la existencia ontológica de nuevos rayos invisibles, sino a poner de manifiesto la polaridad de la luz a través de la oposición y complementariedad de sus distintos poderes.

En esta monografía se ha buscado recuperar el pensamiento de Ritter como una figura fundamental en la organización de la experiencia de regiones no perceptibles de la luz, en

particular de la región ultravioleta. Sin embargo, su concepción filosófica de la naturaleza, así como el acceso limitado a descripciones experimentales detalladas, dificultan un análisis histórico-crítico más detallado de sus procedimientos. En este sentido, queda abierta la pregunta de: ¿en qué momento y bajo qué condiciones se logró estabilizar el experimento de los rayos químicos de Ritter? Con el fin de avanzar en esta dirección y de aportar mayor claridad a la comprensión de la acción química de la luz más allá del violeta visible, este trabajo recurre a una revisión de los estudios de Edmond Becquerel (1820 - 1891), cuyas investigaciones ofrecen nuevas herramientas conceptuales y experimentales para abordar el fenómeno de la radiación ultravioleta.

2.5 Becquerel y la estabilización del fenómeno de los rayos químicos

En este apartado se analizan algunos fragmentos de *Mémoire sur le rayonnement chimique qui accompagne la lumière solaire et la lumière électrique* (1842) de Edmond Becquerel, texto en el que el autor sistematiza uno de sus estudios en relación con la acción química de la luz. En esta memoria Becquerel se refiere a la existencia de una “*radiación química que acompaña tanto la luz solar como la luz eléctrica*”. Si bien en este texto Becquerel no aborda de manera explícita el problema ontológico de la naturaleza de estos rayos, la manera en que los presenta, tanto en el título como a lo largo del artículo, sugiere una toma de posición implícita: los rayos químicos él los concibe como “algo” que acompaña a la luz, sin ser necesariamente idénticos a ella. Asimismo, resulta relevante señalar la nueva terminología para referirse a estos rayos químicos: *radiación*, lo cual sugiere un cambio o nueva forma de organizar y describirlos en la época de Becquerel.

A diferencia de los trabajos de Ritter—a los cuales se logró obtener acceso—, Becquerel ofrece una mejor sistematización de sus experimentos. Como contexto histórico para situar su trabajo, y en continuidad con lo expuesto anteriormente, conviene señalar que entre 1839 y 1843, Becquerel desarrolló una serie de investigaciones orientadas a estudiar la manera en que la materia —como las sustancias de sales de plata— reaccionaba bajo la influencia de la luz (Fatet, 2006, p. 147). Este período coincide con los desarrollos de Louis Jacques-Mandé Daguerre (1787-1851), quien en esta misma época elaboraba el proceso del *daguerrotipo* —placas de plata

recubiertas de haluros de plata—, pionero en el desarrollo de la fotografía³⁰. En este marco, Becquerel encuentra un forma de estabilizar experimentalmente la medición cuantitativa de la acción química de la luz, mediante el uso del *actinómetro químico*, instrumento que le permitió registrar la variación de diferencia de potencial, en una sustancia química sensible expuesta a radiación ultravioleta. A partir de estos trabajos, y según señala Fatet (2006), “*se produce una inversión completa de su objeto de investigación: hasta ese momento (1841) había estudiado las reacciones fotoquímicas, pero luego pasó a estudiar la luz a través de las reacciones fotoquímicas*”³¹ (Fatet, 2006, p. 149).

Un aspecto relevante de las condiciones experimentales en Becquerel es la comprobación de que el material del prisma no afectaba los resultados obtenidos mediante el actinómetro (Jiménez, 2023, p. 54). Esto implicaba que, a diferencia de lo observado en el caso de los rayos calóricos, la acción de los rayos químicos no dependía del tipo de prisma empleado en la dispersión refractiva de la luz. En continuidad con los hallazgos de Ritter, Becquerel parte del hecho conocido de que ciertas sales de plata presentan sensibilidad a la acción química de la luz, tanto en regiones visibles como no visibles del espectro; además, que lo que varía de una región a otra es la intensidad y la rapidez con la que dicha acción se manifiesta. Una gran contribución de Becquerel en este aspecto consistió en haber logrado medir cuantitativamente esta acción química mediante el registro de la corriente eléctrica inducida en las sustancias fotosensibles, cuya magnitud permite comparar efectos que, por sí mismos, no son directamente perceptibles a la experiencia (Jiménez, 2023, p. 53).

Entre las principales sustancias fotosensibles con las que trabajó Becquerel se encontraban el *cloruro de plata*, el *bromuro de plata* y el *yoduro de plata*. Mediante el uso del actinómetro electroquímico, Becquerel comparó la respuesta inducida en estas sustancias al ser expuestas a diferentes tipos de luz, registrando variaciones en la diferencia de potencial eléctrico asociado a los procesos de transformación fotoquímica. Siguiendo estos experimentos, Fatet (2006) reproduce el actinómetro de Becquerel y obtiene resultados comparables a los reportados originalmente por él, los cuales se presentan en la Tabla 4. En particular, en la región situada más

³⁰ Este hecho histórico resulta relevante en la medida en que permite establecer vínculos con prácticas y desarrollos posteriores —como la fotografía— y, a su vez, abre la posibilidad de articular aproximaciones interdisciplinarias, entre la historia, la ciencia y otros campos, en contextos educativos.

³¹ Traducción libre del texto: Fatet, J. (2005). Recreating Edmond Becquerel's electrochemical actinometer. *Archives des Sciences*, 58(2), 147–156. Recuperado de: https://www.unige.ch/sphn/Publications/ArchivesSciences/AdS%202004-2015/AdS%202005%20Vol%2058%20Fasc%202/149-158_58_2.pdf?utm_source=chatgpt.com

allá del violeta visible —región central para el presente trabajo— el bromuro de plata es la sustancia en la que se evidencia con mayor claridad el efecto eléctrico, alcanzando el valor máximo registrado. Estos resultados orientan la selección de las sustancias químicas más pertinentes para la construcción de los efectos que aquí se proponen. En efecto, como se muestra en la Tabla 4, para el estudio de las regiones no visibles más allá del violeta, el bromuro de plata presenta la mayor sensibilidad, lo que permite considerarlo como un material especialmente adecuado para evidenciar fenómenos de oscurecimiento asociados a la acción de los rayos químicos más allá del violeta visible.

Tabla 4. Resultados experimentales obtenidos mediante la réplica del actinómetro electroquímico de Becquerel. Se indican en rojo los valores máximos correspondientes a cada sustancia fotosensible. Fuente: Fatet (2006), p. 154. El rojo en determinados valores responde a un criterio propio, que no se encuentra en la tabla original.

Light color	Silver bromide	Warmed silver chloride	Silver iodide
Dark red	3	3	1
Red	7	5	4
Orange	7	7	5
Orange-Yellow	6	6	11
Yellow	7	7	12
Green	9	9	10
Blue	11	4	8
Violet	14	4	14
Dark violet	14	3	8
Near UV	18	1	8
Far UV	6	0	4

Estos resultados muestran cómo la acción química de la luz situada más allá del violeta visible logra no sólo hacerse perceptible mediante un efecto visible directo —como el ennegrecimiento de las sustancias fotosensibles—, sino también manifestarse a través de un efecto eléctrico asociado a la transformación química de dichas sustancias. Conviene señalar que este otro modo de aparición a la experiencia de los rayos químicos invisibles no se presenta de manera inmediata, sino que se encuentra necesariamente mediado por el registro instrumental del actinómetro. Así, el instrumento permite comparar y cuantificar la acción de los rayos químicos invisibles, mientras que, en el caso del uso de papel fotosensible, este es el que actúa como indicador cualitativo del efecto. El efecto eléctrico producido por los rayos químicos estudiado por Becquerel representa una forma cuantitativa de dar cuenta de ellos, sin embargo en la presente monografía se destacan los efectos cualitativos, a través del efecto visual directo asociado al ennegrecimiento de las sales de plata.

Dentro del análisis histórico-crítico del texto original de Becquerel (1842), se identificó que el autor introduce la distinción entre dos órdenes de rayos químicos, de manera análoga a lo propuesto por Ritter, y ofrece nuevas comprensiones en torno al efecto del ennegrecimiento de las sales de plata en papeles impregnados y expuestos a la luz ultravioleta. En este texto, Becquerel afirma: “*He llegado a resultados nuevos, que muestran que el agente químico que acompaña a la luz está al menos compuesto por dos órdenes de rayos diferentes*”³² (Becquerel, 1842, p. 5).

Becquerel reporta haber trabajado sólo con bromuro de plata en lugar de cloruro de plata debido a su mayor sensibilidad a la acción química de la luz (Becquerel, 1842, p. 5). En su descripción del procedimiento de preparación del papel fotosensible, señala: “[...] *como es sabido, extendiendo sobre una hoja de papel, sucesivamente, una capa de una solución acuosa de bromuro de potasio, luego de nitrato de plata, y secando el papel después de la aplicación de cada capa*”³³ (Becquerel, 1842, p. 5), conviene explicitar que todo este proceso debe realizarse en una cámara oscura. La anterior cita, que describe el proceso de preparado del papel, resultó valiosa para los propósitos del presente trabajo, pues, aunque no fue posible trabajar experimentalmente con bromuro de plata debido a su difícil acceso, sí se logró construir papel fotosensible a partir del proceso de papel salado, en el cual se emplea cloruro de sodio —sal común— en lugar de bromuro de potasio. Aunque este material presenta una menor sensibilidad en comparación con el bromuro de plata, permite evidenciar el efecto de ennegrecimiento bajo exposición a radiación ultravioleta. En este sentido, la revisión histórico-crítica permitió una recontextualización del experimento, aun cuando no fue posible reproducirlo de manera exacta.

Becquerel distingue dos tipos de rayos químicos, a saber, los *rayos excitadores* y los *rayos continuadores*, los cuales se representan en la Figura 10.



³² Traducción libre del texto: Becquerel, E. (1842). *Mémoire sur le rayonnement chimique qui accompagne la lumière solaire et la lumière électrique*. Imprimerie Royale.

³³ *Ibid.*

Figura 10. Rayos excitadores y rayos continuadores según Becquerel. Los rayos excitadores se extienden desde las regiones cian del espectro visible hacia más allá del ultravioleta, mientras que los rayos continuadores se distribuyen desde el verde hasta regiones situadas más allá del infrarrojo. Elaboración propia.

La manera en que Becquerel logra identificar y diferenciar estos dos tipos de rayos se expresa en la siguiente descripción experimental:

Si, después de preparar uno de estos papeles en completa oscuridad, se proyecta inmediatamente sobre su superficie el espectro solar proveniente del paso de un haz luminoso a través de un prisma de vidrio ordinario, y se examina el papel al cabo de algunos minutos, se lo ve coloreado en los rayos azules, índigo y violetas. Pero si, antes de exponerlo al espectro, se lo deja impresionar ligeramente por la luz difusa, ya no ocurre lo mismo, y la coloración tiene lugar no solo en los rayos más refrangibles, sino también en la parte superior del espectro hasta el rojo³⁴ (Becquerel, 1842, p. 6)

De este modo, Becquerel observó que, al exponer un papel fotosensible al espectro desde el azul hacia regiones situadas más allá del violeta visible, se producía el efecto de ennegrecimiento del papel, mientras que desde el amarillo hacia más allá del rojo dicho efecto no se manifestaba. Sin embargo, cuando el papel fotosensible había sido previamente impresionado con *luz difusa*³⁵, tanto los rayos comprendidos entre el azul y el ultravioleta como aquellos situados entre el amarillo y el rojo producían un efecto de oscurecimiento. En este sentido, Becquerel afirma que los rayos continuadores poseen la capacidad de prolongar una acción química previamente iniciada por la luz difusa, y observa que estos rayos no actúan directamente sobre las sales de plata, sino únicamente después de que una acción inicial ha tenido lugar (Becquerel, 1842, p. 9).

En relación con los experimentos realizados por Ritter y su identificación de dos clases de rayos —reductores y oxidantes—, puede observarse que Becquerel también distingue dos tipos de rayos químicos, aunque lo hace desde una perspectiva diferente. Mientras que Ritter enmarca esta distinción en su concepción de la polaridad de la luz, Becquerel introduce los rayos excitadores y rayos continuadores a partir de las condiciones experimentales bajo las cuales se manifiesta la acción química. En términos generales, los rayos excitadores de Becquerel corresponden a los rayos reductores identificados por Ritter, es decir, aquellos situados desde las regiones azules del espectro hacia el violeta, donde el ennegrecimiento de las sales de plata se

³⁴ *Ibid.*

³⁵ Posiblemente Becquerel se refiere a la luz del ambiente o luz que no proviene directamente de la luz dispersada por el prisma.

presenta de manera más intensa y rápida. Los rayos continuadores se corresponden con los rayos oxidantes, ubicados desde el amarillo hacia el rojo, los cuales no inician por sí mismos el proceso de ennegrecimiento, pero pueden prolongar una acción ya iniciada. A diferencia de Ritter, quien sostiene la existencia de un proceso retardador que no se logra comprender con claridad, Becquerel detalla en su memoria los procedimientos experimentales que le permiten distinguir cuándo actúan unos rayos y cuándo lo hacen los otros. Lo anterior se interpreta como un modo de estabilización del fenómeno de los rayos químicos, en la medida en que Becquerel introduce una diferenciación más precisa que la propuesta por Ritter, sustentada en la experiencia experimental.

Otro aspecto relevante del texto de Becquerel (1842) es que el autor señala que diversos investigadores —entre ellos Jean-Baptiste Bérard (1789–1869), Humphry Davy (1778–1829), Johann Heinrich Suckow (1764–1835), así como el propio William Herschel—habían identificado efectos de oscurecimiento en las sales de plata al ser expuestas a la región del rayo coloreado rojo del espectro e incluso más allá de esta. Lo anterior pone de manifiesto que para la época los resultados experimentales no eran homogéneos y coexistían interpretaciones divergentes acerca de la acción química de la luz.

Al respecto, Becquerel plantea la siguiente pregunta:

¿No provendrían estas diferencias del hecho de que los físicos, no habiendo realizado sus experimentos en una cámara perfectamente oscura, tuvieron un comienzo de combinación antes del experimento, que luego continuó como consecuencia de la acción de los rayos continuadores?³⁶ (Becquerel, 1842, p. 12).

Desde esta perspectiva, Becquerel sostiene que los efectos observados por estos científicos no se debían a una acción reductora propia de los rayos rojos o de las regiones más allá de estos, sino a un aspecto no controlado: el papel fotosensible habría sido previamente impresionado por luz difusa. En consecuencia, el oscurecimiento observado correspondía a la acción de los rayos continuadores, y no a la de los rayos excitadores.

³⁶ Traducción libre del texto: Becquerel, E. (1842). Mémoire sur le rayonnement chimique qui accompagne la lumière solaire et la lumière électrique. Imprimerie Royale.

Para finalizar el análisis histórico-crítico del texto de Becquerel, *Mémoire sur le rayonnement chimique qui accompagne la lumière solaire et la lumière électrique* (1842), se recogen a continuación dos de sus conclusiones, que resultan particularmente relevantes para los propósitos de este trabajo:

1.º Los rayos químicos de la luz solar que actúan sobre las sales de plata comprenden al menos dos órdenes de rayos: primero, los rayos químicos ordinarios, que he llamado rayos excitadores; luego, otros rayos que he llamado rayos continuadores, los cuales no hacen más que proseguir una acción ya comenzada bajo la influencia de los primeros.

2.º Estos rayos continuadores se hallan situados en la parte superior del espectro solar, es decir, acompañan a los rayos anaranjados, amarillos, verdes, y quizá también a los rayos azules, los menos refrangibles; pero, en este último caso, se confunden con los primeros (los rayos excitadores). En efecto, se sabe que estos últimos acompañan generalmente a los rayos más refrangibles de la luz, y que hay algunos que, en el espectro solar, se encuentran incluso más allá del violeta.³⁷ (Becquerel, 1842, pp. 14-15)

Con estas conclusiones que se resaltan aquí, se evidencia el aporte de Becquerel a la comprensión de la acción química de la luz; además, de posibilitar un diálogo con los textos de Ritter y los dos tipos de rayos químicos que ellos organizaron.

A partir de la reconstrucción histórico-crítica desarrollada en este capítulo, se obtuvieron las herramientas conceptuales y experimentales necesarias para la elaboración de una propuesta experimental, orientada a la enseñanza de la física. En particular, el análisis de los trabajos de estos investigadores del siglo XIX permitió identificar los modos históricos de hacer visible la acción de la luz en sus regiones invisibles mediante sus diversos efectos, así como comprender las condiciones experimentales que posibilitan su estabilización. Desde la perspectiva fenomenológica asumida aquí, estos aportes abren la posibilidad de reivindicar el papel de la experiencia directa en la construcción del conocimiento científico. En el siguiente capítulo, se recontextualizan la interpretación hermenéutica e histórico-crítica producto de este capítulo en la construcción de los efectos y el diseño de la propuesta experimental.

³⁷ *Ibid.*

Capítulo 3. Construcción de efectos sensibles

3.1 Actividad perceptual: efecto químico

En coherencia con lo desarrollado en el capítulo anterior, el efecto químico constituye uno de los principales modos mediante los cuales se organizó y reconoció el fenómeno de la radiación ultravioleta. Por esta razón, es el primer efecto que se aborda en este capítulo, para luego dar paso al estudio de los efectos de fluorescencia y fosforescencia. Con el propósito de hacer visible el ennegrecimiento de sales de plata correspondiente al efecto químico, se proponen dos actividades experimentales reproducibles en contextos de aula, ambas orientadas a evidenciar el efecto sobre sustancias fotosensibles bajo la acción de la luz ultravioleta. La primera actividad se basa en el uso de *papel salado* fotosensible preparado con nitrato de plata ($AgNO_3$) y cloruro de sodio (NaCl), mientras que la segunda emplea el procedimiento de fotografía experimental de la *cianotipia*.

Durante la construcción de estas actividades se identificó que la cianotipia presenta ventajas significativas en el contexto educativo, al tratarse de un procedimiento más económico y al utilizar químicos de manejo más seguro y accesible, sin perder su capacidad para hacer visible el efecto buscado. Por su parte, el trabajo con papel salado, aunque exige mayores cuidados en el manejo de los químicos y el uso de espacios con control de la iluminación, permite evidenciar de manera directa cómo las comprensiones históricas de los llamados rayos químicos fueron fundamentales en el desarrollo temprano de la fotografía, lo cual permite una conexión entre el conocimiento científico y los avances técnicos.

En este punto es necesario recordar que desde la perspectiva fenomenológica, el interés no se centra únicamente en el resultado final del proceso, sino en la manera en que el efecto se va manifestando progresivamente a la experiencia. Así, la experiencia se constituye como un punto de partida para comprender cómo la acción de una radiación invisible se hace sensible a través de un efecto observable. Por esta razón en este capítulo en particular el discurso es en primera persona con el fin de dar cuenta de la *experiencia vivida* propia de los planteamiento fenomenológicos.

3.1.1 Efecto químico mediante sales de plata

En esta sección describo la construcción del efecto químico a través del proceso del papel salado. Este procedimiento consiste en sensibilizar un papel mediante la combinación de nitrato de plata y cloruro de sodio —sal común— para, posteriormente, exponerlo a la acción de la luz ultravioleta. A través de este procedimiento busco traer a la experiencia en primera persona el efecto de ennegrecimiento de las sales de plata, efecto que fue observado y descrito históricamente por investigadores como Ritter y Becquerel.

Para la construcción del papel salado fue necesario disponer de los siguientes materiales y químicos: papel acuarela³⁸; una fuente de luz ultravioleta (Figura 11 [1]); dos recipientes de plástico (Figura 11 [2]); pinzas de plástico (Figura 11 [3]); una brocha de espuma (Figura 11 [4]); ganchos de plástico o de madera para colgar el papel durante el secado (Figura 11 [5]); dos vidrios o un portarretrato para prensar el papel junto con el negativo —el cual puede elaborarse a partir de elementos vegetales o mediante un diseño propio impreso sobre acetato—; nitrato de plata

(Figura 11 [6]); cloruro de sodio (Figura 11 [7]); y fijador fotográfico universal (Figura 11 [8]). Adicionalmente, utilice material de protección personal, incluyendo bata de laboratorio, guantes —debido a que el nitrato de plata mancha la piel—, tapabocas y gafas de seguridad.



Figura 11. Materiales y químicos para la construcción del papel salado. Elaboración propia.

Descripción del preparado del papel salado

Para la construcción del papel salado preparé inicialmente una solución de cloruro de sodio³⁹ (solución A), utilizando una proporción de 1 gramo de sal por 50 ml de agua destilada⁴⁰.

³⁸ El papel acuarela presenta la ventaja de ser un material accesible y de alta resistencia al agua, característica indispensable para los procesos de sensibilización, lavado y manipulación del papel durante la construcción del efecto.

³⁹ En caso de no contar con un mezclador magnético de laboratorio, es posible calentar ligeramente el agua con el fin de facilitar la disolución de las sales. Esta recomendación aplica tanto para la preparación de la solución de cloruro de sodio como para la disolución del nitrato de plata, sin elevar excesivamente la temperatura.

⁴⁰ Como solvente también funciona agua estéril de uso farmacéutico disponible en droguerías. No se recomienda el uso de agua del grifo, ya que la presencia de impurezas o sales disueltas puede interferir en el efecto.

Posteriormente, elaboré una segunda solución (solución B) a partir de nitrato de plata, en una proporción de 4 gramos de nitrato de plata disueltos en 33 ml de agua destilada. Esta segunda solución fue almacenada en un recipiente de vidrio oscuro y conservada en un lugar sin exposición directa a la luz, debido a su fotosensibilidad.

Una vez preparadas ambas soluciones, procedí a la sensibilización del papel de acuarela. Para ello, corté muestras de papel de (8 × 8) cm y las fijé sobre una base rígida con el fin de evitar desplazamientos durante la aplicación de las soluciones. En primer lugar, apliqué la solución A⁴¹ de manera uniforme sobre la superficie del papel, realizando una única pasada con la brocha de espuma. Tras esta aplicación, se llevó a cabo el secado con un secador de cabello, cuidando que no quedaran zonas húmedas antes de continuar con el procedimiento.

Cuando el papel estuvo completamente seco, en condiciones de iluminación reducida, apliqué la segunda capa correspondiente a la solución B. Esta aplicación se realizó de manera uniforme y con cuidado de evitar la exposición a la luz, es decir se realizó el procedimiento en un cuarto casi totalmente oscuro. Una vez sea aplicada la solución B el papel ya es fotosensible por lo cual es necesario evitar cualquier exposición prematura a la luz. Finalmente, el papel una vez sensibilizado se dejó secar durante aproximadamente 30 minutos en un espacio oscuro.

Diario perceptual: descripción cualitativa de la experiencia

Condiciones experimentales:

La experiencia se llevó a cabo en un cuarto casi oscuro, a temperatura ambiente y durante las horas de la noche, con el fin de minimizar la luz ambiente. El papel previamente sensibilizado y seco se dispuso sobre una base horizontal, a una distancia aproximada de 6 cm de la fuente de luz ultravioleta artificial, tal como se muestra en la Figura 12.

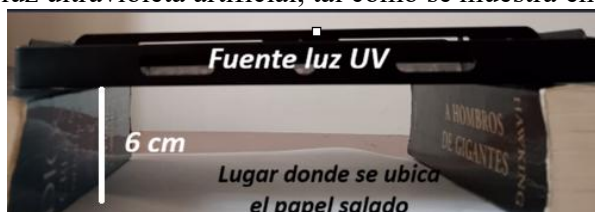


Figura 12. Montaje experimental para la exposición del papel salado a la fuente de luz ultravioleta.
Elaboración propia.

⁴¹ Es necesario conservar este orden de aplicación, ya que permite la formación de cloruro de plata (AgCl) sobre el papel, sustancia fotosensible cuya presencia es fundamental para la manifestación del efecto.

Adicionalmente, fue necesario contar con un espacio cercano destinado al proceso de lavado del papel, tanto con agua del grifo como con el fijador, así como con un lugar adecuado para la eliminación de los residuos químicos generados durante la experiencia. Asimismo, el montaje de la fuente de luz ultravioleta se mantuvo preparado con antelación, de modo que el papel pudiera ser expuesto inmediatamente después de ser retirado de la oscuridad, reduciendo así posibles influencias de luz difusa.

Descripción de la experiencia vivida:

Una vez el papel fotosensible estuvo completamente seco, procedí a realizar la exposición a la luz ultravioleta artificial (Figura 13a.), manteniendo nuevamente condiciones de oscuridad en el espacio de trabajo. El efecto de oscurecimiento de la plata lo percibí casi inmediatamente después de la exposición y con el transcurso del tiempo el efecto se intensificó, lo cual percibí mediante un mayor oscurecimiento de la sal de plata.

Tras aproximadamente 25 minutos, finalicé la exposición y realicé un primer lavado del papel con agua del grifo (Figura 13b.), momento en el cual el contraste entre las zonas expuestas y no expuestas empezó a hacerse visible. Posteriormente, el papel fue lavado en el fijador fotográfico universal (Figura 13c.), lo que permitió estabilizar el efecto observado ya que permitió fijar mejor la imagen. Posteriormente realicé un último lavado con agua del grifo (Figura 13b.); cada uno de estos lavados tuvo una duración aproximada de 3 minutos.

Luego, el papel se dejó secar en un espacio oscuro (Figura 13d.). Durante este proceso, el efecto de ennegrecimiento sobre el papel se logró fijar de mejor manera, permitiendo reconocer de manera clara el resultado de la acción química de la radiación ultravioleta sobre la sale de plata. Finalmente se obtuvo el resultado final (Figura 13e.)



Figura 13. Secuencia del proceso de impresión sobre el papel salado. Elaboración propia.

Discusión fenomenológica: organización de la experiencia

La experiencia tanto en la elaboración del papel salado como en el proceso de ennegrecimiento de las sales de plata evidencio, en coherencia la revisión histórico-crítica, que el trabajo en ambientes oscuros o con iluminación reducida exige un alto grado de atención y destreza experimental, así como un manejo cuidadoso de los reactivos químicos involucrados. Si bien en la actualidad se dispone de instrumentos como las luces de seguridad, el alto costo de estos materiales me condujo a recurrir a métodos más tradicionales. Aunque esta decisión representó un reto experimental, resultó enriquecedora al mismo tiempo para mí, en la medida en que me permitió vivenciar condiciones similares a las descritas en los trabajos históricos y lograr evidenciar el efecto químico buscado.

Por otra parte, lo que se manifestó a mí experiencia en la preparación del papel salado fue la importancia del orden en el que se aplican las soluciones. El hecho de aplicar primero la solución de cloruro de sodio y posteriormente la de nitrato de plata no constituye un detalle sólo técnico, sino una condición necesaria para que el efecto de ennegrecimiento pudiera tener lugar.

Otro aspecto que destacar en el proceso de impresión de la imagen fue que la reacción del papel sensibilizado a la luz es prácticamente inmediata. Esta característica exigió el desarrollo de una habilidad particular en el manejo del papel en condiciones de oscuridad y durante la exposición a la radiación ultravioleta. Por otro lado, en el producto final se observaron ciertos parches e irregularidades en la imagen obtenida. Estas pueden atribuirse a diversos factores, tales como: el uso de papel acuarela no profesional, escogido para lograr la accesibilidad de los materiales; la técnica empleada para la aplicación de las soluciones —una brocha de espuma—, en contraste con otros métodos más homogéneos pero también más costosos; y, posiblemente, un secado incompleto de las capas antes de la exposición. No obstante, a pesar de estas dificultades, tras

varios intentos me fue posible evidenciar de manera directa el efecto buscado en la manifestación de la acción química de la radiación ultravioleta a través de sus efectos.

Finalmente, se intentó reproducir la experiencia descrita por Becquerel en relación con la distinción entre rayos excitadores y rayos continuadores, sin embargo, se presentaron dificultades. A diferencia del contexto experimental del siglo XIX, en la actualidad no se cuenta con cuartos oscuros diseñados para la dispersión de la luz mediante prismas y la obtención del espectro solar. Por esta razón, se recurrió al uso de fuentes artificiales de radiación ultravioleta. Asimismo, la imposibilidad de garantizar un papel salado completamente libre de la acción de la luz difusa del ambiente dificultó la reproducción exacta de la experiencia de Becquerel, a pesar de los múltiples intentos realizados. Estas dificultades permiten comprender, de manera más profunda, la complejidad experimental involucrada en los estudios históricos sobre los rayos químicos.

Descripción de variables

Tiempo de exposición (variable): Se consideraron intervalos de exposición de 4, 8, 12, 16, 20 y 24 minutos (Figura 14).

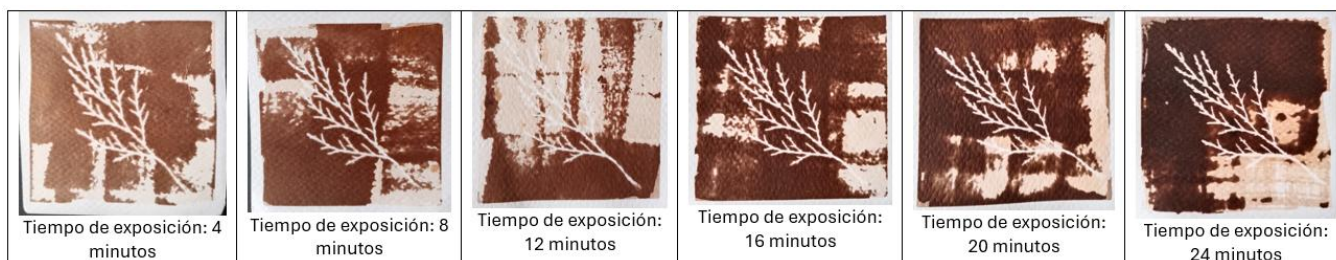


Figura 14. Registro temporal de la exposición del papel salado a la luz ultravioleta artificial. Cada muestra fue expuesta durante intervalos de 4, 8, 12, 16, 20 y 24 minutos. Elaboración propia.

Como se evidencia en la secuencia del registro fotográfico, a mayor tiempo de exposición, mayor es el grado de ennegrecimiento del papel salado, así como una mayor definición de los detalles del negativo. Esta relación entre la intensidad del efecto y la variación del tiempo de exposición también se encuentra reportada en las experiencias históricas de Ritter y Becquerel.

Área de incidencia de la luz (constante): 8×8 cm.

Distancia entre la fuente UV y el papel (constante): 6 cm.

Fuente de radiación ultravioleta (constante): Lámpara UV artificial con frecuencia de alimentación de 50/60 Hz y longitud de onda en el rango 385–400 nm.

Proporciones de las sustancias (constantes): Solución A: 1 % y Solución B: 12 %

3.1.2 Efecto químico a través de Cianotipia

La revisión bibliográfica permitió establecer que el efecto químico que produce la luz ultravioleta no se manifiesta exclusivamente sólo en las sales de plata. Existen otros materiales fotosensibles capaces de registrar la acción de esta luz mediante efectos visibles. Entre ellos, una técnica ampliamente utilizada en la fotografía experimental y analógica es la cianotipia, la cual se basa en la transformación fotoquímica de compuestos metálicos de hierro que permiten la formación de una imagen visible, a partir de la exposición selectiva mediante positivos o negativos. Para la construcción experimental de este efecto necesité dos químicos, los cuales se presentan en la Figura 15.



Figura 15. Químicos necesarios para la cianotipia. Químico A (citrato férrico amoniacal) y Químico B (ferricianuro de potasio). Elaboración propia.

Estos químicos deben conservarse en un lugar oscuro y fresco, debido a su sensibilidad a la luz. Para su manipulación usé medidas básicas de protección, tales como el uso de guantes, tapabocas y bata de laboratorio.

Adicionalmente, para la construcción del efecto necesité un recipiente de vidrio en la cual realizar la mezcla de los dos químicos (Figura 16 [1]); un instrumento de agitación (Figura 16 [2]) — puede ser de vidrio o de plástico, evitando el uso de materiales metálicos para evitar reacciones químicas no deseadas—; una brocha de espuma para la aplicación de la solución fotosensible (Figura 16 [3]); dos pipetas para la medición de las cantidades (Figura 16 [4a, 4b]), una destinada exclusivamente a cada químico; papel de acuarela sin blanqueadores ópticos ni aditivos químicos de fabricación (Figura 16 [5]); y un negativo (Figura 16 [6 y 7]), que puede consistir en un diseño impreso sobre acetato o en negativos vegetales. Finalmente, necesité un soporte que me permitió mantener en contacto y de manera estable el papel de acuarela y el negativo durante la exposición, el cual puede construirse mediante dos placas de vidrio con prensas o, de forma práctica, mediante un portarretrato (Figura 16 [8]).

Figura 16. Materiales necesarios para el efecto con la cianotipia.



Descripción del preparado del papel sensible

Luego procedí a cortar el papel de acuarela en tamaños de (8x16) cm. A continuación, realice la preparación de la mezcla de los dos químicos (A y B) en proporción 1:1, asegurándome de homogeneizar completamente la solución. Además, es necesario agregar primero la solución A y posteriormente la solución B, evitando que las pipetas de cada químico se mezclen entre ellas porque se dañan los reactivos. Luego apliqué la mezcla sobre el papel acuarela utilizando una brocha de espuma, procurando cubrir toda la superficie de manera uniforme. Se recomienda aplicar dos capas para asegurar una sensibilidad adecuada. Posteriormente, dejé secar el papel en un lugar oscuro, también es posible secar mediante un secador de cabello a temperatura moderada. Una vez seco el papel, este quedó sensibilizado y listo para montar el negativo y proceder a la exposición a la luz ultravioleta. Esta exposición se puede realizar con una fuente de luz ultravioleta artificial o con nuestra fuente natural de radiación ultravioleta: el sol. En el caso particular de mí propia experiencia lo realice con exposición directa al sol.

Diario perceptual: Descripción cualitativa

Condiciones experimentales:

Una vez realice el sensibilizado del papel con la solución férrica de la cianotipia, realice el montaje del negativo vegetal sobre la superficie sensible y procedí a su exposición a la luz solar natural. Con el fin de registrar las condiciones de la experiencia, hice uso de la aplicación gratuita para dispositivos móviles “*Tiempo & Radar*”, la cual me permitió consultar el índice de radiación

ultravioleta durante el periodo de exposición. Según los datos reportados por la aplicación, el día 7 de diciembre de 2025, entre las 10:00 y las 11:00 de la mañana, el índice UV estuvo entre 9 y 11. Estas condiciones resultaron favorables para la acción química buscada para el proceso de la cianotipia. Para asegurar una incidencia directa de los rayos de luz solar sobre el papel sensibilizado, seleccioné una franja horaria sin presencia significativa de nubes u otros factores atmosféricos que pudieran atenuar la acción química. El registro de estas condiciones se presenta en la Figura 17.



sensibilizado, seleccioné una franja horaria sin presencia significativa de nubes u otros factores atmosféricos que pudieran atenuar la acción química. El registro de estas condiciones se presenta en la Figura 17.

Figura 17. Reporte del índice de radiación ultravioleta registrado el 7 de diciembre de 2025 a las 10:00 a. m. Elaboración propia.

Descripción de la experiencia vivida

Con el propósito de reconocer cómo con el tiempo de exposición que incide en el papel se aparece a mí experiencia el efecto químico, procedimiento que realizaron tanto Ritter como Becquerel, seleccione cinco papeles previamente sensibilizados mediante la técnica de la cianotipia, cada uno con área de (8 × 16) cm. Cada papel lo expuse de manera independiente a la luz solar natural durante intervalos de tiempo distintos: 4, 6, 8, 10 y 12 minutos, como se muestra en la Figura 18.



Figura 18.Registro temporal de papel sensibilizado con cianotipia. Cada papel se expuso a la luz solar natural en intervalos de 4, 6, 8, 10 y 12 minutos. Elaboración propia.

Lo que se presenta a mi experiencia es que la acción de la luz no se manifiesta de manera idéntica en todos los casos, sino que el efecto químico se hace visible de forma progresiva y diferenciada

según el tiempo de exposición⁴². Observo que antes de la exposición, el papel sensibilizado presenta una tonalidad amarilla característica de este método; sin embargo, a medida que el tiempo de incidencia de la luz aumenta, observo que el color del papel comienza a modificarse gradualmente, dando lugar a tonalidades cada vez más oscuras, tal como se evidencia en la Figura 18.

Posteriormente, tras finalizar la exposición y realizar el proceso de lavado con agua⁴³, seguido del secado, evidenció el efecto químico se hace evidente con *el color cian* característico de este método. En esta etapa, se hace evidente para mí que los papeles que estuvieron expuestos durante un mayor intervalo de tiempo presentan un tono cian más intenso y profundo, mientras que aquellos con tiempos de exposición más cortos conservan tonalidades más claras (Figura 19).



Figura 19. Comparación del tiempo de exposición después del lavado y del secado. Elaboración propia.

Discusión fenomenológica: organización de la experiencia

Lo que pude reconocer a través de mi propia experiencia es que la acción invisible de la radiación ultravioleta proveniente del Sol —la cual no es perceptible directamente— se manifiesta a través de un efecto visual claramente identificable: el cambio de color del papel sensibilizado mediante el procedimiento de cianotipia. Este efecto se hizo evidente para mí a partir de la exposición de distintos papeles fotosensibles durante tiempos variables, lo que permitió observar diferencias en la intensidad del color obtenido. Asimismo, el registro fotográfico realizado durante el proceso constituyó un apoyo para que yo lograra reconocer y comparar estos cambios, evidenciando el efecto químico producido por la radiación solar.

⁴² En el siguiente video se puede observar el cambio de color del papel sensibilizado con cianotipia al ser expuesto al sol: <https://youtu.be/cr1-KeAqKKM>

⁴³ En este video se puede observar el cambio de color al momento del lavado: <https://youtu.be/Frw3zy36dmc>

Desde mi experiencia, tanto el proceso de sensibilizar el papel como las posteriores exposiciones al sol representaron una oportunidad para dialogar y comprender las experiencias reconstruidas en el análisis histórico-crítico. Este ejercicio experimental no solo me permitió hacer visible el efecto buscado, sino que también dio lugar a la formulación de preguntas que emergieron directamente de la experiencia, tales como: ¿cómo estar segura de que lo que actúa sobre el papel fotosensible es efectivamente la radiación ultravioleta y no los demás rayos de la luz solar? Este tipo de interrogantes me condujo a considerar distintas estrategias experimentales, más allá del uso de fuentes artificiales de luz ultravioleta, con el fin de dar cuenta de estas inquietudes. De este modo, me condujo a reflexionar que tales preguntas difícilmente habrían surgido sin la experiencia directa y experimental que logre construir.

Descripción de variables

Tiempo de exposición: variable = (4, 6, 8, 10, 12) minutos (Figura 18)

Area de incidencia de la luz: constante = 8×16 cm

Índice UV: 9

Dado que en este efecto la fuente de radiación fue el Sol, se tuvieron en cuenta las condiciones astronómicas y geográficas en las que se realizó la experiencia. La exposición se llevó a cabo el 07 de diciembre de 2025, fecha en la cual la Tierra se encontraba aproximándose al perihelio, a catorce días del solsticio de diciembre (21 de diciembre), condiciones que inciden en la intensidad de la radiación solar incidente.

Ubicación geográfica: Bogotá, Colombia (latitud aproximada 4.7° N).

De este modo, el estudio de la radiación ultravioleta conduce de manera natural y necesaria a considerar su fuente principal: el Sol. Por lo que abordar el efecto químico a partir de la exposición solar implicó reconocer que la acción de esta radiación no puede desvincularse de los fenómenos asociados al movimiento de la Tierra en relación con el Sol. Esta articulación amplía el horizonte de comprensión del fenómeno, al permitir establecer conexiones con situaciones de la vida cotidiana y con otros contenidos de la física y de las ciencias naturales, favoreciendo un abordaje interdisciplinar.

3.2 Actividad perceptual: efecto de fluorescencia

Dado que, en los textos originales interpretados en el capítulo 1 de reconstrucción histórica, no fue posible identificar con precisión las piedras o minerales específicos con los que Ritter y Becquerel exploraron el fenómeno de la fluorescencia bajo radiación ultravioleta, se optó por recurrir a otros compuestos para la construcción experimental de este efecto. Se buscó en diferentes compuestos orgánicos el efecto de fluorescencia bajo luz ultravioleta, de lo cual se obtuvo que la *clorofila* es un compuesto orgánico fotosensible a la radiación ultravioleta. El uso de compuestos orgánicos tiene varias ventajas en el contexto educativo: son materiales más accesibles y seguros que muchos compuestos químicos artificiales, y son sustancias con las que los estudiantes pueden trabajar de manera directa. Además, la clorofila hace parte del entorno cotidiano de los estudiantes, lo que permite que ellos mismos realicen la recolección del material para la actividad experimental.

De este modo, construí el efecto de fluorescencia de la siguiente manera: realicé la extracción de clorofila de las siguientes plantas: Onagra Común (Muestra 1: M1), Dama de la Noche (Muestra 2: M2), Trompeta de Ángel (Muestra 3: M3) y Estramonio (Muestra 5: M5). También busque el efecto de fluorescencia en las siguientes flores, que presentaban un comportamiento nocturno⁴⁴: Lirio de Cara Blanca (Muestra 4: M4) y Caballero de la noche (Muestra 6: M6)⁴⁵.

Descripción del proceso de extracción

El proceso de extracción consistió en seleccionar partes de las hojas de las plantas y de las flores, las cuales posteriormente corte en trozos pequeños. Estos trozos se sumergieron en *alcohol isopropílico*⁴⁶ y deje la mezcla reposar en un lugar oscuro, a temperatura ambiente durante una semana para que la extracción de los compuestos fuera óptima. Posteriormente realicé el proceso de macerado de los trozos, también a temperatura ambiente, con el fin de recuperar los

⁴⁴ La selección de flores con comportamiento nocturno respondió a un criterio exploratorio, orientado a identificar si estas flores presentan también efecto de fluorescencia como la clorofila pero con diferente efecto cromático.

⁴⁵ Todas estas plantas y flores se obtuvieron en los viveros de Paloquemao de Bogotá, Colombia. La elección de estas plantas y flores en particular fue por recomendación de una bióloga con gran conocimiento en plantas.

⁴⁶ Se seleccionó este alcohol en particular ya que con el uso de alcohol común no se logró el efecto buscado.

compuestos restantes que aún quedaban en el material vegetal. Finalmente, llevé a cabo el proceso de filtrado (Figura 20).

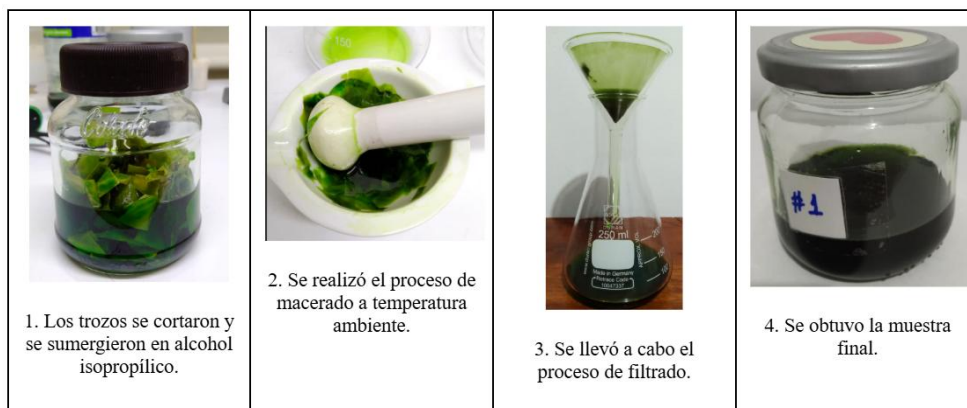


Figura 20. Pasos para obtener la muestra de clorofila. Extracción de clorofila a partir de hojas de las muestras. Materiales: frascos de vidrio, Erlenmeyer, filtros de papel, embudo de vidrio, mortero, alcohol isopropílico y muestras. Elaboración propia.

Una vez que todas las muestras habían completado el proceso de extracción descrito anteriormente, procedí a exponer cada muestra a luz ultravioleta, con el fin de identificar si se evidenciaba el efecto de fluorescencia buscado. Durante la continuidad de la experiencia y la construcción del efecto me surgieron las preguntas: ¿en el efecto de fluorescencia observado tiene algún efecto el solvente de la muestra, en este caso, el alcohol isopropílico? y ¿el efecto de fluorescencia se hace presente a la experiencia sólo bajo luz ultravioleta, o es posible que se manifieste bajo los rayos coloreados visibles? La respuesta a cada una de estas preguntas se fue desarrollando y dando solución en la misma continuidad de la construcción de las actividades experimentales.

Diario perceptual: Descripción cualitativa

Condiciones experimentales:

La experiencia la realicé en un cuarto oscuro, a temperatura ambiente, durante las horas de la noche. Cada muestra la conservé en un recipiente de vidrio. Posteriormente a una distancia de 10 cm situé la fuente de luz ultravioleta artificial, de manera que esta incidía directamente sobre las muestras. Para documentar los efectos observados, realicé registro fotográfico.

Descripción de la experiencia vivida:

Expuse las muestras tanto a luz blanca como a la luz ultravioleta, manteniendo la misma distancia entre la fuente de luz y los frascos (10 cm), a temperatura ambiente. Los efectos visuales observados, correspondientes a la fluorescencia de cada muestra, se evidencian a continuación⁴⁷:

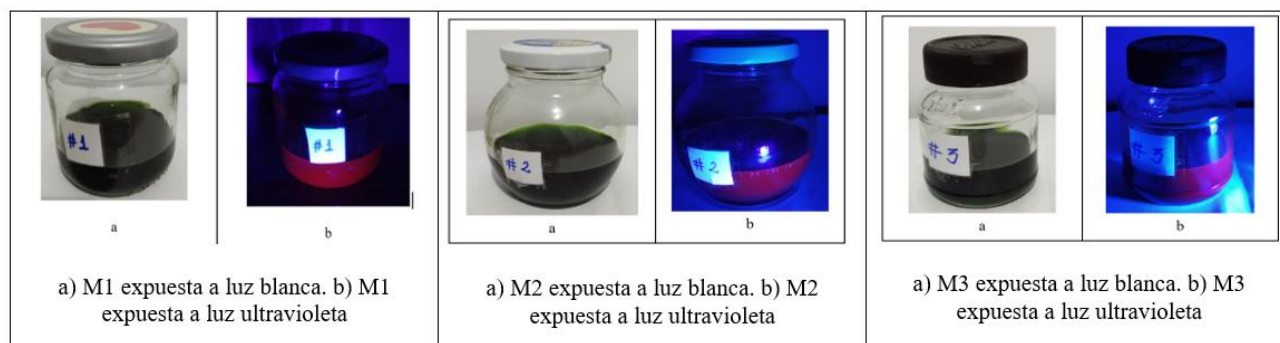


Figura 21. Comparación visual de efecto de las muestras 1,2 y 3 bajo luz blanca y luz ultravioleta Elaboración propia.



Figura 22. Comparación visual de efecto de las muestras 4,5 y 6 bajo luz blanca y luz ultravioleta. Elaboración propia.

Lo que se presenta a mi experiencia es: al exponer a luz blanca natural, las muestras 1, 2, 3 y 5 se perciben de color verde (Sección a. de las Figuras 21 y 22). Sin embargo, al ser expuestas a la luz ultravioleta, estas mismas muestras cambian de color a un rojo vivo fluorescente (Sección b. de las Figuras 21 y 22), que aparece de forma inmediata al incidir la luz ultravioleta sobre las sustancias.

En el caso de las muestras 4 y 6, correspondientes a los extractos de las flores, el cambio observado es más sutil: bajo luz blanca natural se perciben de color amarillo (Sección a. Figura 22) y, al ser expuestas a la luz ultravioleta, el color pasa a un amarillo ligeramente fluorescente

⁴⁷En este video se puede observar el efecto https://youtu.be/T2_E3XP8S0U

(Sección b. Figura 22). Este efecto, aunque perceptible, no se presenta con la misma intensidad ni claridad que en las muestras de clorofila.

Además, a partir de mi experiencia se evidenció que las muestras 1, 2, 3 y 5 presentaron un mismo efecto perceptual al ser expuestas a la luz ultravioleta: el paso de color verde a un rojo vivo fluorescente. Este resultado no era conocido al inicio de la experiencia, ya que se esperaba encontrar una mayor variación cromática entre las distintas muestras; sin embargo se observó que todas las muestras 1,2,3 y 5 de clorofila presentaron el mismo efecto.

En relación con la dimensión temporal de la experiencia, observé que el efecto de fluorescencia aparece de manera inmediata al encender la fuente de luz ultravioleta y desaparece completamente al retirarla; en otras palabras, no se percibe una permanencia del color rojo fluorescente una vez cesa la exposición a la luz ultravioleta. Este carácter transitorio del fenómeno se hace evidente a través de la alternancia entre encender y apagar la fuente de luz ultravioleta.

En este punto es necesario aclarar que no fue posible construir un espectro por dispersión, como los realizados históricamente por Newton o Herschel. Por esta razón, se optó por el uso de una fuente de radiación ultravioleta artificial que, aunque emite una luz perceptible de tonalidad azul-violeta, también contiene radiación ultravioleta que no es directamente visible. Esta fuente, aunque artificial permitió reconocer el fenómeno de fluorescencia, en el cual la radiación ultravioleta se manifiesta a la experiencia mediante la emisión de luz visible. En este sentido, se reafirma que el interés del presente trabajo no radica en hacer visible directamente la radiación ultravioleta, sino en hacerla aparecer a la experiencia a través de sus efectos.

Al hacer uso de alcohol isopropílico, y no alcohol común, me surge la pregunta de si ¿el efecto de fluorescencia observado podría deberse al alcohol mismo? Para descartar esta posibilidad, realicé la exposición del alcohol isopropílico puro a la luz ultravioleta, bajo las mismas condiciones experimentales empleadas con las muestras, el efecto se evidencia en la Figura 23.



Figura 23. Alcohol isopropílico puro expuesto a luz ultravioleta. Elaboración propia.

En esta experiencia no observe la aparición del efecto fluorescente observado en las muestras con extractos de clorofila. A partir de esta comparación, evidencié que el efecto de fluorescencia registrado correspondía a los extractos de clorofila de cada una de las muestras y no al solvente del extracto.

Otra pregunta que me surgió durante la experiencia fue si el efecto de fluorescencia observado —color rojo vivo intenso— se evidencia únicamente bajo de luz ultravioleta o puede manifestarse también al incidir sobre la muestra de clorofila otros rayos coloreados del espectro visible. En otras palabras, busqué establecer si el efecto de fluorescencia es exclusivo de la luz ultravioleta o si podía observarse, al menos parcialmente, bajo otros tipos de luz.

Para dar respuesta a la anterior pregunta realicé un análisis visual comparativo, haciendo incidir sobre una de las muestras de clorofila —M1— diferentes tipos de luz mediante el uso de filtros de color. Exploré sucesivamente la luz natural, la luz ultravioleta artificial y diversos rangos del espectro visible —violeta, azul, cian, verde, amarillo y rojo—, registrando en cada caso la apariencia perceptual de la muestra tanto sobre fondo blanco como sobre fondo negro. Las observaciones obtenidas se consignan en la Figura 24.

	Luz natural	Luz UV artificial	Lente Violeta	Lente Azul	Lente Cian	Lente Verde	Lente Amarillo	Lente Rojo
Fondo blanco								
Fondo negro								

Figura 24. Análisis visual comparativo de la exposición del extracto de clorofila a diferentes tipos de luz. Elaboración propia

Como se puede evidenciar en la figura 24, al analizar los efectos bajo los diferentes filtros de color, se evidencia que algunos filtros del espectro visible producían cambios leves en la

apariencia de la muestra de clorofila, con tonos que tendían hacia el rojo marrón, aunque nunca alcanzaban la intensidad y vivacidad del rojo fluorescente registrado bajo luz ultravioleta. Esta comparación evidencia que, aunque ciertos filtros del espectro visible pueden inducir matices rojizos, el efecto intenso y característico sólo se manifiesta bajo la acción de la luz ultravioleta.

Discusión fenomenológica: organización de la experiencia

A partir del registro fotográfico de la experiencia vivida fue posible identificar y diferenciar visualmente el efecto de fluorescencia. Este efecto constituyó un modo específico de evidenciar la interacción entre la luz ultravioleta y el extracto de clorofila, la cual, como se pudo observar tiene una sensibilidad característica a los rayos ultravioleta. Este efecto se hace presente a la experiencia a través de un cambio que se evidencia visualmente con un color rojo intenso. Este efecto es propio de la luz ultravioleta cuando incide sobre el extracto; además, se evidencia desde la experiencia que el efecto de fluorescencia no se presenta como una propiedad permanente de la muestra, sino como un efecto que aparece únicamente mientras la luz actúa sobre ella y desaparece de manera inmediata al cesar dicha acción, algo que podría entenderse como que el efecto no es perdurable en el tiempo. Sin embargo, aunque las muestras siguieron funcionando casi por un mes, el efecto en cada exposición se fue atenuando, lo cual posiblemente fue producto de una degradación del extracto, del cual no se logró identificar si la causa fue por la luz o por factores externos.

Cómo se desarrolló en el capítulo 1, dedicado a la reconstrucción histórica y su interpretación, en una época en la que no se tenía conocimiento de la existencia de rayos más allá del violeta visible, Ritter identificó la presencia de radiaciones invisibles que no poseían el poder iluminar, pero sí eran capaces de producir una acción química sobre ciertas sustancias. Si bien la acción o la transformación química no se evidencia directamente en la experiencia, si hay un efecto que da cuenta, por un lado de la existencia de estos rayos químicos y por otro de que la sustancia está siendo afectada de manera diferenciada por este tipo de luz, ocasionando el efecto único de fluorescencia. Si bien en este trabajo no se reprodujo el procedimiento histórico de descomposición de la luz blanca mediante un prisma, tal como lo realizaron Herschel y Ritter, se recurrió al uso de una fuente de luz ultravioleta artificial. Aunque esta luz no es invisible en sí misma, su uso permitió hacer manifiesto el efecto en la experiencia visual directa, conservando el objetivo central de reconocer la acción de una radiación más allá del violeta visible.

El objetivo de este trabajo no es dar cuenta de la clorofila como compuesto orgánico ni sobre su organización química interna que la caracteriza, aunque el estudio de la luz ultravioleta puede ser una oportunidad para proyectos interdisciplinarios con el área de Biología. No obstante, resulta pertinente introducir una breve descripción de este compuesto orgánico. La clorofila es un pigmento presente en las plantas, especialmente en las hojas, y cumple un papel fundamental en la absorción de la energía de la luz solar, proceso esencial para la fotosíntesis. Asimismo, se reconocen distintos tipos de clorofila: a, b, c, d, e y f, siendo la clorofila tipo *a* y tipo *b* las más abundantes en plantas terrestres (Khan Academy, s. f.).

Particularmente en esta monografía no se contó con los instrumentos necesarios para identificar con precisión el tipo de clorofila presente en cada muestra; sin embargo, el espectro de absorción reportado para la clorofila sugiere que es altamente probable que los extractos correspondan a clorofila *a* o *b*, dado que estos pigmentos presentan una marcada absorción en regiones del espectro cercanas al violeta, lo cual constituye una condición favorable para la interacción con la radiación ultravioleta (Figura 25). Esta característica resulta coherente con el efecto fluorescente observado bajo la acción de la luz ultravioleta.

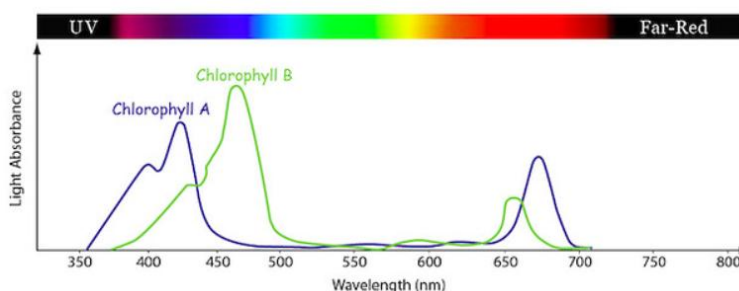


Figura 25. Espectro de absorción de la clorofila a y b. Adaptado de Luz y fotosíntesis, por LibreTexts Español (s. f.), recuperado el 20 de diciembre de 2025 de https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Biologia/Botanica/La_ciencia_de_las_plantas%3A_comprende%3Bn_de_las_plantas_y_c%3Bmo_crean_%28Michaels_et_al.%29/11%3A_Agua_y_Luz/11.02%3A_Luz_y_Fotos%3ADntesis

Descripción de variables

Tiempos de exposición a la luz UV: variables = 2, 4, 6

Distancia entre las muestras y la fuente de luz: constante = 10cm

Tipos de luz: variable = luz solar, luz fuente UV artificial, filtros ópticos de colores: violeta, azul, cian, naranja, amarillo, verde y rojo.

3.3 Actividad perceptual: Efecto visual de fosforescencia

Para la construcción del efecto de fosforescencia se utilizó un compuesto químico de fácil acceso: polvo fosforescente comercial (“*Glow in the Dark*”), comúnmente empleado en artesanías con resina (Figura 26). La elección de este material respondió a su disponibilidad, su valor accesible y a su capacidad para evidenciar de manera clara el efecto buscado. En un inicio consideré



trabajar con minerales naturales como la calcita o la fluorita, utilizados históricamente en estudios sobre este efecto; sin embargo, no fue posible acceder a este tipo de muestras. Polvo fosforescente usado para el efecto.

Figura 26. Polvo fosforescente utilizado para la construcción del efecto. Elaboración propia.

Descripción de preparación de la muestra

Para la elaboración de la muestra fosforescente utilicé únicamente el polvo fosforescente, un recipiente de vidrio con tapa y agua del grifo. Preparé una mezcla con 3 gramos de polvo fosforescente y 10 ml de agua, la cual mezclé hasta lograr una homogeneización adecuada. Una vez preparada, la mezcla quedó lista para la observación del efecto fosforescente.

El color natural de la mezcla bajo luz blanca es el que se observa en la Figura 27. Cabe señalar que esta mezcla puede conservarse durante varios meses sin perder su capacidad de producir el efecto, lo que permite su reutilización en distintas actividades experimentales. Además, en esta experiencia, decidí trabajar con la muestra en estado líquido con el fin de observar de manera más clara la evolución temporal del efecto; no obstante, el polvo también puede emplearse en forma de pinturas u otras configuraciones, en las que igualmente es posible evidenciar la fosforescencia.

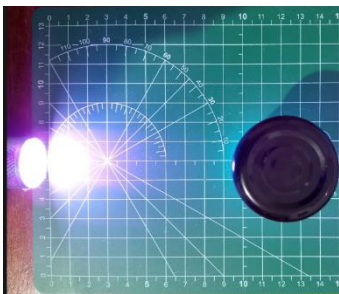


Figura 27. Mezcla fosforescente bajo luz natural ambiente. Elaboración propia.

Diario perceptual: Descripción cualitativa

Condiciones experimentales:

La muestra fosforescente la ubique a una distancia aproximada de 10 cm de la fuente de luz (Figura 28). La experiencia la realicé durante horas de la noche, a temperatura ambiente, con el propósito de minimizar la interferencia de la luz ambiental y favorecer la percepción del efecto.



Prepararé dos muestras con la misma concentración y las expuse durante 3 minutos a dos tipos de fuentes de luz distintas: una fuente de luz ultravioleta artificial y una fuente de luz blanca (linterna).

Figura 28. Condiciones de distancia entre la mezcla y las fuentes de luz.
Elaboración propia.

Una vez finalizado el tiempo de exposición luminosa, retiré las fuentes de luz para registrar la evolución temporal del efecto. Con el fin de analizar no solo la aparición del fenómeno, sino también su persistencia una vez interrumpida la iluminación —es decir, el decaimiento temporal del efecto—, realicé una comparación directa entre el comportamiento de la muestra expuesta a luz ultravioleta y aquella expuesta a luz blanca.

Descripción de la experiencia vivida:

Para el registro del fenómeno, construí una caja completamente oscura que permitiera aislar la muestra de la luz ambiente, dejando únicamente un orificio para la cámara del celular. De este modo, fue posible registrar visualmente la evolución del efecto en el tiempo. Inicialmente, la muestra la expuse a la fuente de luz ultravioleta artificial durante un intervalo de 10 minutos, procedimiento que fue registrado mediante un video⁴⁸. Posteriormente, repetí el mismo protocolo experimental utilizando una fuente de luz blanca artificial.

Lo que se manifestó a mi experiencia es que el efecto de fosforescencia se presenta bajo ambos tipos de iluminación; sin embargo, el efecto visual resultó significativamente más intenso cuando la muestra fue expuesta a luz ultravioleta. Asimismo, el tiempo durante el cual el efecto permaneció visible fue mayor en el caso de la exposición con radiación ultravioleta. El análisis visual comparativo del comportamiento de la muestra bajo ambos tipos de luz, así como su decaimiento temporal, se presenta en la Figura 29.

⁴⁸ En el siguiente video se puede observar la comparación del efectos bajo los dos tipos de luz: <https://www.youtube.com/watch?v=bsFopi155ZA>

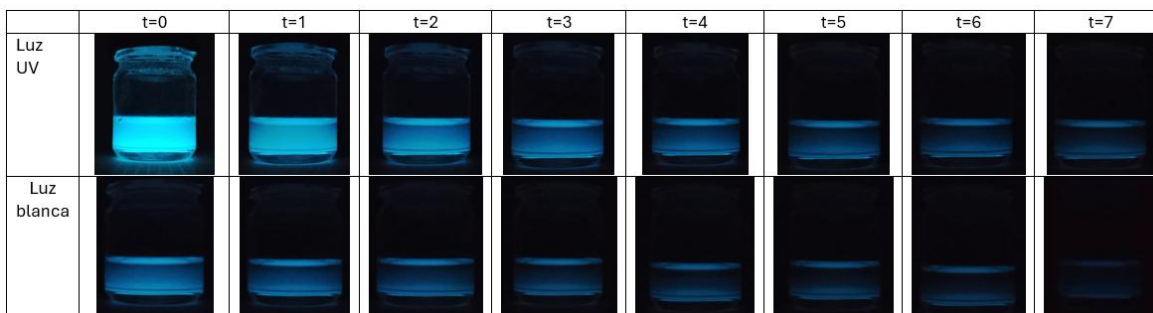


Figura 29. Análisis visual comparativo del efecto de fosforescencia bajo luz ultravioleta y bajo luz blanca y su comparación de decaimiento en el tiempo.

Discusión fenomenológica: organización de la experiencia

A partir del análisis visual del efecto, logré reconocer que el efecto de fosforescencia, a diferencia del efecto de fluorescencia, continúa siendo visible incluso después de que la fuente de luz ha sido retirada. Desde mi experiencia, esto sugiere que la acción de la luz sobre la sustancia fotosensible produce una reacción interna que persiste en la muestra y que se manifiesta gradualmente en forma de emisión de luz. Esta “huella” dejada por la radiación incidente se atenúa con el tiempo, y su duración depende del tipo de luz bajo la cual haya sido expuesta la muestra.

En el caso particular de la luz ultravioleta, el efecto inicial se manifestó de manera más intensa y permaneció visible durante un intervalo de tiempo mayor en comparación con la exposición a la luz blanca. Incluso después de transcurridos 10 minutos, la muestra excitada con radiación ultravioleta conservaba un brillo tenue, mientras que en la muestra expuesta a luz blanca el efecto había desaparecido casi por completo (Figura 29). Esta diferencia me permitió reconocer, desde la experiencia directa, que no toda la luz actúa de la misma manera sobre los materiales fotosensibles, lo cual está en coherencia con los anteriores efectos.

En relación con la revisión histórico-crítica, resulta relevante señalar que Ritter exploró diversos materiales fotosensibles en sus investigaciones, entre ellos el fósforo Kunkel. Sin embargo, a pesar de las referencias a este material en los textos históricos, no se encontraron registros detallados de los resultados experimentales obtenidos por Ritter al trabajar específicamente con el efecto de fosforescencia.

Capítulo 4. Propuesta experimental

Los capítulos anteriores constituyen el fundamento teórico, histórico y experimental de la propuesta que se desarrolla en este capítulo, la cual responde a uno de los objetivos centrales de este trabajo: la construcción de una propuesta experimental de enseñanza del fenómeno de la radiación ultravioleta. Las actividades experimentales aquí presentadas están orientadas a explorar una región de la radiación electromagnética ubicada más allá del extremo violeta del espectro visible, no perceptible directamente por el ojo humano, pero accesible a la experiencia a través de sus efectos químicos y luminosos, como los construidos en el capítulo anterior. La ruta experimental aquí propuesta tiene como propósito propiciar espacios en los que los estudiantes puedan organizar su experiencia, partiendo de una experiencia vivida hacia una estructura de sentido acerca del fenómeno de la radiación ultravioleta.

Desde los enfoques fenomenológico e histórico-crítico, se considera necesario un primer acercamiento al espectro visible de la luz, que permita a los estudiantes reconocer y organizar perceptualmente los rayos coloreados como condición de posibilidad para abordar la existencia de radiaciones no visibles. En este sentido, la Actividad experimental 1 cumple un papel introductorio, al permitir la construcción de una primera comprensión del espectro visible y de sus límites. Las otras cuatro actividades experimentales posteriores están orientadas a la reproducción de los efectos construidos en el capítulo 3, asociados a la radiación ultravioleta —papel salado, cianotipia, fluorescencia y fosforescencia—, con el fin de que los estudiantes reconozcan cómo una radiación no perceptible directamente puede ser conocida, organizada y comprendida a partir de sus efectos visibles.

4.1 Actividad experimental 1

1. Propósito de la actividad: Esta actividad tiene como propósito organizar la experiencia del espectro visible de la luz como condición necesaria y punto de partida para poder abordar la existencia de radiaciones no visibles —luz invisible—, reconociendo que no toda la acción de la luz se reduce a lo que es inmediatamente visible.

2. Competencia a desarrollar: Organiza la experiencia perceptual del espectro visible y sus límites mediante la observación, y organización a través de la construcción de un espectroscopio casero.

3. Indicador de logro: Describe y representa el espectro visible reconociendo sus colores y límites, y establece relaciones entre lo visible y la posibilidad de radiaciones no perceptibles directamente.

Esta actividad está dirigida a estudiantes de 10° y 11° de educación básica, entre edades promedio de 14 a 17 años.

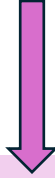
Duración aproximada de la actividad: 2 horas

Identificando el espectro visible

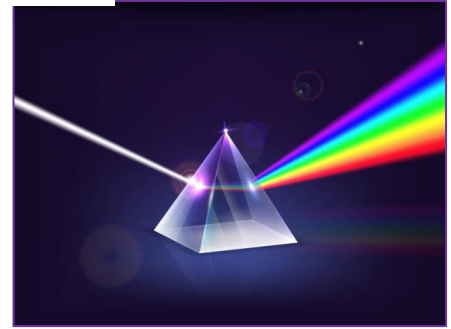
A. Realice la construcción del espectroscopio siguiendo los pasos del enlace

Materiales

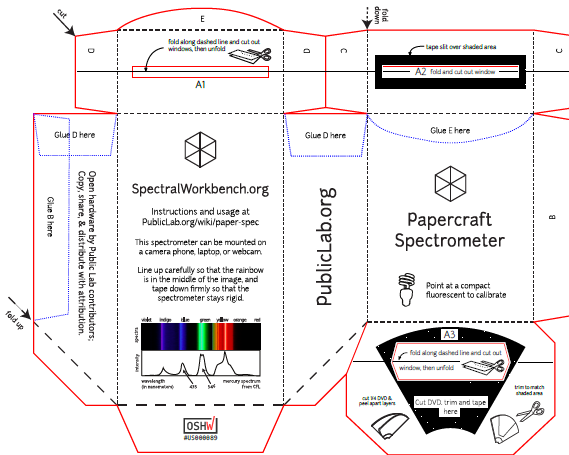
- Plantilla espectroscopio PDF descargable.
- Cartulina negra
- Pegante
- CD
- Tijeras



<https://www.instructables.com/ESPECTROSCOPIO-CASERO/>



B. Actividad



1. Identifique el espectro de colores que puede observar y registre su disposición a través de un dibujo.
2. Describa cómo se presenta a la experiencia el paso de un color a otro: ¿es abrupto o continuo?
3. Reflexione sobre los límites del espectro visible:
 ¿Dónde “termina” el violeta?
 ¿Dónde “termina” el rojo?
 ¿Qué hay más allá de lo que puede ver?

C. Responda las siguientes preguntas

Preguntas	Respuestas
¿No ver algo es condición suficiente para afirmar que no existe?	
¿Puede la luz producir efectos sin ser visible?	

4.2 Actividad experimental 2

1. Propósito de la actividad: Construir experimentalmente el efecto químico de ennegrecimiento de las sales de plata mediante su exposición a radiación ultravioleta, con el fin de reconocer cómo un fenómeno no directamente visible, puede hacerse presente a la experiencia a través de sus efectos materiales, en conexión con aplicaciones históricas como los desarrollos fotográficos del siglo XIX.

2. Competencia a desarrollar: Organiza la experiencia experimental relacionando condiciones de exposición, materiales fotosensibles y efectos observables, para construir comprensiones sobre la acción de la radiación ultravioleta a partir de sus manifestaciones químicas visibles.

3. Indicador de logro: Describe cualitativamente el efecto de ennegrecimiento de las sales de plata bajo diferentes tiempos de exposición.

Esta actividad está dirigida a estudiantes de 10° y 11° de educación básica, entre edades promedio de 14 a 17 años.

Duración aproximada de la actividad: 4 horas

Elabora fotografías como en el siglo XIX: El efecto químico de la radiación ultravioleta

Materiales

Reactivos y materiales fotosensibles:

- Nitrato de plata
- Cloruro de sodio (sal común)
- Fijador universal para fotografía
- Papel acuarela
- Agua destilada

Material de montaje

- Fuente de radiación ultravioleta
- Dos recipientes plásticos
- Pinzas de plástico
- Brocha de espuma
- Portarretratos de vidrio o placas de vidrio
- Negativo vegetal o diseño propio sobre acetato

Elementos de protección personal

- Bata de laboratorio
- Guantes
- Gafas de seguridad

Fase A. Preparación de las soluciones fotosensibles:

(Realizar con elementos de protección personal)

- Prepare la solución **A** disolviendo 1 gramo de cloruro de sodio (sal común) en 50 ml de agua destilada. Mezcle hasta que la sal se disuelva completamente.
- Prepare la solución **B** disolviendo 4 gramos de nitrato de plata en 33 ml de agua destilada. Conserve esta solución en un recipiente de vidrio oscuro y mantener protegida de la luz.

Fase B. Sensibilización del papel salado

(Realizar en condiciones de iluminación reducida)

Corte 6 muestras de papel acuarela en dimensiones iguales y fíjelas sobre una base estable con el fin de que el papel no se mueva. Luego con una brocha de espuma, aplique una única capa uniforme de la

solución A sobre las superficies de los papeles.

Déjelos secar completamente asegurándose que no queden zonas húmedas.

En un cuarto oscuro o casi totalmente oscuro, aplique una capa uniforme de la solución B sobre cada uno de los papeles previamente tratados con la solución A.

A partir de este momento, el papel se vuelve fotosensible, por lo que debe evitarse cualquier exposición innecesaria a la luz.

Deje secarlos durante aproximadamente 30 minutos en un lugar oscuro. Asegúrese que no queden zonas húmedas.

Fase C. Preparación del montaje experimental

Disponga la fuente de luz ultravioleta sobre una base fija y asegure una distancia constante.

Prepare con anticipación un espacio destinado al lavado del papel. En uno de los recipientes plásticos agregue agua del grifo y en el otro el fijador universal con una proporción de 1:3 con agua.

Fase D. Exposición a la radiación ultravioleta

Coloque el negativo vegetal o el diseño propio en contacto con los papeles sensibilizados y prénselos con un vidrio o portarretrato.

Exponga cada una de las muestras del papel sensibilizado a la luz ultravioleta durante los siguientes intervalos de tiempo: 4, 8, 12, 16, 20 y 24 minutos. *(Un tiempo por cada muestra)*

Observe cómo el efecto de ennegrecimiento comienza a manifestarse progresivamente durante cada exposición.

Fase E. Lavado y fijado de la imagen

(Realizar con cada papel sensibilizado)

Una vez finalizada la exposición, realice un primer lavado con agua del grifo durante aproximadamente 3 minutos.

Posteriormente, lave el papel en el fijador fotográfico universal durante otros 3 minutos, con el fin de estabilizar la imagen.

Realice un último lavado con agua del grifo durante 3 minutos más para eliminar residuos del fijador.

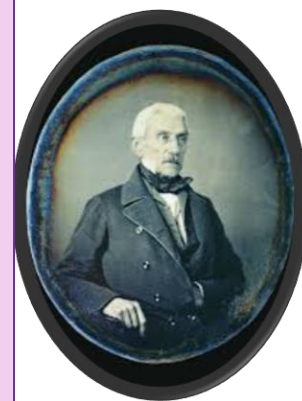
Fase F. Secado y observación final

Deje secar el papel en un lugar oscuro.

Observe el resultado final y registre en la siguiente tabla lo observado, el contraste entre zonas expuestas y no expuestas, la relación entre el tiempo de exposición y la intensidad del efecto observado:

t=4	t=8	t=12	t=16	t=20	t=24

Los primeros estudios sobre la acción química de la luz, realizados a comienzos del siglo XIX por investigadores como **Johann Wilhelm Ritter** y **Edmond Becquerel**, fueron esenciales para el desarrollo de la fotografía. Estos estudios, inicialmente orientados a comprender la naturaleza de los llamados *rayos químicos*, sentaron las bases para los primeros procesos fotográficos, en los que la imagen se formaba precisamente a partir del ennegrecimiento de las sales de plata bajo la acción de la luz. Un ejemplo fue el **daguerrotipo**, desarrollado por **Louis Jacques-Mandé Daguerre** en 1839, el cual utilizaba placas de plata recubiertas con haluros de plata, en este proceso, la imagen se formaba gracias a la acción química de la luz sobre la superficie sensible.



Daguerrotipo

¿SABÍAS
QUE?



Guía experimental 2

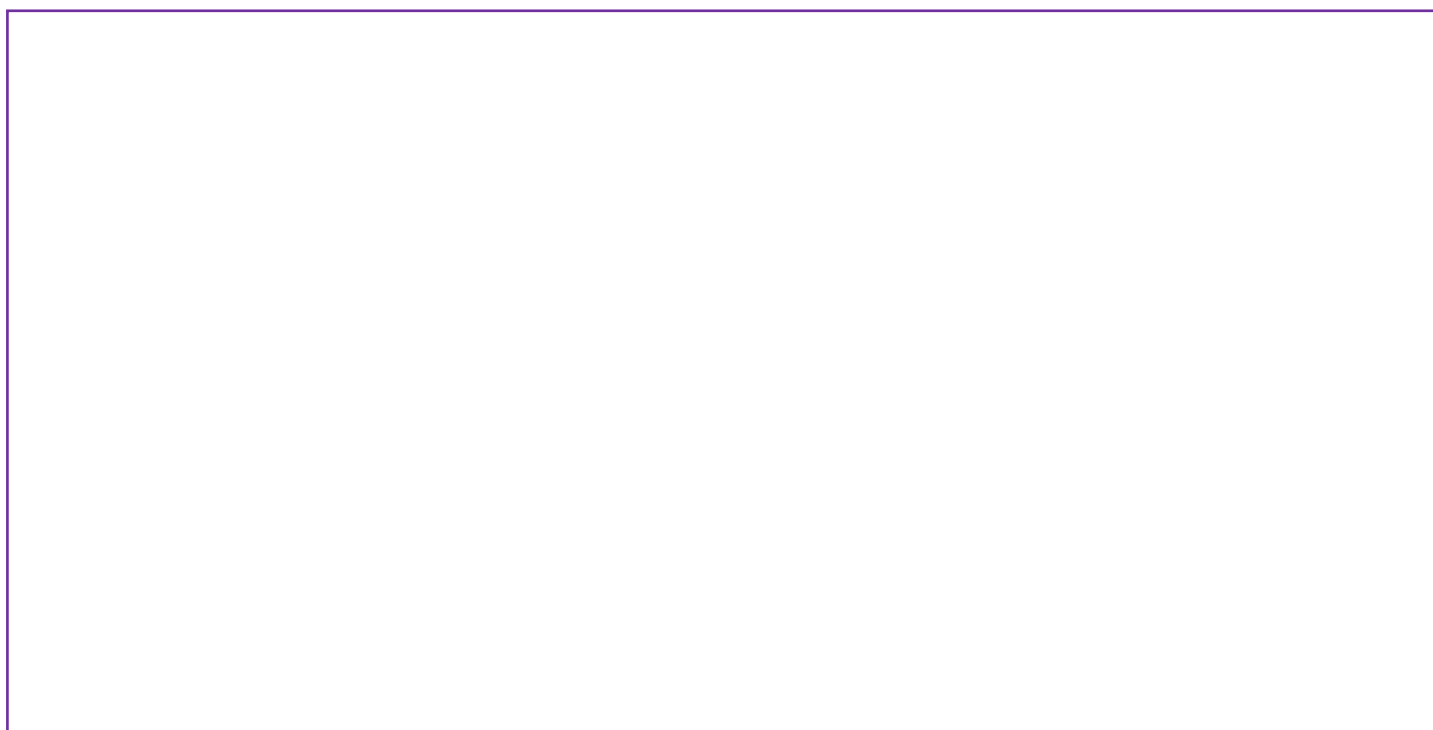
Descubriendo la radiación ultravioleta a través de sus efectos.

Fase G. Responda las siguientes preguntas

¿Qué cambios visibles aparecen en el papel sensibilizado después de la exposición?	
¿Qué relación encuentra entre el tiempo de exposición y el grado de ennegrecimiento?	
¿Qué condiciones cree que son necesarias para que el efecto ocurra?	
Investigadores como los del siglo XIX no podían “ver” la radiación UV ni contaban con lámparas artificiales. ¿Cómo cree que lograron estudiarla? ¿En qué se parece su experiencia a la de ellos?	

Fase H. Productos finales

A continuación agregue registro fotográfico de las fotografías con papel salado que realizó en esta actividad experimental.



4.3 Actividad experimental 3

1. Propósito de la actividad: Organizar la experiencia de la radiación ultravioleta a partir de la construcción de un efecto químico visible —la cianotipia— producido por la exposición a la radiación ultravioleta. En esta ocasión bajo la acción de la fuente natural de radiación ultravioleta de nuestro planeta: El sol.

2. Competencia a desarrollar: Organiza y describe la experiencia del fenómeno de la radiación ultravioleta, que llega a nuestro planeta a través del sol, mediante la observación, comparación y registro de los efectos químicos producidos en materiales fotosensibles.

3. Indicador de logro: Describe y compara los efectos visibles obtenidos en la cianotipia a partir de diferentes tiempos de exposición solar, reconociendo la acción de una radiación no perceptible directamente.

Esta actividad está dirigida a estudiantes de 10° y 11° de educación básica, entre edades promedio de 14 a 17 años.

Duración aproximada de la actividad: 2 horas

Hacer visible la radiación ultravioleta a través del color cian de la cianotipia



Materiales

Reactivos y materiales fotosensibles:

- Citrato férrico amoniacal (Químico A)
- Ferricianuro de potasio (Químico B)
- 2 pipetas (una para cada químico)
- Papel acuarela

Material de montaje

- Fuente de radiación ultravioleta: Sol
- Un recipiente plástico
- Brocha de espuma
- Portarretratos de vidrio o placas de vidrio
- Negativo vegetal o diseño propio sobre acetato

Elementos de protección personal

- Bata de laboratorio
- Guantes
- Gafas de seguridad

Fase A. Preparación del papel sensible

Corte 5 muestras de papel de acuarela en tamaños iguales.

En un recipiente de vidrio, mezcle el químico A y el químico B en una proporción 1:1, asegurándose de que la mezcla sea homogénea.

(Evite el contacto cruzado entre las pipetas de cada químico para no contaminarlos)

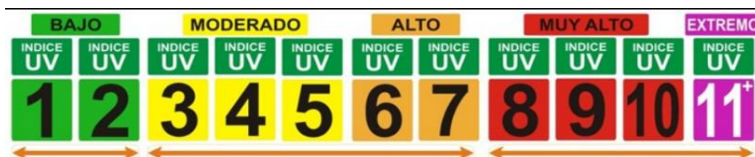
Posteriormente aplique la mezcla obtenida en el paso anterior sobre los papeles de acuarela utilizando una brocha de espuma, cubriendo toda la superficie de manera uniforme. *(Se recomienda 2 capas)*

Luego, deje secar el papel en un lugar oscuro.

Una vez seco, el papel queda fotosensible y listo para la exposición al sol.

Índice UV

Con el fin de continuar con la actividad es necesario reconocer que el índice de radiación ultravioleta UV es una medida que indica la intensidad de la radiación ultravioleta proveniente del Sol que llega a la superficie terrestre en un lugar y momento determinados:



Antes de realizar la exposición del papel sensibilizado, consulten el índice UV usando una aplicación móvil (*Tiempo & Radar, UVLens u otra similar*).

Tome los siguientes datos:

Fecha	
Hora	
Índice UV	
Condiciones del cielo	



Guía experimental 3

Descubriendo la radiación ultravioleta a través de sus efectos.

Fase B. Montaje y exposición

Coloque el negativo vegetal o el diseño propio en contacto directo con el papel sensibilizado.

Asegure el montaje con un portarretrato o con dos placas de vidrio.

(En el diario perceptual destinado para la actividad tome datos de lo que observa, antes y después)

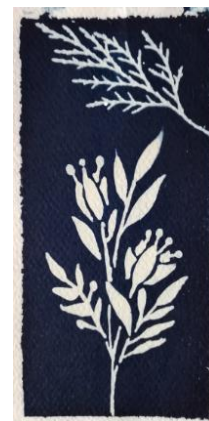
Exponga el montaje a la luz solar directa durante distintos intervalos de tiempo: 4, 6, 8, 10, 12 y 14 minutos. *(Un tiempo por cada muestra)*

(Procure realizar la exposición en un momento del día con alta incidencia solar y poca nubosidad)

Fase C. Revelado

Finalizada la exposición, lave el papel con agua del grifo *(Aproximadamente 3 lavadas para eliminar el químico residual)*.

Deje secar el papel y observe la fotografía.



Fase D. Registro de la experiencia: Registre en la siguiente tabla el cambio del color del papel:

Antes de la exposición:	Durante la exposición:	Después de la exposición:

Fase E. Observe el resultado final de cada una de las muestras de papel sensibilizado, contrastando las zonas expuestas y no expuestas, y analice la relación entre el tiempo de exposición y la intensidad del efecto observado, registrando sus observaciones en la siguiente tabla:

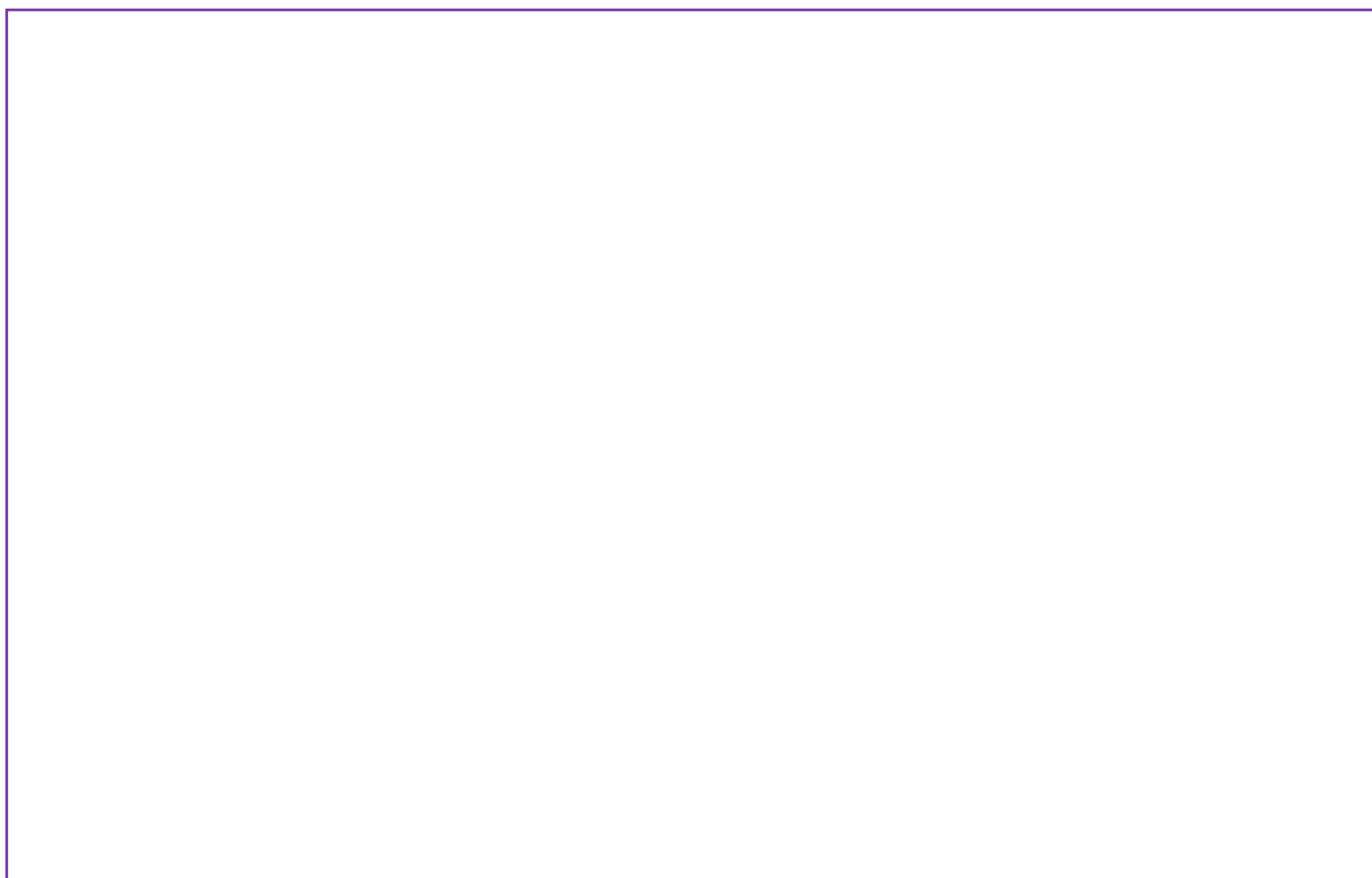
t=4	t=6	t=8	t=10	t=12	t=14

Fase F. Responda las siguientes preguntas

¿Qué diferencias observa entre los papeles con distintos tiempos de exposición?	
¿Cómo se relaciona el valor del índice UV con la intensidad del efecto químico observado?	
¿Cómo se relaciona esta experiencia con fenómenos como el bronceado de la piel o la degradación de materiales expuestos al Sol?	

Fase G. Productos finales

A continuación agregue registro fotográfico de las fotografías con papel salado que realizó en esta actividad experimental.



4.4 Actividad experimental 4

1. Propósito de la actividad: Organizar una comprensión experimental de la radiación ultravioleta a partir del efecto de fluorescencia de la clorofila, reconociendo la relación entre tipo de luz y respuesta del extracto.

2. Competencias a desarrollar: Analiza y compara los efectos producidos por diferentes tipos de luz sobre una sustancia fotosensible, estableciendo relaciones entre condiciones experimentales y efectos observados.

3. Indicador de logro: Describe y explica, a partir de la experiencia experimental #4, cómo la clorofila hace visible la acción de una radiación que no se percibe directamente.

Esta actividad está dirigida a estudiantes de 10° y 11° de educación básica, entre edades promedio de 14 a 17 años.

Duración aproximada de la actividad: 2 horas

Ver lo que no se ve: explorando la fluorescencia de la clorofila bajo luz UV



Idea clave

La radiación ultravioleta, aunque no es visible, puede hacerse presente a través de efectos visibles en ciertas sustancias que encontramos en la naturaleza.

Materiales

- Material vegetal fresco: hojas verdes.
- Alcohol isopropílico.
- Mortero.
- Filtro de papel o tela fina (opcional).
- Recipiente transparente (vaso de precipitados o frasco de vidrio).
- Fuente de luz ultravioleta.

Elementos de protección personal

- Bata de laboratorio
- Guantes
- Gafas de seguridad

A. Preparación del extracto de clorofila

1. Lavar y cortar en trozos el material vegetal.
2. Conservar los trozos con alcohol isopropílico en un recipiente de vidrio en un lugar oscuro por 2 días máximo, para favorecer la extracción del pigmento.
3. Macerar las hojas con el mismo alcohol isopropílico hasta obtener un líquido verde intenso.
4. Filtrar la mezcla para eliminar restos sólidos (opcional)
5. Conservar el extracto en un recipiente cerrado y protegido de la luz hasta el momento de su uso.

B. Registro de la experiencia

Agregue el extracto de clorofila a un recipiente transparente. Observe la muestra bajo las condiciones indicadas en la siguiente tabla y registre lo que percibe, ya sea mediante un dibujo o con una descripción escrita:

Exponga el extracto a luz natural y describa lo que observa	En un lugar oscuro, exponga el extracto a luz UV y describa lo que observa

Guía experimental 4

Descubriendo la radiación ultravioleta a través de sus efectos.

C. Registro de la experiencia bajo diferentes tipos de luz

Realice la comparación de la muestra al ser expuesta a los diferentes tipos de luz indicados en la siguiente tabla y describa lo que percibe directamente. Para la observación con distintos colores de luz, pueden utilizarse filtros de color colocados frente a una fuente de luz blanca o bombillos de diferentes colores, de acuerdo con los materiales disponibles.

Tipo de luz	Sol	UV	Violeta	Azul	Verde	Amarillo	Rojo
Observación con fondo negro							
Observación con fondo blanco							

La radiación ultravioleta (UV), aunque invisible para el ojo humano, está presente en la naturaleza y es percibida por muchos animales. Las abejas, por ejemplo, ven patrones ultravioletas en las flores que les indican dónde encontrar néctar. Algunas especies de camaleones, peces y escorpiones presentan fluorescencia: al ser iluminados con luz UV, ciertas zonas de su cuerpo emiten luz visible.



¿SABÍAS QUE?

D. Responda las siguientes preguntas

PREGUNTA	RESPUESTA A LA PREGUNTA
¿Qué diferencias observa en la muestra de clorofila cuando es incidida por los diferentes tipos de luz?	
¿El fenómeno de fluorescencia persiste o desaparece al interrumpirse la incidencia de la luz UV?	
¿Cómo influyen las condiciones experimentales (tipo de luz, fondo y ambiente) en la aparición del fenómeno observado?	



4.5 Actividad experimental 5

1. Propósito de la actividad: Propiciar un espacio experimental en el que los estudiantes continúen organizando su experiencia de la radiación ultravioleta a partir de otro efecto visible que persiste en el tiempo.

2. Competencias a desarrollar: Organiza la experiencia perceptual de la radiación ultravioleta a partir de la observación, comparación y descripción del efecto de fosforescencia, reconociendo la persistencia temporal del fenómeno.

3. Indicador de logro: Reconoce, describe y compara el efecto de fosforescencia producido por la incidencia de luz ultravioleta y luz blanca, identificando la persistencia temporal del fenómeno.

Esta actividad está dirigida a estudiantes de 10° y 11° de educación básica, entre edades promedio de 14 a 17 años.

Duración aproximada de la actividad: 1 horas

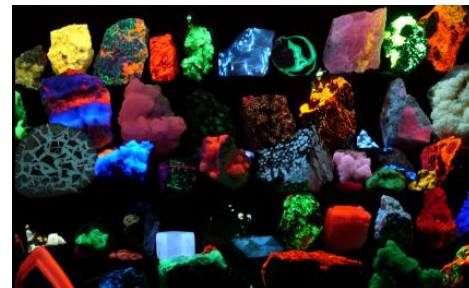
La huella persistente de la luz ultravioleta: Fosforescencia

Materiales

- Polvo fosforescente: “Glow in the Dark”
- Agua del grifo
- Recipiente de vidrio transparente con tapa
- Fuente de luz ultravioleta artificial
- Fuente de luz blanca artificial
- Caja o espacio oscuro
- Teléfono celular o cámara para registro del efecto

Elementos de protección personal

- Bata de laboratorio
- Guantes



A. Procedimiento experimental

Preparación del espacio:

Acondicione un espacio con iluminación controlada. Arme una caja oscura o un ambiente con poca luz para la observación posterior del efecto de fosforescencia.

Medición del solvente:

Mida aproximadamente 10 mL de agua de la llave y viértala en el recipiente de vidrio. Posteriormente, agregue 3 g de polvo fosforescente al agua. *(Evite el contacto directo con la piel.)*

Mezcle cuidadosamente hasta obtener una suspensión homogénea. La mezcla presentará un aspecto opaco bajo luz blanca. Cierre el recipiente y consérvelo protegido de la luz directa hasta el momento de la exposición. *(Realice dos muestras iguales)*

B. Construcción del efecto de fosforescencia

Exposición a la fuente de luz:

Ubique el recipiente con la muestra a una distancia aproximada de 10 cm de la fuente de luz. Luego exponer una de las muestra a luz ultravioleta durante 3 minutos. Posteriormente apague la fuente de luz y traslade inmediatamente la muestra al espacio oscuro (*caja o espacio oscuro*).

c. Observación del efecto

Registre mediante fotografías o video la evolución del brillo con el paso del tiempo (por ejemplo, cada 30 segundos).

- La intensidad inicial del brillo.
- El tiempo durante el cual el brillo permanece visible.
- La diferencia entre la muestra excitada con luz UV y la excitada con luz blanca.

(Realice el mismo procedimiento con la otra muestra pero esta vez bajo luz blanca)

D. Responda las siguientes preguntas:

¿Qué observa en la muestra inmediatamente después de retirar la fuente de luz?	
¿El brillo se mantiene constante o cambia con el paso del tiempo? Describe cómo ocurre ese cambio.	
¿Qué diferencias percibe entre la muestra excitada con luz ultravioleta y la excitada con luz blanca?	
¿En cuál de los dos efectos (fluorescencia o fosforescencia) el fenómeno depende más directamente de la presencia continua de la luz?	

A modo de cierre de este capítulo, se considera que las guías experimentales diseñadas en este trabajo se articulan a partir de un mismo eje fenomenológico: la organización de la experiencia del fenómeno de la radiación ultravioleta mediante efectos visibles que operan como mediadores cognitivos. Aunque cada guía aborda un efecto distinto —químico, fluorescente o fosforescente—, todas comparten una estructura común orientada a que el estudiante reconozca que la radiación ultravioleta no se percibe directamente, sino que se infiere a partir de las transformaciones que produce en diferentes materiales bajo condiciones específicas.

Desde una perspectiva fenomenológica, el acto de conocer no consiste en recibir datos pasivamente ni en aplicar estructuras puramente racionales, sino en organizar la experiencia a partir de una relación directa con el fenómeno. La experiencia, en este sentido, no es un simple registro sensible, sino una forma de construcción de conocimiento. Así, en el marco de esta monografía, traer a la experiencia directa los efectos del fenómeno de la radiación ultravioleta implicó reconocer que el acceso cognitivo a dicho fenómeno no ocurre por observación inmediata, sino a través de sus efectos. Estos constituyen el modo en que el fenómeno se hace accesible a la experiencia. En este sentido, se afirma que los efectos visibles operan como mediadores cognitivos en el proceso de organización del fenómeno. Esta mediación no es externa ni al sujeto ni al mundo, sino que se encuentra entrelazada en la experiencia misma. Desde la fenomenología, es precisamente esta experiencia la que posibilita la inferencia y la construcción de significados.

Al respecto de lo anterior, autores como Maurice Merleau-Ponty (1993), George Lakoff y Mark Johnson (1999), así como Emmanuel Alloa (2009), sostienen que el cuerpo —y, en el caso de esta monografía, la experiencia directa con los fenómenos— constituye el “*medio entre los medios*” que hace posible toda relación con el mundo. De este modo, la experiencia no se limita a mediar entre un sujeto interior y un mundo exterior, sino que constituye el fundamento desde el cual el mundo puede aparecer como significativo para el sujeto que conoce y aprende. Por otra parte, desde visiones constructivistas como la de Rolando García (2006), cuando se afirma que el conocimiento se construye, se hace referencia a que lo que se construye es la forma de organizar las interacciones con el mundo. En el desarrollo infantil, el niño o la niña entra en interacción con el entorno y, a partir de dicha interacción, organiza progresivamente sus movimientos, su lenguaje y su pensamiento, identificando relaciones de sentido en el mundo en el que está inmerso (García, 2006). En este contexto, organizar implica estructurar; es decir, establecer relaciones e inferencias entre los fenómenos del mundo.

Esta posibilidad de organización se da a través de la experiencia directa con los fenómenos físicos. En consecuencia, la actividad experimental permite organizar una experiencia directa con el fenómeno, y dicha organización supone la creación de estructuras de sentido. Esto difícilmente ocurre cuando la ciencia se enseña como un producto terminado y se impide al estudiante desarrollar por sí mismo la capacidad de organizar la experiencia del fenómeno. Tal limitación resulta problemática si se asume una postura constructivista, según la cual aprender no consiste en acumular conceptos, sino en organizar el fenómeno. En coherencia con lo anterior, Ayala (2006) afirma: *“Decir que el estudiante construye el conocimiento significa que elabora y desarrolla estructuras conceptuales que le permiten comprender y actuar sobre la realidad, a partir de las estructuras que ya posee”* (Ayala, 2006, p. 10). En este sentido, lo desarrollado en los capítulos 3 y 4 —en torno a la construcción de los efectos del fenómeno de la radiación ultravioleta— constituye precisamente la configuración de las condiciones fenomenológicas que hacen posible la construcción de significados sobre un fenómeno que no es accesible de manera inmediata a los sentidos.

5. Conclusiones

El análisis histórico-crítico desarrollado en este trabajo, permitió reconocer que la organización de los rayos —coloreados, calóricos y químicos— no se dio históricamente de manera única ni a partir de una experiencia perceptual homogénea. Este reconocimiento resultó fundamental para responder a la pregunta de investigación planteada, en la medida en que a través del análisis histórico se logró identificar que el fenómeno de la radiación ultravioleta se construyó inicialmente a partir de la producción y organización de efectos, y no exclusivamente desde teorías ya consolidadas. Reflexionar sobre estas experiencias que están a la base de la formalización teórica, permite recuperar preguntas fundamentales que suelen quedar ocultas cuando el conocimiento científico se presenta como un producto terminado que proviene de una gran caja negra, lo cual se presenta desvinculado de su proceso histórico y experimental.

Los estudios histórico-críticos y la hermenéutica representaron en este trabajo una metodología pertinente para la reconstrucción del proceso histórico-experimental que, a comienzos del siglo XIX permitió la percepción y organización del fenómeno de la radiación ultravioleta. La revisión de los trabajos de Ritter, Seebeck y Becquerel evidenció que muchos de los interrogantes que guiaron estas investigaciones siguen siendo relevantes en la actualidad. En este sentido, la

recuperación de estos testimonios vivos del pasado fue una herramienta con alto potencial para fundamentar la propuesta experimental.

Asimismo, a partir de la revisión histórico-crítica de los investigadores seleccionados fue posible reconocer que cuando se abre un nuevo campo de investigación es necesario, por un lado, que el fenómeno sea dado o construido para un sujeto, de modo que pueda ser organizado, nombrado y formalizado; y, por otro lado, que dicho fenómeno logre estabilizarse experimentalmente para alcanzar consensos explicativos. Estas dos condiciones resultaron centrales para comprender cómo la radiación ultravioleta, a pesar de su carácter invisible, pasó a ser un fenómeno científicamente organizado. Además, el análisis permitió destacar la importancia de explicitar las condiciones experimentales como requisito para la replicabilidad, la comparación de resultados y la construcción colectiva del conocimiento científico.

La construcción de efectos perceptualmente visibles del fenómeno de la radiación ultravioleta permitió verificar, desde la experiencia en primera persona, que la actividad experimental opera como un mediador cognitivo fundamental en la construcción de significados. En la medida en que lo que inicialmente aparece como un dato sensorial se transforma en experiencia cuando surgen preguntas, dificultades o resultados no esperados. Además, se evidenció que la experiencia no cumple un papel meramente subsidiario frente a la teoría, sino una función constitutiva. De este modo, las experiencias vividas consignadas en este trabajo se consolidaron como el fundamento para una comprensión más significativa del fenómeno de la radiación ultravioleta, en coherencia con el objetivo general de este trabajo.

La propuesta experimental desarrollada es innovadora y accesible. Constituye una alternativa pedagógica para la enseñanza de la radiación ultravioleta, ya que parte de la experiencia vivida y de la observación de sus efectos, en lugar de limitarse a explicaciones teóricas. Además, el proceso de construcción de efectos visibles, tales como el efecto químico, la fluorescencia y la fosforescencia, constituyó para mí un reto formativo significativo en mi proceso como docente en formación. Esta experiencia me permitió reconocer la diversidad de rutas experimentales posibles para abordar un mismo fenómeno en el aula. Asimismo, puso en evidencia la importancia de la creatividad y recursividad docente para diseñar propuestas experimentales accesibles, reproducibles y contextualizadas.

Durante la recontextualización de los experimentos históricos se comprendió que no siempre es posible replicarlos de manera exacta en el contexto actual. La necesidad de recurrir a herramientas tecnológicas, la sustitución de materiales y reactivos, así como las diferencias en relación con las habilidades experimentales propias de cada época, como por ejemplo la gran habilidad de los científicos del siglo XIX de trabajar en la oscuridad y su gran conocimiento tanto en física como en química. Reconocer estas diferencias me permitió desarrollar una conciencia histórica, la cual considero necesaria en la formación de docentes.

Finalmente, las dificultades, errores y fracasos experimentales, así como el desafío que implicó la lectura y comprensión de textos originales antiguos, constituyen una parte esencial de mi experiencia formativa. Estos elementos me permitieron comprender de manera más profunda la complejidad experimental involucrada en los estudios históricos sobre los rayos químicos y los procesos de organización del fenómeno de la radiación ultravioleta. En conjunto, los resultados de este trabajo permitieron fundamentar una propuesta experimental de enseñanza que reivindica el papel de la experiencia, los efectos visibles y la reconstrucción histórica como ejes centrales para la enseñanza-aprendizaje de la física desde una perspectiva fenomenológica e histórico-crítica.

6. Bibliografía

- Acevedo-Díaz, J. A. (2004). *Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, *I*(1), 3–16. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92010102>
- Alloa, E. (2009). *La resistencia de lo sensible, Merleau Ponty: crítica de la transparencia*. Buenos Aires: Ediciones nueva visión.
- Arcà, M., Guidoni, P., & Mazolli, P. (1990). *Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós.
- Ayala Manrique, M. M., Romero Chacón, Á. E., Malagón Sánchez, J. F., Rodríguez Rodríguez, O. L., Aguilar Mosquera, Y., & Garzón Barrios, M. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia e la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Bogotá: Kimpres.
- Ayala, M. M. (2006). *Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades*. Pro-Posições, v. 17, n. 1 (49).
- Ayala, M. M., Garzón, M., & Malagón, F. (2007). *Consideraciones sobre la formalización y matematización de los fenómenos físicos*. Praxis Filosófica Nueva Serie.
- Becquerel, E. (1842). *Mémoire sur le rayonnement chimique qui accompagne la lumière solaire et la lumière électrique*. Paris: Bibliothèque nationale de France. Tomado de: <https://gallica.bnf.fr>
- Campos, J., & Granados, G. (2012). *Comprendiendo los efectos de la contaminación invisible. Una propuesta para la enseñanza de la radiación a nivel básico y medio*. Tesis de pregrado. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12209/2104>

- Chaparro, C. I., Gonzales, J., Orozco, J. C., Pedreros, R. I., & Vallejo, J. I. (1996). *Introducción a la Física de procesos desde una perspectiva fenomenológica*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Fatet, J. (2006). *La naissance de l'actinomètre électrochimique d'Edmond Becquerel*. Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences, 147-155.
- Frercks, J., Weber, H., & Wiesenfeldt, G. (2009). *Reception and discovery: the nature of Johann Wilhelm Ritter's invisible rays*. Studies in History and Philosophy of Science , 143–156.
- Gadamer, H.-G. (1977). *Verdad y método: fundamentos de una hermenéutica filosófica*. Salamanca: Ediciones Sígueme.
- García, L. (2023). *Análisis de la luz a partir de su interacción eléctrica : una propuesta experimental para generar conocimientos sobre el efecto fotoeléctrico*. Tesis de pregrado. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12209/18592>
- García, R. (2006). *Epistemología y teoría del conocimiento*. Salud colectiva, 113-122.
- Garzón, M. (2024). *La historia, la fenomenología y la epistemología de la física. Orientaciones conceptuales, pedagógicas y didácticas para la enseñanza de la termodinámica en el contexto de formación de profesores*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.
- Gramajo, M. C. (1998). *La reflexión histórica y epistemológica en la formación del docente de física*. Memorias del V Congreso Latinoamericano de Historia de las Ciencias y la Tecnología, Simposio: Historia de las ciencias: transformación de las prácticas de enseñanza y formación de profesores de ciencias (págs. 94–96). Bogotá: Física y Cultura.
- Gramajo, M. C., & Ayala, M. M. (1996). *El concepto de carga en las teorías electromagnéticas de Maxwell y Hertz*. Física y cultura: Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias N° 3.
- Granés S, J. (1988). *Newton y el empirismo*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- Granés s. , J., & Caicedo Y, L. M. (1997. No. 34). *Del contexto de la producción de conocimientos al contexto de la enseñanza*. Análisis de una experiencia pedagógica. Experiencias educativas. Universidad Pedagógica Nacional.
- Guevara Pacanchique, G. (2015). *Propuesta didáctica para explorar la luz infrarroja con estudiantes del club de semilleros de astronomía del colegio Brasilia de la localidad de Usme*. Bogotá. Tesis de maestría Universidad Nacional de Colombia.
- Hacking, I. ((1996). *Representar e intervenir*. Editorial Paidós.
- Herschel, W. (1800). *Experiments on the Refrangibility on the invisible Rays of the Sun*. *Philosophical Transactions of the Royal Society (volumen 90)*, 284-292. Obtenido de <https://royalsocietypublishing.org/rstl/article/doi/10.1098/rstl.1800.0015/121220/XIV-Experiments-on-the-refrangibility-of-the>
- Herschel, W. (1801). *Ueber die wärmende und die erleuchtende Kraft der farbigen Sonnenstrahlen*. *Annalen der Physik*, 7, 137–156. Obtenido de https://archive.org/details/sim_annalen-der-physik_1801_7/page/n159/mode/2up
- Jiménez, J. (2023). *Una aproximación experimental al estudio sobre el fenómeno de la transformación de la luz en electricidad con sustancias fotosensibles*. Tesis de posgrado. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12209/19485>
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Filosofía en la carne: la mente realizada y su desafío al pensamiento occidental*. New York: Basic Books.
- Matthews, M. R. (1989). *A role for history and philosophy in science teaching*. *Interchange*, 20(2), 3-15. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/BF01807065>
- Merleau-Ponty, M. (1993). *Fenomenología de la percepción*. Barcelona: Planeta-Agostini.
- Moreno, C. (2017). *Radiación Térmica: Construyendo la identidad entre luz y calor*. Tesis de pregrado. Universidad Pedagógica Nacional.

- Redondo, C. A. (2016). *En busca de los invisible: una propuesta para la enseñanza de la radiación infrarroja en grado noveno. Tesis de pregrado.* Universidad Pedagógica Nacional.
- Ritter, J. (1803). *Über das Sonnenlicht. Annalen der physik*, V12, pg. 409-415.
- Rodríguez Parra , J. (2021). *La radiación a través de la variación de la temperatura-color-brillo: una ruta para la enseñanza-aprendizaje en grado séptimo.* Bogotá: Tesis de maestría Universidad Pedagógica Nacional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12209/17070>
- Sanabria, J. (2016). *El Aula Inclusiva como un Escenario de Reflexión para la Enseñanza de la Física: La Fenomenología del Sonido. Tesis de pregrado.* Universidad Pedagógica Nacional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12209/2154>
- Sandoval, S., Malagón, J., Garzón, M., Ayala, M., & Tarazona, L. (2018). *Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias.* Bogotá: Colección ciup 41 años. Universidad Pedagógica Nacional.
- Seebeck, T. J. (1819). Ueber die ungleiche Erregung der Wärme im prismatischen Sonnenbilde. *Annalen derPhysik*, 305-350.
- Tarazona Vargas, L., Garzón Barrios, M., Malagón Sánchez, J. F., & Sandoval Osorio, S. (2023). *Estabilización de un dominio fenomenológico. Reflexiones desde la historia de la electroquímica para la formación de docentes.* En Reflexiones filosóficas e históricas: ciencia, enseñanza de la ciencia y política científica (págs. 443-457).
- Thijssen, J., & Lüthy, C. (2010). *Key test of Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) on the Science and art of nature.* Boston: BRILL.
- Torres Velásquez , J. (2021). *la actividad experimental, su papel en la construcción de conocimiento científico y en la enseñanza de las ciencias: el caso de la transferencia de calor por radiación térmica.* Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

7. Anexos

Traducción libre del texto *Über das Sonnenlicht*

A continuación, se presentan las traducciones de los textos de J.W. Ritter, utilizadas en esta investigación. El objetivo de incluir este material como anexo es ofrecer una actualización del pensamiento de Ritter que podría ser de utilidad para futuras investigaciones.

Experimentos sobre la luz solar (*Über das Sonnenlicht*)

ANNALEN DER PHYSIK 1803 (V12)

J.W. RITTER.

Desde los resultados de los experimentos de Herschel sobre la presencia de rayos solares invisibles fuera del rojo de la imagen del prisma, etc., (cf. Annals, VII, 137 y ss.⁴⁹) han recibido recientemente confirmación de Englefield contra Leslie (cf. Annals, X, 88, y el ensayo precedente), y en esta ocasión los efectos químicos de los diversos rayos en el espectro también parecen estar siendo considerados más de cerca por Davy: Por lo tanto, me permito, además del contexto de un todo que aparecerá más adelante, la indicación preliminar de algunos de mis propios experimentos sobre el tema, cuya confirmación los físicos ingleses pueden aplicar fácilmente a extensiones posteriores del descubrimiento de Herschel, así como a la teoría de la luz y los colores en general, de la que han sido promotores durante tanto tiempo.

I. Que también fuera del violeta del espectro newtoniano se pueden encontrar rayos invisibles, lo he demostrado ya el 22 de febrero de 1801⁵⁰(cf. Annalen, VII, p. 527), mediante la reducción considerablemente más fuerte de la sal de plata fuera del violeta que incluso en él. Más tarde también lo confirmé mediante la reducción de otros cuerpos fácilmente desoxidables en el mismo lugar.

II. Que la reducción disminuye desde el lugar del máximo fuera del violeta, a través del violeta, el azul, etc. , que cesa en o cerca del verde, si el espectro se presenta de manera suficientemente clara; y que en el naranja y el rojo se convierte en una verdadera oxidación de lo ya reducido, o, lo que es lo mismo, a un retraso de la reducción existente por otras razones, e incluso en su completa abolición (cuyo progreso hacia el máximo parece seguir el mismo que el de los rayos caloríficos de Herschel): todo esto lo anuncié ya en el *Intelligenzblatt der Erlanger Litteratur-Zeitung*, 1801, No. 16, pp. 121-

⁴⁹ “Sigüientes”

⁵⁰ Ritter hace referencia aquí al pequeño anuncio donde anunció su descubrimiento.

123, y lo expuse más detalladamente en un tratado aún inédito⁵¹, presentado en la primavera de 1801 a la Sociedad de Investigación Natural de Jena, y lo confirmé también con nuevos experimentos con el fósforo (de Kunkel).

III. Al mismo tiempo se encontró que estos rayos químicamente activos deben ser completamente diferentes de los coloreados. Por ejemplo, fue fácil hacer que los rayos reductores invisibles superiores al color violeta producido por la refrangibilidad de un prisma fuera del violeta de la imagen de un prisma cayeran en el rojo de la imagen de un segundo, sin que el rojo se modificara en lo más mínimo, pero la oxidación en él no sólo fue anulada, sino que se convirtió en una reducción bastante fuerte; lo que también muestra que los rayos reductores en la luz solar incolora, la llamada luz blanca, deben estar presentes en una cantidad o intensidad mucho mayor que los oxidantes, como lo ha demostrado durante mucho tiempo la reducción del cloruro de plata, del fósforo de Canton, etc. que tiene lugar en la luz blanca pura. La ¿separación? o distinción entre separabilidad de los rayos químicos de los rayos coloreados, por cierto, es tal que solo se necesita paciencia y varios prismas para presentar tanto una imagen de color perfecta en la que no haya diferencia en los efectos químicos, como una imagen de los efectos químicos, tal como suele ocurrir con la imagen de color, pero de tal manera que, en cuanto a los colores, la imagen química sea de un solo color uniforme en todo el conjunto, o, a voluntad, incluso sin tal, completamente cubierta con luz blanca incolora.

IV. Con este conocimiento del espectro de Newton, para el cual se requiere una distancia determinada del prisma, seguí la luz y su acompañamiento desde el borde del propio prisma hasta distancias de 40 pies y más, en aspectos químicos y ópticos, primero línea por línea, luego pulgada por pulgada, y después pie por pie, en junio y julio de 1801, y encontré que, ya a cada lado del disco de luz que acababa de salir del prisma, un espectro químico completo está presente exactamente como el más grande y único a varias distancias del prisma. Cuanto más se aleja uno del prisma, más se separan, luego se entrelazan, luego comienzan a superponerse y continúan así hasta que finalmente, a la distancia usual para la conservación del espectro newtoniano, ya dan la apariencia de una sola imagen de manera muy perfecta, a pesar de que la superposición, incluso a distancias de 40 pies, aún no ha alcanzado una nitidez matemática, y es probable que nunca la alcance completamente a ninguna distancia finita. Porque los límites homólogos de cada imagen individual se mantienen siempre a una distancia entre sí que es igual a la inicial, muy cerca del prisma, y por lo tanto tan grande como la

⁵¹ Cuando Ritter dice inédito, da a entender que no publicó formalmente esta investigación por lo que los experimentos que realizó, si no fueron guardados por los archivos en Jena, se perdieron.

altura de la abertura del obturador en la propia habitación oscura, por lo que la superposición de ambas imágenes solo se acerca al grado de perfección absoluta en la medida en que esta distancia permanente de los bordes homólogos entre sí se convierte en una parte cada vez más pequeña de la altura total de la imagen completa.

V. A esta observación se asoció una segunda, que la historia de este espectro químico es, sin contradicción, también la del espectro óptico o de la imagen de colores, ya que esta también estaba ya completamente presente a cada uno de los dos lados del disco de luz cerca del prisma, por lo tanto, había dos, que de la misma manera que los químicos, más tarde se extienden más, se entrelazan, se cubren, y lo hacen cada vez más perfectamente, sin embargo, (por la misma razón que antes con las dos imágenes químicas), sin hacerlo en ningún lugar con total exactitud. La mitad de cada imagen que cae hacia el interior del disco de luz no aparece, naturalmente, con la misma intensidad para el ojo que la mitad exterior de cada una hacia el lado de la sombra, ya que la luz blanca aún presente entre estas dos últimas mitades, cerca del prisma, que ocupa el mismo espacio que las primeras, las deslumbra de la misma manera que la mejor imagen de color, proyectada sobre una pared iluminada por el sol, es tan deslumbrada por esta luz blanca que sólo se puede distinguir vagamente. Sin embargo, estas mitades internas de ambas imágenes son siempre lo suficientemente fuertes, especialmente muy cerca del prisma, para hacer creer al ojo que a menudo se han presentado a los observadores en las circunstancias adecuadas, pero que ellos, por alguna razón, las han considerado como una impureza, sin darles importancia.

VI. Todavía me han faltado los medios para realizar la misma investigación con respecto al espectro de los rayos caloríficos de Herschel, así como, además, si los rayos caloríficos son los mismos que los químicos, o si, nuevamente, así como de los de color, también son separables de ellos, y por lo tanto diferentes de ellos. Sin embargo, me parece que hay suficiente motivación para esta investigación, especialmente en lo que respecta a la última parte, ya que, por ejemplo, ya al comparar los inviernos y veranos de 1801 y 1802, debo admitir que la acción química del sol es inconfundiblemente más fuerte en invierno que en verano. Las observaciones de Englefield, al comparar las de abril con las de junio, y una gran cantidad de otros hechos con respecto al poder calorífico del sol, sugieren lo contrario para este último, y por lo tanto una diferencia entre los rayos caloríficos y químicos, e incluso una relación inversa entre ambos, según la medida de su presencia en la luz.

También me gustaría señalar que mis experimentos se realizaron con prismas de vidrio (vidrio Crown y vidrio de bohemia) y ninguno con prismas de vidrio Flint. Así los han visto a menudo mis amigos,

y los preparados químicos, que se pueden conservar tal como se han obtenido, muestran a la vista el campo de este tipo en un solo vistazo en la historia de su transición. Sin embargo, el hecho de que mencione la sustancia del prisma se debe a que el campo de las experiencias anteriores es en parte demasiado nuevo para que sepamos aún si la capacidad de una sustancia para dispersar los rayos caloríficos en su imagen es diferente de la de hacerlo con los químicos, y nuevamente de la capacidad de dispersar los colores, y sigue un curso igualmente diferente a la última capacidad, comparada con la de la mera refracción. Preguntas, cuyas respuestas, por ejemplo, a resultados como los de Blair (cf. Anales, VI, 129 y ss., especialmente pp. 141 y ss.), aún debían plantearse varias más, pero cuya respuesta podría resultar lo suficientemente inesperada como para reconciliar incluso las experiencias aparentemente más adversas de observadores fieles.