

**EL EFECTO FOTOELÉCTRICO EN SUSTANCIAS FOTOSENSIBLES Y
PANELES SOLARES. UNA PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE
HABILIDADES CIENTÍFICAS EN EL AULA**

JUAN CAMILO JIMÉNEZ JIMÉNEZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MAGISTER EN
DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES**

DIRECTORA

MARINA GARZÓN BARRIOS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

BOGOTÁ D.C.

2025

Dedicatoria

Este trabajo se dedica, en gran medida, a mi amada madre **Johanna Jiménez**, quien con su ejemplo constante me enseñó a amar la profesión docente y sembró en mí la disciplina y exigencia necesarias para ser un excelente maestro, así como el compromiso inquebrantable con la formación académica continua. De igual manera, lo ofrezco a mi querido hermano **Alejandro Mendoza**, cuya inspiración en la investigación académica, pasión por la escritura y la lectura me ha impulsado en este camino. A mi padre, **Sebastián Mendoza**, le agradezco por ser el motor que ha alimentado mi vida de la necesidad por adquirir conocimientos y mi amor profundo por la ciencia. Finalmente, dedico estas páginas a mi futura esposa **Sara Sierra**, cuyo acompañamiento amoroso y sabias recomendaciones me motivaron a perseverar en el ejercicio riguroso de la escritura e investigación.

Agradecimientos

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi profesora **Marina Garzón Barrios**, cuya maestría radica no solo en su vasto conocimiento, sino en su excepcional capacidad para desentrañar el sentido profundo de mis textos, aun en aquellos momentos en que mis ideas se presentaban confusas y enmarañadas. Su paciencia iluminada y su habilidad para tejer coherencia donde solo había dispersión han sido el faro que guió este trabajo hacia su forma definitiva.

A mi amada madre **Johanna Jiménez**, le agradezco con el corazón en la mano por su motivación incansable y su respaldo incondicional que hicieron posible cada paso de esta travesía académica. Su fe absoluta en mis capacidades y su estímulo constante han sido el sustento invisible pero firme que me permitió perseverar.

A mi futura esposa **Sara Sierra**, mi compañera inseparable, le debo gratitud eterna por acompañarme con amor paciente en este exigente trayecto investigativo. Su comprensión, su aliento en las horas más arduas y su capacidad para sostener mi espíritu cuando flaqueaba han convertido este desafío en una experiencia compartida de crecimiento mutuo.

A la **Universidad Pedagógica Nacional**, mi querida alma máter, expreso reconocimiento profundo por abrirme generosamente sus espacios formativos, por brindarme docentes de excelsa calidad humana y profesional, y por proveerme todas las herramientas conceptuales y metodológicas necesarias para desarrollar esta investigación con rigor y compromiso. Sus aulas han sido mi refugio intelectual y emocional.

Finalmente, a mis estudiantes del **Colegio Jorge Isaacs**, portadores de la chispa que enciende toda vocación docente, les agradezco infinitamente por abrirme las puertas de sus mentes curiosas y permitirme materializar este proyecto en su aula viva. Su participación entusiasta, sus preguntas incisivas y su disposición generosa a explorar lo desconocido con gozo han sido la savia que nutrió cada página de este trabajo, recordándome siempre para qué sirve la investigación educativa: para encender en las nuevas generaciones la misma pasión por comprender el mundo que nos mueve.

Índice

Introducción.....	10
Planteamiento de la investigación:	16
Pregunta que guía la investigación:	17
Objetivo General de la investigación en el aula:	17
Objetivos Específicos:	18
Justificación de la propuesta.....	18
Diseño metodológico de la investigación.....	23
Fase 1. Revisión teórica e histórica y diseño de la propuesta de aula	23
Fase 2. Planeación metodológica y diseño de instrumentos	24
Fase 3. Implementación de la propuesta de aula y producción de datos.....	25
Fase 4. Sistematización, análisis categorial y elaboración de resultados	26
Antecedentes.....	27
Capítulo 1. Fundamentos para una enseñanza de las ciencias significativa a nivel de la escuela media secundaria.....	32
1.1. En búsqueda del desarrollo de habilidades científicas en el aula	32
1.2. La experimentación como un camino óptimo para el aprendizaje	34
1.3 Estableciendo vínculos entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente para la clase de física.....	36
Capítulo 2. Fundamentos histórico-físicos: De Becquerel a los paneles solares.....	43
2.1. Integración experimental de Edmond Becquerel: Estudio del efecto fotoquímico en la transformación de luz en electricidad	45
2.1.1. Primera etapa experimental: Detección electroquímica del efecto fotoeléctrico, el aparato de dos fases	45
2.1.2. Segunda etapa experimental: Dispositivo basado en láminas metálicas recubiertas con cloruro, bromuro y yoduro de plata.	52
2.1.3. Tercera etapa experimental: El actinómetro electroquímico, un dispositivo avanzado	54
2.2. Fundamentación física del efecto fotoeléctrico en la transformación de luz en electricidad: Origen, captación y transformación.....	57
2.2.1. Sistemas de captación y aprovechamiento de la energía solar	59

2.2.2. Sobre el funcionamiento de los materiales semiconductores.....	61
2.2.3. Vinculación de los materiales semiconductores con la conducción de corriente.....	67
2.2.4. Evolución tecnológica: Celdas solares orgánicas.....	69
2.3. Consideraciones experimentales sobre el estudio del fenómeno fotoeléctrico con sustancias fotosensibles bajo la proyección de luz.....	71
2.3.1. Construcción del montaje experimental para detectar respuestas fotoeléctricas en sustancia fotosensible bajo la proyección luces de diferentes colores.....	72
2.3.2. Observaciones y resultados obtenidos de los cambios eléctricos producidos en una sustancia fotosensible por la proyección luces de diferentes colores.	74
2.3.3. Consideraciones experimentales sobre el estudio de los cambios eléctricos producidos en una sustancia fotosensible por la proyección luces de diferentes colores.....	75
Capítulo 3. Propuesta de Aula: Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares	77
3.1. Guía docente de la propuesta: Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y celdas solares.....	83
3.1.1. Actividad 1: Activación de saberes en relación a las cualidades de la luz.....	87
3.1.2. Actividad 2: Experiencia práctica con sulfato de hierro y medición de voltaje al usar diferentes luces.....	89
3.1.3. Actividad 3. Construcción del fenómeno de transformación de luz y electricidad.....	93
Capítulo 4. Sistematización de Propuesta de aula. Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares con estudiantes de grado once.....	97
4.1. Respuestas del grupo de estudiantes en la actividad 1. Activación de saberes en relación a las cualidades de la luz.....	101
4.2. Datos obtenidos por grupo de estudiantes en la actividad 2. Exploración del efecto eléctrico producido por los tipos de luz en sulfato de hierro y en los paneles solares.	104
4.3. Datos obtenidos por grupo de estudiantes en la actividad 3. Construcción del fenómeno de transformación de luz y la electricidad.	108
4.4. Análisis de la sistematización.....	111
4.2.1. Análisis y clasificación de categorías de la sistematización para la actividad 1.....	113
4.2.2. Análisis y clasificación de categorías de la sistematización para la actividad 2.....	117
4.2.3. Análisis y clasificación de categorías de la sistematización para la actividad 3.....	121
Conclusiones.....	123
Bibliografía.....	130

Anexos..... 132

Índice de ilustraciones

Imagen 1: Representación del aparato de dos fases de Edmond Becquerel 1883: Imagen tomada y traducida de: https://facultyweb.kennesaw.edu/mlaposat/ihome21/docs/ihome-solar-cells-sunlight-to-electricity.pdf	46
Imagen 2: Representación del montaje del dispositivo basado en láminas metálicas recubiertas con cloruro, bromuro y yoduro de plata recreado con IA.	52
Imagen 3: Actinómetro electroquímico desarrollado por Edmond Becquerel. (Becquerel, 1868).....	54
Imagen 4: Estructura de banda de celdas solares. Imagen tomada de la web: https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2023/11/15/estructura-y-peculiaridades-de-los-paneles-fotovoltaicos-estandares	62
Imagen 5: Estructura de bandas de energía en semiconductor de silicio y mecanismo fotoeléctrico en unión p-n. La luz incidente ($h\nu \geq E_g = 1.12 \text{ eV}$) excita electrones de la banda de valencia (BV) hacia la banda de conducción (BC), generando pares electrón-hueco.....	63
Imagen 6: Estructura de bandas de energía en semiconductor de silicio y mecanismo fotoeléctrico en unión p-n. La luz incidente ($h\nu \geq E_g = 1.12 \text{ eV}$) excita electrones de la banda de valencia (BV) hacia la banda de conducción (BC), generando pares electrón-hueco separados por el campo eléctrico interno de la unión p-n. La región de agotamiento facilita la recolección de cargas para producir corriente fotogenerada en celdas solares. Imagen obtenida de: https://image.slidesharecdn.com/module4diffusionandionimplantationpart2-skpradhan-241004100103-fe9e050d/75/Module-4-Diffusion-and-Ion-Implantation-Part-2-S-K-Pradhan-pptx-3-2048.jpg	64
Imagen 7: Sección transversal de una celda solar con estructura heterojuntura. (Chamorro W & Urrego S, 2012).....	71
Imagen 8: Recubrimiento de la cámara oscura con papel aluminio.	73
Imagen 9: Cámara oscura con el recipiente contenedor del sulfato de hierro conectado por medio de cables a la fuente de electricidad y el multímetro.	73
Imagen 10: Diagrama del montaje experimental de sulfato de plata iluminado con luz.	90

Índice de tablas

Tabla 1. Antecedentes: Caracterización bibliográfica	28
Tabla 2. Resultados del experimento del aparato de dos fases de Edmond Becquerel. Datos obtenidos de: “La Lumière. Ses causes et ses effects”. Tome II. Edmond Becquerel. Página 43.	48
Tabla 3: Intensidad de corriente medida por Becquerel en el aparato de dos fases según región espectral (desviación del galvanómetro en grados) (Becquerel, 1868).	51
Tabla 4: Desviaciones espectrales registradas por Becquerel en el actinómetro electroquímico. Sustancias: yoduro de plata vs. sub-cloruro de plata violeta.	55
Tabla 5: Datos obtenidos en la identificación de cambios eléctricos (corriente) en una mezcla de sulfato de hierro proyectada bajo diferentes tipos de luz.	74
Tabla 6: Datos obtenidos en la identificación de cambios eléctricos (voltaje) en una mezcla de sulfato de hierro proyectada bajo diferentes tipos de luz.	75
Tabla 7: Estructura de para la identificación de habilidades científicas en los estudiantes.	80
Tabla 8: Ficha técnica de la propuesta de aula.	84
Tabla 9: Habilidades científicas relacionadas con las actividades de la propuesta.	86
Tabla 10: Tabla de registro de datos de corriente y voltaje según sea el caso, momento 1 de la actividad 2. Uso de mezcla de sulfato de hierro con agua expuesto con y sin luz. 91	
Tabla 11: Tabla de registro de datos de voltaje, momento 2 de la actividad 2. Uso de mezcla de sulfato de hierro con agua expuesto con y sin luz.	93
Tabla 12: Respuestas del grupo de estudiantes en la actividad 1 y su relación con habilidades científicas.	104
Tabla 13: Respuestas del grupo de estudiantes en la actividad 2, momento 1 y su relación con habilidades científicas.	106
Tabla 14: Datos obtenidos por el grupo de estudiantes en la medición de corriente. ..	106
Tabla 15: Datos obtenidos por el grupo de estudiantes en la medición de Voltaje.	106

Tabla 16: Respuestas del grupo de estudiantes en la actividad 2, momento 2 y su relación con habilidades científicas.	108
Tabla 17: Mediciones de voltaje con el panel solar después de 3 minutos de exposición de los tipos de luz.	108
Tabla 18: Respuestas del grupo de estudiantes en la actividad 3, momento 2 y su relación con habilidades científicas.	111

Introducción

La investigación que aquí se presenta se sitúa en la intersección entre la didáctica de las ciencias, la historia de la física y la educación ambiental, y tiene como propósito central comprender cómo una secuencia histórico-experimental en torno al efecto fotoeléctrico y la conversión de luz en electricidad puede contribuir al desarrollo de habilidades científicas en estudiantes de grado undécimo, mediante el trabajo con sustancias fotosensibles y celdas fotovoltaicas solares.

A partir de la reconstrucción y adaptación de los experimentos de Alexandre Edmond Becquerel, y del uso de montajes accesibles con mezclas como el sulfato de hierro y paneles solares escolares, se busca que los estudiantes no solo “vean” que la luz puede producir efectos eléctricos, sino que se apropien de prácticas de observación, medición, registro, interpretación y argumentación que les permitan construir explicaciones cada vez más fundamentadas sobre este fenómeno y reconocer su relevancia en el contexto de la transición energética y la sostenibilidad.

El trabajo asume que la enseñanza de la física en la escuela puede configurarse como un espacio de indagación donde el estudiante interviene sobre sustancias, circuitos y fuentes de luz, registra sistemáticamente lo que ocurre, discute sus ideas con otros y elabora modelos que articulan la experiencia de aula con los marcos teóricos de la ciencia contemporánea. La propuesta se organiza, por tanto, como una secuencia de actividades experimentales que van desde la exploración de las cualidades de la luz hasta el análisis de los cambios eléctricos producidos en mezclas fotosensibles y paneles solares, y se acompaña de un proceso de sistematización que permite identificar, en las producciones estudiantiles, el despliegue de habilidades científicas como la observación detallada, la identificación de variables, el registro riguroso de datos, la interpretación crítica de resultados y la argumentación basada en evidencias.

Este proyecto tiene su origen en el trabajo investigación, titulado "Una aproximación experimental al estudio sobre el fenómeno de la transformación de la luz en electricidad con sustancias fotosensibles", desarrollado en la Universidad Pedagógica Nacional en 2023 (Jiménez, J. 2023). Este estudio tomó como foco principal el efecto fotoeléctrico, centrándose en cómo los estudiantes explicaban lo que observaban y pensaban sobre este fenómeno. Para ello, se diseñó e implementó una propuesta de aula basada en la experimentación, con actividades que fomentaron espacios de reflexión sobre el efecto eléctrico que se produce cuando se proyecta luz ultravioleta en una sustancia fotosensible

(Fatet, 2015) desarrollados de Edmond Becquerel estudiados en el trabajo doctoral desarrollado por el historiador y didacta Jérôme Fatet (Fatet, 2015) sobre sustancias fotosensibles y las contribuciones científicas del siglo XX, que aquí se retoman, dando paso al uso de las fotoceldas y paneles.

La experiencia desarrollada durante la especialización pone en evidencia el valor pedagógico de analizar cómo diferentes condiciones de luz inciden en el estado eléctrico de diversas sustancias fotosensibles. En vez de limitar la intención educativa a la construcción de celdas solares sencillas, el foco se desplazó hacia la indagación experimental y la observación de los efectos eléctricos generados por la luz sobre compuestos específicos. Así, mediante el diseño de una situación experimental, se utilizó una mezcla de sulfato de plata expuesta a distintas frecuencias lumínicas para observar y medir los cambios en la corriente eléctrica producida.

Los resultados obtenidos mostraron que, al proyectar luz ultravioleta sobre la sustancia, se genera un aumento significativo en la medición de la corriente eléctrica respecto a otras fuentes de luz, fenómeno que se mantiene prácticamente constante al variar la concentración de sulfato de plata. Esta experiencia permitió a los estudiantes identificar y analizar las variables que inciden sobre el fenómeno y contrastar sus observaciones con fundamentos teóricos y prácticos.

Este tipo de experimentación, citando mi propia investigación en el aula, sitúa a los estudiantes como protagonistas del proceso, permitiéndoles comprender de manera tangible cómo la interacción de la luz con sustancias fotosensibles produce transformaciones eléctricas observables y medibles. Así, la práctica experimental se consolidó como escenario idóneo para que los alumnos construyeran conocimiento científico significativo y fortalezcan su comprensión sobre los fenómenos de transformación de magnitudes.

Brindar a los estudiantes la oportunidad de observar directamente la conversión energética e integrar conceptos de óptica, electricidad y transferencia de energía en un marco conceptual coherente permite que comprendan la ciencia de manera integral y aplicable, es necesario que el aprendizaje vaya más allá de la simple acumulación de datos y se enfoque en la creación de conexiones significativas entre los fenómenos y sus campos explicativos. Considerar el conocimiento como un tejido, donde cada "trozo" o unidad conceptual sólo cobra sentido al integrarse con otros, los estudiantes pueden visualizar la

ciencia no como una serie de hechos aislados, sino como un entramado de ideas interrelacionadas.

Y de acuerdo con esto, este trabajo presenta una propuesta de aula cuyo objetivo es que los estudiantes logren:

1. Caracterizar las propiedades de la luz a partir de la descomposición de la luz blanca.
2. Identificar los cambios y efectos eléctricos que producen los tipos de luz (amarilla, roja, azul, violeta y ultravioleta) sobre una mezcla de sulfato de hierro en agua.
3. Medir la producción de voltaje producido por un panel solar en función de los tipos de luz (amarilla, roja, azul, violeta y ultravioleta).
4. Dialogar sobre las aplicaciones e implicaciones ambientales en el uso de los paneles solares y su relación con la Agenda 2030 y el ODS 7.

Este tipo de actividades promueve el desarrollo de habilidades científicas, como la experimentación y la resolución de problemas enfocados en la protección del medio ambiente, además de ayudar a los estudiantes a establecer relaciones significativas entre teoría y práctica. Así, la enseñanza de la transformación de luz en electricidad se convierte en una herramienta clave para facilitar un aprendizaje significativo y fomentar una comprensión sólida y comprensible de la ciencia en los estudiantes.

La analogía del conocimiento como tejido, diálogo que debe estar presente en la investigaciones pedagógicas, plantea que cada “trozo” de conocimiento solo cobra sentido al conectarse con otros, formando un entramado conceptual coherente. Esta concepción no solo redefine el aprendizaje científico como una estructura dinámica y relacional donde el significado surge de las conexiones entre conceptos. En este marco, enseñar la transformación entre fenómenos físicos como la luz y la electricidad cobra especial relevancia, ya que dichos fenómenos se entienden mejor al insertarse en un sistema de relaciones donde se aprecian sus interdependencias y aplicaciones en contextos concretos. Tal enfoque en el aula no solo facilita la comprensión profunda de la ciencia, sino que permite a los estudiantes desarrollar un conocimiento que sea aplicable y de fácil acceso. Estudios sobre el aprendizaje significativo sugieren que al relacionar conceptos, como la luz y la electricidad, los estudiantes son capaces de construir un entendimiento más robusto y duradero. Según Pozo y Gómez Crespo, “la adquisición del conocimiento científico requiere un cambio profundo de las estructuras

conceptuales... que solo podrá alcanzarse mediante una enseñanza eficaz” (Pozo, J. I. & Gómez Crespo, M., 1998) La enseñanza eficaz en este caso implica no sólo la transmisión de datos, sino la construcción de una red de conexiones que ayuden a los estudiantes a ver la ciencia como un sistema integrado. De esta forma, se concibe el ejercicio docente como el tejido de comprensiones sobre el fenómeno, sobre su propio ejercicio reflexivo de la enseñanza en la práctica docente; el docente se convierte en un facilitador que ayuda a los estudiantes a tejer su propia comprensión de los fenómenos, estableciendo relaciones.

Organización del documento:

El **Capítulo 1**, titulado “Fundamentos para una enseñanza de las ciencias significativa a nivel de la escuela básica secundaria”, establece el marco pedagógico y epistemológico que orienta toda la investigación. En este apartado se discute por qué es necesario fomentar el fortalecimiento de habilidades científicas en los experimentos de aula, retomando aportes de autores como Koerber y Osterhaus, Harlen (Koerber & Osterhaus, 2019), Hacking (Hacking, 1983), Wagensberg (Wagensberg, 1997), Pozo y Gómez Crespo (Pozo, J. I. & Gómez Crespo, M., 1998), entre otros, para sostener la idea de que el pensamiento científico escolar se configura como una red dinámica de competencias que se construye y transforma en la práctica. Asimismo, se analiza el papel de la experimentación como estrategia didáctica privilegiada y la importancia de articular ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTS) en el aula, situando la conversión de luz en electricidad y el uso de paneles solares como oportunidades concretas para vincular los contenidos de física con problemáticas contemporáneas como el cambio climático, el objetivo de desarrollo sostenible número 7 de la agenda 2030 sobre la transición hacia el uso de energías limpias.

El **Capítulo 2** se centra en la pregunta ¿Por qué abordar la investigación a través de los estudios históricos de Edmond Becquerel? que cumple una doble función: por un lado, reconstruye críticamente las etapas experimentales desarrolladas por Becquerel en el siglo XIX; por otro, presenta la fundamentación física de la transformación de la luz en electricidad y el funcionamiento de los semiconductores y las celdas fotovoltaicas. En la sección 2.1 se describe el aparato de dos fases, el dispositivo con láminas metálicas recubiertas de haluros de plata y el actinómetro electroquímico, destacando cómo estos montajes permitieron identificar el papel de las regiones violeta y ultravioleta del espectro en la generación de corrientes y constituyen antecedentes directos de las tecnologías

fotovoltaicas actuales. Posteriormente, el apartado 2.2 desarrolla la fundamentación física del origen, captación y transformación de la energía solar, introduce los sistemas de aprovechamiento y profundiza en la estructura y naturaleza de los semiconductores, las uniones p-n y los procesos de generación, recombinación y conducción de portadores que están en la base del efecto fotovoltaico, tomando como referencia principal el texto “Materiales semiconductores para aplicaciones en células solares fotovoltaicas” (Peltzer, R. y Blancá, J., 2021) de Peltzer y Blancá, así como fuentes especializadas sobre energía solar. Al finalizar el capítulo se hace una exposición del diseño y construcción del montaje experimental con sulfato de hierro, la recolección de datos, su respectivo análisis y consideraciones experimentales, esto realizado previamente al trabajo en el aula.

El **Capítulo 3** presenta la “Propuesta de aula. Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares”, constituye el corazón didáctico de la investigación. En este capítulo se describe con detalle la secuencia de actividades diseñadas para grado once, inspirada en los experimentos de Becquerel y en trabajos previos de aproximación experimental al efecto fotoeléctrico, pero adaptada a las condiciones y recursos del contexto escolar. Se explicitan: 1) las preguntas orientadoras y los objetivos específicos de cada momento: caracterizar las propiedades de la luz mediante la descomposición de la luz blanca, identificar los cambios y efectos eléctricos en sustancias fotosensibles, medir el voltaje producido por un panel solar en función del tipo de luz e integrar estas experiencias en discusiones sobre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente; 2) los montajes experimentales (como la caja opaca revestida en aluminio con mezcla de sulfato de hierro expuesta a diferentes tipos de luz, o la celda fotovoltaica sometida a diversas fuentes y colores) y los materiales que se utilizan en cada actividad. A lo largo del capítulo se muestra cómo cada actividad está pensada para activar y fortalecer habilidades científicas a través del registro cuantitativo de datos de corriente y voltaje obtenidos en los montajes con sulfato de hierro y paneles solares, favoreciendo que los estudiantes pasen de la simple manipulación instrumental a la formulación de explicaciones y reflexiones de carácter crítico, especialmente en relación con las implicaciones ambientales y sociales del uso de la energía solar.

El **Capítulo 4** se dedica a la “Sistematización de la propuesta de aula. Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares con estudiantes de grado once”, y expone el enfoque metodológico adoptado para reconstruir y analizar la experiencia desarrollada en el Colegio Jorge Isaacs de la ciudad de Bogotá.

Aquí se caracteriza la metodología de investigación en el aula, un análisis cualitativo de las producciones escritas y orales de cinco estudiantes seleccionados (E1, E2, E3, E4 y E5), a partir de sus cuadernos de física y diarios de campo. Se describe el proceso de lectura, transcripción y selección de fragmentos significativos, así como el uso de categorías vinculadas a habilidades científicas (observación y descripción de fenómenos, identificación y diferenciación de variables, registro, organización e interpretación de datos, formulación de explicaciones, hipótesis y modelos, y argumentación basada en evidencias) para organizar y comprender las expresiones estudiantiles, identificando narrativas y explicaciones.

El apartado número 4, sobre **Análisis de la sistematización**, incluido en el mismo Capítulo 4, constituye el espacio donde se ponen en diálogo los resultados empíricos de la propuesta de aula con los marcos teóricos trabajados en los capítulos anteriores. A partir de los registros de E1 a E5 en cada momento de la secuencia, se examina cómo los estudiantes describen los cambios observados, nombran y distinguen variables como tipo de luz, intensidad, tiempo y respuesta eléctrica, interpretan tablas y gráficos de voltaje y corriente, elaboran explicaciones apelando a la energía de la luz o a la longitud de onda, y formulan conclusiones apoyadas en los datos obtenidos en el laboratorio escolar. Este análisis permite valorar en qué medida la secuencia histórico-experimental sobre el efecto fotoeléctrico logra convertirse en un espacio vivo para la construcción y perfeccionamiento de habilidades científicas, y abre también un lugar para la reflexión sobre la práctica docente, al señalar fortalezas, tensiones y desafíos que emergen cuando se busca enseñar la conversión de luz en electricidad desde una perspectiva integrada, crítica y contextualizada.

De esta manera, la introducción se propone situar al lector en el horizonte general del trabajo: una investigación en educación en ciencias que, al articular historia de la física, fundamentación teórica sobre semiconductores y energías renovables, diseño de una propuesta de aula y análisis cuidadoso de producciones estudiantiles, busca aportar a la comprensión de cómo se pueden formar habilidades científicas robustas en torno a un fenómeno tan actual, y complejo, como la transformación de la luz en electricidad.

Planteamiento de la investigación:

El presente trabajo de grado indaga sobre las habilidades científicas que los estudiantes de grado once pueden adquirir en el aula mediante una metodología basada en la experimentación con sustancias fotosensibles y paneles solares. Esta aproximación tiene el potencial de fortalecer significativamente competencias experimentales clave, como la observación detallada, el manejo de instrumentos de medición, la identificación de variables, el registro riguroso de datos y el análisis crítico de resultados.

Estas actividades permiten a los estudiantes no solo manipular y controlar parámetros concretos, sino también desarrollar la capacidad para formular hipótesis, diseñar pruebas y comunicar sus hallazgos de manera clara y fundamentada. Al interactuar directamente con el fenómeno fotovoltaico, los estudiantes integran teoría y práctica, consolidando así habilidades esenciales para su formación científica y para enfrentar desafíos reales relacionados con la energía y el medio ambiente.

El enfoque propuesto en este trabajo de grado no sólo tiene implicaciones para el desarrollo de habilidades individuales en los estudiantes, sino que también contribuye al cumplimiento de objetivos más amplios en el ámbito educativo y social. En un mundo cada vez más afectado por el cambio climático y la crisis energética, es crucial que las instituciones educativas preparen a los estudiantes para enfrentar estos desafíos de manera efectiva. La integración del estudio de la luz a través de los paneles solares en el currículo escolar responde a esta necesidad, proporcionando a los estudiantes una formación que les permita comprender y participar en debates sobre temas como la transición energética y la sostenibilidad ambiental.

Además, este enfoque promueve una educación orientada a la acción. No se trata únicamente de que los estudiantes adquieran conocimientos científicos, sino de que comprendan cómo estos conocimientos pueden aplicarse en la vida cotidiana y en la toma de decisiones responsables. Al estudiar los paneles solares, los estudiantes no solo aprenden sobre física y energía, sino que también reflexionan sobre el impacto que las tecnologías energéticas tienen en el entorno y en la sociedad. Esta perspectiva puede motivar a los estudiantes a considerar futuras trayectorias profesionales en campos relacionados con las energías renovables, la tecnología y la ciencia aplicada,

contribuyendo así a la formación de una nueva generación de ciudadanos conscientes y comprometidos.

La implementación del estudio del fenómeno de la luz a través de paneles solares en el entorno educativo representa una estrategia innovadora para el desarrollo de competencias científicas y ambientales en los estudiantes. Al integrar conceptos teóricos con aplicaciones prácticas, esta metodología no solo facilita el aprendizaje de la física, sino que también promueve el pensamiento crítico, la investigación científica y el trabajo colaborativo. Asimismo, al conectar la ciencia con cuestiones ambientales y energéticas de relevancia global, se fomenta una mayor conciencia y responsabilidad ambiental entre los estudiantes.

Este enfoque tiene el potencial de transformar la manera en que los estudiantes perciben la ciencia y su relevancia para la vida cotidiana. Al adquirir una comprensión profunda de los principios científicos que subyacen a las tecnologías energéticas limpias, los estudiantes estarán mejor preparados para tomar decisiones informadas y actuar de manera responsable en un mundo cada vez más interconectado y dependiente de soluciones sostenibles.

¿Qué se va a investigar en el aula? En primer lugar, se identificarán las habilidades científicas que los estudiantes desarrollan al diseñar, ejecutar y analizar experimentos con sustancias fotosensibles y celdas fotovoltaicas desde la ejecución práctica-experimental y el manejo de instrumentos hasta la interpretación de datos y la formulación de interrogantes. En segundo lugar, se reconocerán los marcos explicativos que emplean los alumnos para dar sentido al efecto fotovoltaico, diferenciando entre descripciones fenomenológicas (observación de fenómenos y registro de resultados) y explicaciones teóricas (modelos de semiconductores y transferencia de energía) para poder dar razón de cuáles son las habilidades científicas que se desarrollan en el aula.

Pregunta que guía la investigación:

¿Cómo contribuye una secuencia didáctica histórico-experimental sobre el efecto fotoeléctrico, en el desarrollo de habilidades científicas y a la conciencia ambiental en estudiantes de grado undécimo?

Objetivo General de la investigación en el aula:

Identificar las habilidades científicas de los estudiantes de grado undécimo, mediante la implementación de una secuencia didáctica histórico-experimental centrada en el

fenómeno de la transformación de la luz en electricidad a partir del uso de sustancias fotosensibles y paneles solares.

Objetivos Específicos:

- Diseñar e implementar la secuencia didáctica histórico-experimental que permitan reproducir y describir la conversión de luz en electricidad mediante sustancias fotosensibles y paneles solares de sencillo montaje.
- Reconocer y categorizar las habilidades científicas desplegadas por los estudiantes (observación, control de variables, registro de datos, interpretación y argumentación basada en evidencias) en la ejecución de la propuesta de aula, a partir del análisis cualitativo de los diarios de campo del grupo de estudiantes.
- Identificar en las producciones estudiantiles sobre las implicaciones ambientales y sociales del uso de paneles solares, particularmente en relación con la sostenibilidad energética.

Justificación de la propuesta

Esta propuesta se alinea con los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) del Ministerio de Educación Nacional (MEN, 2002) para Ciencias Naturales, particularmente en el área de entorno físico, donde se exige indagar fenómenos mediante experimentación controlada, explicar transformaciones energéticas como la luz a electricidad en materiales fotoeléctricos y valorar usos sostenibles de energías renovables. Integra competencias del Marco Común de Competencias Científicas, fomentando habilidades como observación detallada, control de variables (tipos de luz, intensidad), registro sistemático de datos (tablas de voltaje/corriente) y argumentación evidenciada. Así, no solo cumple con el currículo nacional, sino que lo enriquece al tejer —como un entramado coherente— historia de la física (Becquerel), fundamentos semiconductores y enfoque CTSA (Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente).

En el contexto bogotano, marcado por la crisis energética y el cambio climático con instituciones como el Colegio Jorge Isaacs en Bosa, esta propuesta usa materiales accesibles (sulfato de hierro, multímetros escolares, luces de colores) para democratizar la indagación sobre energías renovables, promoviendo conciencia ambiental en entornos vulnerables. Responde a la necesidad local de transitar hacia sostenibilidad, donde Colombia depende aún de fuentes no renovables pese a su potencial solar, conectando el aula con problemáticas reales como el reciclaje de paneles y consumo hídrico en su

fabricación. Al posicionar a estudiantes de grado 11 como protagonistas, midiendo cambios eléctricos y debatiendo sus implicaciones.

La conversión de luz en electricidad se configura como caso privilegiado para desarrollar habilidades científicas porque articula en un entramado coherente múltiples competencias curriculares exigidas por los DBA de Ciencias Naturales (MEN, 2002) y el Marco Común de Competencias Científicas: control de variables (tipos/intensidad de luz), medición cuantitativa (voltaje/corriente), interpretación espectral (mayor respuesta UV) y vinculación CTSA hacia ODS 7. En el contexto del Colegio Jorge Isaacs (Bosa), se democratiza la indagación sobre la energía solar con materiales accesibles como el sulfato de hierro, luces de colores, placas colares y multímetros escolares, frente a la crisis energética colombiana que mantiene un potencial solar desaprovechado en Bogotá. Desde mi posición como profesor e investigador, este fenómeno visibiliza el pensamiento científico en acción: los estudiantes transitan de "la luz prende el panel" (descripción fenomenológica) hacia "la luz UV libera más electrones por mayor energía fotónica" (explicación teórica). El estudio de este fenómeno es ejemplar porque es observable (multímetro registra diferencias espectrales), medible (datos cuantitativos inmediatos), explicable y relevante.

Como docente-investigador formado en la Universidad Pedagógica Nacional, esta propuesta surge de mi trayectoria: extiende mi especialización (Jiménez, 2023) sobre sulfato de plata y luz UV, incorporando ahora paneles solares para profundizar habilidades científicas en mis estudiantes del Colegio Jorge Isaacs, cuya curiosidad, chispa que enciende la vocación docente, nutrió cada página.

La educación científica enfrenta los desafíos del siglo XXI en los que los problemas ambientales y energéticos se han vuelto asuntos cruciales a nivel global. Por ello, resulta indispensable que la educación científica escolar incorpore conocimientos y prácticas que contribuyan al cuidado y protección del entorno que habitamos con el desarrollo de instrumentos que permiten comprender el aprovechamiento de recursos y el estudio de los fenómenos de transformación energética: como los paneles solares y los efectos eléctricos de la luz sobre sustancias.

Por esto, en el marco de este trabajo resulta imprescindible reconocer no solo la relevancia de los conceptos físicos involucrados, sino también la formación y el desarrollo de las habilidades científicas en el aula escolar que permiten a los estudiantes construir

explicaciones, analizar datos y generar conocimiento significativo sobre fenómenos de convertibilidad de luz en electricidad.

Koerber y Osterhaus (2019) sostienen que el pensamiento científico temprano es resultado de procesos acumulativos y diferenciados, en los que cada estudiante progresa según sus influencias cognitivas y las oportunidades de evaluación que se le brindan en la práctica escolar. Estos autores señalan que

“Las habilidades científicas no son un conjunto homogéneo de capacidades estáticas, sino una red dinámica de competencias que se construyen y evolucionan según las experiencias, la instrucción y el contexto socio-cognitivo del alumno” (Koerber & Osterhaus, 2019).

Esta afirmación adquiere especial significado en mi propuesta al abordar la enseñanza de la conversión de luz en electricidad, ya que se demanda del estudiante el desarrollo de habilidades científicas como: la observación de fenómenos, la formulación de preguntas, el registro de información a partir de la ejecución de experimentos controlados, el análisis cuidadoso de datos, la interpretación crítica de resultados, la capacidad de construir explicaciones que vinculen las teoría con la evidencia obtenida, el pensamiento creativo y la comunicación de hallazgos que hacen parte del ejercicio de la argumentación científica.

Así, a partir del planteamiento de Koerber y Osterhaus (Koerber & Osterhaus, 2019), considero que la investigación escolar sobre la convertibilidad debe concebirse como un espacio vivo para la construcción y el perfeccionamiento de las habilidades científicas, en el que cada estudiante puede explorar, equivocarse, dialogar y reconstruir su comprensión en diálogo con la experiencia y el grupo. No basta con transferir información técnica, es necesario propiciar escenarios donde los estudiantes sean capaces de experimentar, analizar e inferir sobre los cambios observados en esta relación luz - electricidad.

Este enfoque favorece no solo la apropiación de contenidos científicos fundamentales para la comprensión de la energía y sus transformaciones, sino que también habilita la formación de sujetos capaces de pensar con independencia, argumentar con fundamento y participar activamente en la construcción del conocimiento científico escolar.

La consideración de Koerber y Osterhaus (2019) acerca del carácter dinámico de las habilidades científicas se ve sustancialmente enriquecida al conectarse con la

epistemología experimental defendida por Ian Hacking (1983). En “Representar e intervenir”, Hacking enfatiza que la ciencia no se limita a explicar y representar fenómenos mediante teorías, sino que es esencialmente una práctica de intervención: el conocimiento se legitima y se hace real cuando el sujeto puede transformar, manipular y producir efectos tangibles en el mundo físico. (Hacking, 1983)

Esta perspectiva aporta un valor fundamental a la comprensión y desarrollo de habilidades científicas en los escenarios de aula. Si, como sostiene Hacking, “la experimentación no es únicamente verificación de hipótesis, sino producción activa y creación de fenómenos” (Hacking, 1983), entonces el aula debe convertirse en un laboratorio donde los estudiantes sean protagonistas activos del proceso de investigación, capaces de intervenir sobre sustancias, circuitos y fuentes de luz para observar, medir y explicar los cambios que ocurren en el estudio de la conversión de luz en electricidad.

Para que el aprendizaje trascienda la acumulación de datos aislados, esta propuesta concibió el conocimiento científico como un entramado de ideas interrelacionadas: cada concepto sólo adquiere pleno sentido al conectarse con otros en una red coherente. La comprensión de los fenómenos de transformación —como la conversión de luz en electricidad— requiere reconocer que el conocimiento es construido colectivamente y de manera dinámica, tal como lo plantea Wagensberg (1999): “La convivencia humana es el resultado de esta intrincada red de conocimientos y comportamientos.” Esta afirmación nos invita a entender la ciencia no como un producto aislado, sino como un tejido fértil de saberes, prácticas y relaciones que se entrelazan y evolucionan en la interacción escolar.

Es en esa red de conocimientos y comportamientos como sugiere Wagensberg donde las habilidades científicas se nutren y potencian: cuando el estudiante explora, plantea interrogantes, interviene sobre la realidad y comparte hallazgos, está participando activamente en la construcción de una convivencia escolar fundamentada en la curiosidad, el rigor y el respeto por la pluralidad de perspectivas. La experimentación se muestra entonces como vía privilegiada para aprender sobre la transformación de magnitudes; permite que el conocimiento fluya y se fortifique en el tejido colectivo que sostiene el aprendizaje y el avance de la ciencia escolar.

De esta manera, el acto educativo sobre los procesos de transformación deja de ser una transmisión vertical de información para convertirse en una experiencia intersubjetiva, orgánica y colaborativa, donde el desarrollo de habilidades científicas se entrelaza con la

convivencia y la construcción conjunta de sentido sobre el mundo de los fenómenos naturales.

Al articular el enfoque de Hacking con las propuestas de Koerber y Osterhaaus o Wagensberg, se reconoce que el desarrollo y valoración de las habilidades científicas implica tanto la apropiación de procedimientos experimentales —intervenir, observar y registrar sistemáticamente— como el ejercicio de la interpretación y la argumentación, donde la explicación del fenómeno surge de la interacción entre manipulación y reflexión.

En el marco de la propuesta, la comprensión de la convertibilidad entre luz y electricidad requiere transitar al menos dos dimensiones complementarias: por un lado, la acción concreta y práctica sobre los elementos que configuran el fenómeno; por otro, la elaboración de discursos y explicaciones que trasciendan la mera receta experimental, permitiendo al estudiante dar sentido a lo observado y justificarlo en diálogo con la teoría.

El desarrollo de habilidades científicas, tecnológicas y ambientales en los estudiantes de secundaria resulta esencial para formar individuos capaces de abordar cuestiones complejas y tomar decisiones informadas que contribuyan a la sostenibilidad. En este contexto, la Agenda 2030 de las Naciones Unidas establece el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos (ONU, 2015).

Incorporar el estudio de la conversión de luz en electricidad mediante paneles solares en el currículo escolar contribuye directamente a sensibilizar a los alumnos sobre la importancia de las energías limpias y no contaminantes, fortaleciendo al mismo tiempo su compromiso con esta meta de desarrollo sostenible. Así, la formación científica escolar se convierte en una práctica viva y situada, en la que el estudiante aprende no solo a mirar, sino a intervenir, cuestionar y explicar, generando saberes genuinos y autónomos sobre los modos en que la luz se convierte en electricidad y sobre el propio sentido de la acción científica.

Este enfoque de sensibilizar a los estudiantes se justifica por la necesidad de integrar conceptos científicos fundamentales con situaciones reales que les permitan conectar la teoría con la práctica. Los paneles solares ofrecen una aplicación directa a la comprensión del fenómeno de la transformación de luz a electricidad, y su estudio no solo promueve el aprendizaje de la física, sino que también destaca su relevancia en el contexto actual de la transición energética y la sostenibilidad ambiental.

Este trabajo de grado se centra en diseñar e implementar una propuesta didáctica que permita a los estudiantes de grado once explorar la interacción de la radiación solar con materiales semiconductores y comprender el efecto fotoeléctrico o fenómeno fotovoltaico como un proceso de convertibilidad. A través de experiencias prácticas con paneles solares y el uso de sustancias fotosensibles como sulfato de hierro, los estudiantes pueden formular hipótesis, realizar mediciones de voltaje y corriente bajo distintas condiciones lumínicas, analizar resultados y construir explicaciones basadas en evidencias.

Diseño metodológico de la investigación

El desarrollo de esta investigación no se limita a la aplicación aislada de una secuencia de actividades en el aula, sino que responde a un proceso estructurado en fases que articulan de manera progresiva la revisión teórica e histórica, el diseño de la propuesta experimental, la implementación en el contexto escolar y el análisis sistemático de las producciones estudiantiles. Estas fases permiten comprender el proyecto como un entramado que vincula la reflexión conceptual sobre la transformación de la luz en electricidad, el diseño didáctico situado y la indagación sobre las habilidades científicas que los estudiantes ponen en juego cuando trabajan con sustancias fotosensibles y paneles solares. A continuación se describen las fases que orientaron el desarrollo del trabajo.

Fase 1. Revisión teórica e histórica y diseño de la propuesta de aula

La primera fase consistió en la construcción del marco teórico e histórico que da sentido a la investigación y en el diseño inicial de la propuesta de aula “Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares”. En este momento se realizó una revisión de antecedentes sobre habilidades científicas en la educación en ciencias, retomando especialmente los planteamientos de Koerber y Osterhaus acerca del carácter dinámico y acumulativo del pensamiento científico escolar, entre otros autores que subrayan la importancia de la observación, la formulación de hipótesis, la investigación estructurada y la argumentación en el aula.

De manera paralela, se abordó el estudio histórico-experimental de las investigaciones de Alexandre Edmond Becquerel entre 1839 y 1843, siguiendo el trabajo de Fatet y la lectura directa de sus textos, con el fin de comprender cómo se configuró el problema de la relación entre luz y electricidad a partir de dispositivos como el aparato de dos fases, el sistema con haluros de plata y el actinómetro electroquímico. Esta reconstrucción no se concibió como un mero antecedente erudito, sino como un referente para pensar el aula:

la forma en que Becquerel controlaba variables, medía corrientes y analizaba el efecto de distintas regiones del espectro se tomó como modelo para diseñar actividades accesibles donde los estudiantes pudieran revivir, en clave escolar, la experiencia de indagar experimentalmente la acción de la luz sobre materiales sensibles.

En esta misma fase se consolidó la fundamentación física de la transformación de la luz en electricidad, abordando el origen y el espectro de la radiación solar, los sistemas de captación y aprovechamiento de la energía solar, y el funcionamiento de los materiales semiconductores y las celdas fotovoltaicas. A partir del texto de Peltzer y Blancá y de documentos especializados en energía solar, se integraron conceptos como bandas de energía, dopado, uniones p-n, generación y recombinación de portadores, con el objetivo de disponer de un marco conceptual robusto que luego pudiera ser traducido a experiencias de aula significativas. Sobre esta base se diseñó la secuencia de actividades de la propuesta de aula, estructurada en momentos que van desde la caracterización de las cualidades de la luz hasta el estudio del efecto eléctrico en mezclas fotosensibles y paneles solares, e incluyen un cierre orientado por preguntas sobre ciencia, sociedad y ambiente.

Fase 2. Planeación metodológica y diseño de instrumentos

La segunda fase se centró en la definición de la metodología de investigación en el aula y en el diseño de los instrumentos necesarios para la obtención de datos, en coherencia con los objetivos del trabajo. Se optó por un enfoque mixto que integra componentes cuantitativos y cualitativos: por un lado se diseñó un montaje que proyecta luces de colores sobre una mezcla de una sustancia fotosensible conectada a un multímetro para detectar variaciones de corriente y voltaje; por otro, el uso de paneles solares. Lo anterior en búsqueda de realizar un análisis interpretativo de las explicaciones, descripciones y reflexiones de los estudiantes consignadas en sus cuadernos de física y diarios de campo.

En esta fase se precisó el contexto de aplicación de la propuesta: estudiantes de grado undécimo del Colegio Jorge Isaacs, en la localidad de Bosa, y se establecieron los criterios para seleccionar cinco participantes cuyas producciones serían analizadas en profundidad, identificados en el documento como E1, E2, E3, E4 y E5 para preservar la confidencialidad. Se diseñaron y ajustaron los montajes experimentales (por ejemplo, la caja opaca revestida con papel aluminio para trabajar con la mezcla de sulfato de hierro, y el dispositivo con celda fotovoltaica para el estudio de diferentes tipos de luz), así como las tablas de registro de corriente y voltaje, las guías de actividad y las consignas de trabajo que orientarían la acción de los estudiantes en cada momento de la secuencia.

Al mismo tiempo, se definieron las categorías iniciales de habilidades científicas que servirían de criterio para el posterior análisis: observación y descripción de fenómenos, identificación y diferenciación de variables, registro, organización e interpretación de datos, formulación de explicaciones, hipótesis y modelos, y argumentación y toma de postura basada en evidencias. Estas categorías, ancladas en el marco teórico del Capítulo 1, orientaron el diseño de los diarios de campo y de las preguntas abiertas que se plantearon a los estudiantes, buscando que sus producciones hicieran visibles no solo lo que “sabían” sobre la luz y la electricidad, sino cómo miraban, analizaban y explicaban el fenómeno de transformación entre ambas magnitudes.

Fase 3. Implementación de la propuesta de aula y producción de datos

La tercera fase correspondió a la implementación de la secuencia de actividades en el aula y la obtención de los datos empíricos que serían posteriormente sistematizados y analizados. En coherencia con el diseño, la propuesta se desarrolló en varios momentos encadenados: una primera actividad de exploración de las cualidades de la luz, en la que los estudiantes descomponen la luz blanca y discuten sobre colores, espectro y fuentes luminosas; una segunda actividad centrada en la mezcla de sulfato de hierro, donde se registra el efecto de distintos tipos de luz (blanca, amarilla, roja, azul, ultravioleta) sobre la corriente y el voltaje en un circuito controlado; una tercera actividad de medición de la respuesta de una celda fotovoltaica frente a diversos tipos de luz; y un momento de cierre en el que se articulan los aprendizajes con preguntas sobre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente.

Durante esta fase, los estudiantes trabajaron en equipos, configuraron los montajes, manipularon instrumentos como multímetros y amperímetros, registraron datos en tablas previamente diseñadas y produjeron explicaciones y reflexiones escritas a partir de preguntas orientadoras como “¿Cómo variarán los datos de voltaje y corriente según el tipo de luz?” o “¿Cuáles son las variables presentes al momento de proyectar diferentes tipos de luz sobre una celda fotovoltaica?”. El docente acompañó el proceso guiando la identificación de variables, promoviendo la comparación de resultados entre grupos y fomentando el uso de los registros empíricos como base para la construcción de explicaciones sobre el fenómeno de conversión de luz en electricidad.

En esta fase se generó el corpus principal de la investigación: tablas de corriente y voltaje, anotaciones en cuadernos de física, diarios de campo individuales, y transcripciones de algunas intervenciones orales de los estudiantes durante las puestas en común. Este

conjunto de datos recoge tanto la dimensión cuantitativa del fenómeno (valores numéricos que evidencian cambios en función del tipo de luz) como la dimensión cualitativa (formas de describir, interpretar y argumentar a partir de esos cambios), en consonancia con la apuesta por entender el desarrollo de habilidades científicas como un proceso que articula acción experimental y elaboración discursiva.

Fase 4. Sistematización, análisis categorial y elaboración de resultados

La cuarta fase se orientó a la sistematización cuidadosa de la experiencia y al análisis categorial de las producciones estudiantiles, con el fin de responder a la pregunta de investigación: ¿cómo contribuye una secuencia histórico-experimental sobre el efecto fotoeléctrico al desarrollo de habilidades de indagación científica y a la conciencia crítica ambiental en estudiantes de grado undécimo? En un primer momento, se realizó una lectura completa de los cuadernos y diarios de campo de los cinco estudiantes seleccionados, transcribiendo los fragmentos más significativos y corrigiendo únicamente errores formales que pudieran dificultar la interpretación, sin alterar el sentido de sus expresiones.

Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de selección y agrupación intencional de segmentos de texto en los que se hicieran evidentes las habilidades científicas trabajadas en el marco teórico. Este trabajo incluyó la identificación de descripciones de fenómenos (por ejemplo, cambios en corriente y voltaje ante distintos tipos de luz), menciones explícitas a variables manipuladas o medidas, referencias a tablas y comparaciones de datos, formulación de hipótesis o explicaciones causales (“la longitud de onda influye en cuántos electrones se liberan”) y conclusiones apoyadas en los resultados obtenidos en los montajes. Para apoyar la organización categorial y reducir sesgos, se utilizaron herramientas de apoyo computacional para agrupar fragmentos según las categorías previamente definidas, sin perder de vista el contexto específico de cada actividad.

El análisis de la sistematización, presentado en el cierre del Capítulo 4, se nutre de este proceso de codificación y permite trazar, para cada momento de la propuesta de aula, una lectura fina de cómo E1, E2, E3, E4 y E5 movilizan las habilidades científicas a lo largo de la secuencia. De esta manera, las fases de la investigación configuran un recorrido que va desde la reflexión teórica e histórica hasta la interpretación de expresiones concretas de estudiantes, mostrando cómo la experimentación con sustancias fotosensibles y paneles solares puede convertirse en una oportunidad real para fortalecer habilidades de observación, análisis y explicación científica en torno a la transformación de la luz en

electricidad, y para abrir discusiones informadas sobre el papel de la energía solar en la sociedad contemporánea.

Antecedentes

En esta investigación se adoptaron diferentes marcos metodológicos y teóricos que aportaron profundidad al análisis y la comprensión del tema tratado. Se combinaron enfoques metodológicos con el estudio de fenómenos como las propiedades de la luz y sus efectos eléctricos sobre la materia. Esta revisión facilitó el estudio del fenómeno desde una perspectiva histórica y experimental. A continuación, se explican y justifican las contribuciones de cada uno de los referentes seleccionados.

Autor/Año	Tipo de Texto	Periodo/Publicación	Palabras Clave	Repositorio/Institución
Jiménez, J. (2023)	Trabajo de Especialización	2023	Efecto fotoeléctrico, sustancias fotosensibles, luz UV, experimentación escolar	Universidad Pedagógica Nacional (UPN), Bogotá
García Maldonado, L. (2023)	Tesis/Trabajo de Grado	2023	Efecto fotoeléctrico, fotorresistencias, sulfato de cobre, interacciones eléctricas	Universidad Pedagógica Nacional (UPN) o similar
Moreno Quiñones, Y. (2018)	Artículo/Tesis	2018	Fuentes luminosas, características luz, clasificación espectral, experimentación	Repositorio académico colombiano
Fatet, J. (2015)	Tesis Doctoral	2015	Edmond Becquerel, efecto fotoquímico, haluros de plata, historia fotografía	Repositorio francés/universitario

Autor/Año	Tipo de Texto	Periodo/Publicación	Palabras Clave	Repositorio/Institución
Koerber & Osterhaus (2019)	Artículo Científico	2019	Habilidades científicas, razonamiento temprano, control variables, kindergarten	<i>Child Development Perspectives</i> (Wiley)
Peltzer & Blanc (2021)	Capítulo/Libro Técnico	2021	Semiconductores, uniones p-n, dopaje, celdas fotovoltaicas	Editorial técnica/UPN biblioteca

Tabla 1. Antecedentes: Caracterización bibliográfica

“Una aproximación experimental al estudio sobre el fenómeno de la transformación de la luz en electricidad con sustancias fotosensibles” por Juan Camilo Jiménez Jiménez (Jiménez J, 2024): En esta investigación se propone una aproximación experimental para el estudio del fenómeno de la transformación de la luz en electricidad, especialmente a través del uso de sustancias fotosensibles. Su investigación integra un análisis histórico-crítico y un enfoque experimental que permiten una comprensión más profunda de las interacciones eléctricas generadas por la luz en ciertos materiales. De igual manera se realiza un recorrido histórico sobre los avances científicos desde el siglo XIX, destacando los trabajos pioneros de científicos como Edmond Becquerel, Philipp von Lenard y Albert Einstein, quienes sentaron las bases para entender el efecto fotoeléctrico y el comportamiento eléctrico de sustancias expuestas a luz ultravioleta. Este arraigo histórico se complementa con la propuesta y aplicación de actividades experimentales en el aula, diseñadas para que docentes en formación de la Universidad Pedagógica Nacional puedan observar y analizar los cambios eléctricos producidos en mezclas de sustancias fotosensibles al ser iluminadas.

Este enfoque pedagógico promueve la reflexión, la experimentación y la construcción activa del conocimiento científico, mediante una secuencia de actividades que favorecen la participación estudiantil y estimulan un aprendizaje significativo sobre fenómenos naturales complejos. Además, se enfatiza la importancia de cerrar la brecha entre el conocimiento científico formal y el conocimiento cotidiano mediante la experimentación directa y la contextualización histórica. Evolucionando desde el sulfato de plata bajo luz UV hacia una secuencia didáctica integral con sulfato de hierro y celdas solares para

grado 11. Su principal aporte radica en demostrar mediante la sistematización de producciones estudiantiles, cómo la experimentación accesible fortalece habilidades científicas (observación, control de variables, argumentación), articulando la historia (Becquerel) con la enseñanza de la ciencias en el aula, la física de semiconductores y la conciencia ambiental.

"Análisis de la luz desde su interacción eléctrica: una propuesta experimental para generar conocimiento sobre el efecto fotoeléctrico" por Luisa Yineth García Maldonado (García L, 2023): Este estudio ofrece una propuesta experimental centrada en la interacción eléctrica de la luz, con un énfasis particular en el efecto fotoeléctrico. La incorporación de este referente metodológico en mi investigación facilita un análisis crítico e histórico para la enseñanza de la física. En este trabajo se realiza una revisión histórica sobre las investigaciones de científicos como Edmond Becquerel y Heinrich Hertz, explorando las interacciones eléctricas de la luz y el efecto fotoeléctrico. Además, se plantea una secuencia didáctica junto con actividades experimentales para que los estudiantes puedan desarrollar su propio conocimiento acerca de estos fenómenos. Esta investigación aporta un enfoque histórico y crítico valioso para mejorar las estrategias de enseñanza, logrando que los estudiantes participen de manera activa en la construcción de su conocimiento sobre estos fenómenos.

La autora desarrolló una propuesta experimental para la enseñanza del efecto fotoeléctrico dirigida a estudiantes de educación media, basada en actividades prácticas que permitieron reconocer y describir las interacciones eléctricas de la luz sobre materiales fotosensibles. Los experimentos incluyeron el uso de fotorresistencias para medir voltajes y corrientes en función de diferentes frecuencias y colores de luz, la observación de sustancias fotosensibles como el cloruro de hierro frente a diversas frecuencias luminosas, y la creación de montajes con sales como sulfato de cobre para estudiar la producción de electricidad al interactuar con la luz.

Los resultados mostraron que los estudiantes lograron describir significativamente el fenómeno del efecto fotoeléctrico, comprendiendo que la corriente generada depende de la frecuencia y color de la luz, y que la intensidad lumínica influye en la magnitud de la corriente y el voltaje medido. Esta experiencia evidenció una mejor comprensión conceptual y práctica del fenómeno, destacando la importancia de la experimentación para construir conocimiento en física.

Aunque los montajes y experimentos de la autora no son exactamente los mismos que se realizarán en esta investigación, constituyen un importante antecedente. Estos permiten evidenciar la transformación de luz en electricidad y establecer relaciones fundamentales entre estas magnitudes, sirviendo como base conceptual y metodológica para las experiencias experimentales planeadas. De esta manera, se fortalece la comprensión del efecto fotoeléctrico y se sustenta la propuesta experimental que se llevará a cabo en esta tesis, orientada a profundizar en la interacción luz-electricidad.

"Fuentes luminosas, características y clasificación: una estrategia para acercar a los estudiantes a algunos fenómenos de la emisión de luz" por Yeferson Andrés Moreno Quiñones (Moreno Y, 2018): El trabajo de Moreno Quiñones presenta una estrategia experimental orientada a acercar a los estudiantes a la comprensión de fenómenos relacionados con la emisión de luz. Este referente teórico se incluye en mi investigación porque contribuye a fortalecer la explicación sobre las fuentes luminosas, sus propiedades y clasificación, brindando un marco conceptual sólido que sustenta la fundamentación teórica de mi trabajo. Propone actividades experimentales enfocadas en el estudio de características y la clasificación de diversas fuentes de luz, concebidas no solo para validar teorías, sino también para estimular habilidades cognitivas y de pensamiento en los estudiantes. Asimismo, incorpora una actividad que cuestiona las ideas previas del estudiante sobre un fenómeno específico, lo que permite ampliar su comprensión durante el proceso de aprendizaje. Este enfoque promueve la interacción controlada con diferentes fenómenos para que los estudiantes desarrollen marcos explicativos cada vez más complejos. Así, la propuesta de Moreno Quiñones enriquece las estrategias experimentales al fomentar el pensamiento crítico y promover una construcción activa del conocimiento, elementos clave para la investigación científica.

"Las investigaciones de Edmond Becquerel sobre la naturaleza de la luz entre 1839 y 1843, historia de una interacción exitosa entre ciencia y fotografía" por Jérôme Fatet (Fatet J, 2015): La investigación de Fatet sobre las aportaciones de Edmond Becquerel a la comprensión de la naturaleza de la luz durante el periodo 1839-1843 brinda una valiosa perspectiva histórica. La inclusión de este referente teórico aporta un contexto relevante al mostrar la evolución del conocimiento sobre la luz y su vinculación con la fotografía. Esto ayuda a situar mi investigación en un marco histórico que enriquece la comprensión del desarrollo del campo de estudio, pues la investigación de Fatet permite apreciar cómo ha avanzado la comprensión de la luz a lo largo del tiempo. De este trabajo

se rescatan las contribuciones relevantes de Edmond Becquerel, que han sido fundamentales para la comprensión histórica de la luz y que enriquecen la visión de mi estudio, especialmente en relación con los efectos eléctricos de la luz sobre sustancias fotosensibles.

Los antecedentes consultados aportan una combinación de aspectos históricos, la experimentación y el análisis crítico para abordar el fenómeno de la transformación de la luz en electricidad. Estas investigaciones fortalecen los fundamentos teóricos y metodológicos de este trabajo, al ofrecer perspectivas integradoras que permiten un abordaje pedagógico, orientado a la comprensión profunda de fenómenos físicos complejos en contextos educativos.

Capítulo 1. Fundamentos para una enseñanza de las ciencias significativa a nivel de la escuela media secundaria

El presente capítulo se propone desarrollar una reflexión profunda sobre fundamentos esenciales para una enseñanza significativa de las ciencias en la escuela básica primaria y secundaria. Para ello, las discusiones se articulan en torno a tres preguntas guía que orientan los momentos claves del capítulo y del proceso educativo: ¿Por qué fomentar el fortalecimiento de habilidades científicas en los experimentos del aula?, ¿Por qué realizar experimentos en el aula como estrategia didáctica? y ¿Por qué es importante establecer vínculos entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente en el aula?

Cada una de estas preguntas será explorada para explicar su importancia en la formación científica de los estudiantes, fundamentando una metodología que privilegia el aprendizaje activo y significativo, en consonancia con la propuesta de Jerome Bruner. Según Bruner (1984), aprender ciencia implica un proceso activo de búsqueda, descubrimiento y construcción de conocimientos, donde el docente debe facilitar espacios para que los estudiantes organicen y articulen saberes, desarrollen pensamiento crítico y comprendan la realidad desde diversas perspectivas. (Bruner, 1984)

1.1. En búsqueda del desarrollo de habilidades científicas en el aula

El desarrollo de habilidades científicas desde etapas tempranas del aprendizaje es fundamental para fomentar un pensamiento científico robusto, consciente y significativo. Koerber y Osterhaus (2019) enfatizan que el pensamiento científico temprano presenta diferencias individuales en la manera en que los estudiantes interpretan, analizan, evalúan y aplican conceptos científicos, siendo estas variaciones cognitivas un aspecto crucial a evaluar y acompañar en la formación educativa. El proceso de desarrollo de estas habilidades es cíclico y acumulativo, implicando una búsqueda intencional y progresiva del contenido científico, que no solo consiste en adquirir información sino en estructurarla y utilizarla para resolver problemas reales.

Entre las habilidades científicas más destacadas en los primeros niveles de escolaridad se encuentran la observación detallada, la formulación de hipótesis, la realización de investigaciones estructuradas, la capacidad de llegar a conclusiones basadas en evidencias y la comunicación efectiva de los resultados (Koerber & Osterhaus, 2019) Estas habilidades se consideran esenciales para promover en el estudiante una aproximación

racional y crítica hacia la realidad material, favoreciendo una comprensión activa y profunda del entorno natural.

La observación trasciende la simple percepción sensorial, implicando un proceso mental en el que las ideas previas y expectativas del estudiante juegan un papel activo, transformando la experiencia sensorial en conocimiento. La formulación de hipótesis habilita la predicción y la explicación provisional de fenómenos, basándose tanto en experiencias anteriores como en nuevas evidencias observadas. La investigación se define acá como un proceso sistemático que guía al estudiante desde la identificación de un problema hasta el análisis y evaluación de los datos obtenidos. Finalmente, concluir implica comparar ideas iniciales con la evidencia para validar o modificar las explicaciones, mientras que comunicar concede un espacio para compartir y contrastar resultados, consolidando así el aprendizaje científico (Harlen, 1998)

Además, Koerber y Osterhaus (2019) resaltan la relevancia de habilidades cognitivas superiores como el análisis crítico, la evaluación de evidencias y la toma de decisiones fundamentadas, que deben promoverse desde el inicio de la educación científica para construir un marco sólido de razonamiento. Estas habilidades no solo fundamentan la formación científica escolar, sino que también son clave para el desarrollo de una ciudadanía informada y capaz de dialogar sobre problemáticas científicas con rigor y autonomía.

Para lograr este desarrollo integral, la metodología educativa debe contemplar estrategias que involucren la exploración activa, la formulación de preguntas significativas y la creación de espacios para la reflexión y el debate (Koerber, A. y Osterhaus, C., 2019). La mediación docente en la formulación de interrogantes pertinentes, la facilitación de la experimentación y la promoción del pensamiento crítico es fundamental para ayudar a los estudiantes a confrontar sus ideas previas con nuevas evidencias y avanzar hacia niveles superiores de comprensión científica.

Finalmente, la adquisición de estas habilidades científicas tempranas está estrechamente vinculada con la alfabetización científica, entendida como la capacidad para identificar preguntas relevantes, utilizar el conocimiento científico y basar decisiones en evidencia para comprender y actuar sobre el mundo natural y el impacto humano en él. Por ello, desde la escuela se debe incentivar la curiosidad natural de los niños y su deseo por explorar, indagar y explicar su entorno, sentando así las bases para una formación científica profunda, crítica y participativa en la sociedad actual.

1.2. La experimentación como un camino óptimo para el aprendizaje

La experimentación en el aula se configura como estrategia didáctica esencial para la enseñanza de las ciencias, al ampliar y organizar la experiencia estudiantil en un entramado coherente que facilita la construcción activa de conocimiento científico. Esta concepción es sostenida desde una perspectiva fenomenológica por (Ayala, M., Malagón, J., & Sandoval, S., 2013) quienes argumentan que la actividad experimental es un espacio privilegiado donde se establece una relación íntima y dinámica entre la construcción de fenomenologías y el desarrollo de procesos de formalización y conceptualización.

Los autores precisan que un fenómeno es aquello que aparece ante la conciencia, implicando que el conocimiento científico parte de experiencias sensibles que no solo deben ser observadas sino también construidas activamente. Esta construcción fenomenológica es el proceso mediante el cual los sujetos en este caso, los estudiantes organizan la experiencia sensible en estructuras que permiten hablar, explicar y actuar sobre el fenómeno estudiado (Ayala, M., Malagón, J., & Sandoval, S., 2013) Desde esta óptica, el experimento no es solo una actividad demostrativa o confirmatoria, sino que funge como el vehículo principal para construir ese campo fenomenológico necesario para el aprendizaje profundo.

Tal reflexión tiene gran relevancia para la investigación, ya que se enfoca en el fenómeno complejo de la transformación de la luz en electricidad a través de sustancias fotosensibles. La luz y su conversión en energía eléctrica representan un fenómeno intangible y abstracto para estudiantes de educación media, que difícilmente pueden comprender solo a partir de explicaciones teóricas o modelos simbólicos. La experimentación permite transformar esta abstracción en experiencias concretas, desde las cuales se pueden organizar y caracterizar las cualidades del fenómeno, generar registros cuantitativos, y construir las magnitudes necesarias para formalizar su comprensión, lo cual fortalece las habilidades científicas en el aula (Ayala, M., Malagón, J., & Sandoval, S., 2013).

Además, los autores señalan que la experimentación implica la ampliación de la experiencia mediante la exploración sistemática de efectos y relaciones entre variables. Esto es fundamental para fomentar en los estudiantes el pensamiento crítico y analítico, al permitirles observar discrepancias, realizar comparaciones y generar nuevos significados frente a la información empírica obtenida en el laboratorio o aula (Ayala, M., Malagón, J., & Sandoval, S., 2013). En el contexto del estudio del efecto fotoeléctrico,

por ejemplo, las actividades experimentales diseñadas para evaluar la respuesta eléctrica de sustancias fotosensibles incrementan la base fenomenológica del estudiante, al brindar evidencias directas y medibles que permitan vincular teoría y experiencia.

Un punto clave destacado en el texto es la relación inseparable entre experimentación y formalización del conocimiento. (Ayala, M., Malagón, J., & Sandoval, S., 2013) explican que la experimentación en la enseñanza no solo construye experiencia sensible, sino que simultáneamente promueve procesos de formalización mediante la construcción de unidades de medida, instrumentos y esquemas conceptuales. Por tanto, las actividades experimentales bien diseñadas facilitan que los estudiantes no solo perciban los fenómenos sino que también desarrollen lenguajes, símbolos y modelos que articulan la realidad física observada con estructuras teóricas accesibles.

Esta idea tiene una relación directa con el trabajo que se plantea, pues el proceso de estudiar la transformación de la luz en electricidad incluye la construcción y el manejo de magnitudes físicas relevantes, tales como la intensidad de la corriente, el potencial eléctrico o la conductividad de las sustancias fotosensibles. La experimentación convierte la construcción abstracta de magnitudes y modelos en una experiencia práctica, crucial para el desarrollo de competencias científicas como la medición, la interpretación de datos y la argumentación contextualizada.

Otra contribución importante del enfoque propuesto es que supera dicotomías tradicionales entre teoría y práctica, y entre mundo sensible y mundo conceptual. (Ayala, M., Malagón, J., & Sandoval, S., 2013) Argumentan que estas separaciones no resultan útiles en el proceso de aprendizaje, ya que teoría y experimentación deben entenderse como procesos interrelacionados y complementarios. A través de la experimentación, la teoría se dinamiza y la experiencia se formaliza, permitiendo avanzar hacia explicaciones más integradoras y representaciones conceptuales que facilitan una comprensión significativa (Ayala, M., Malagón, J., & Sandoval, S., 2013).

Finalmente, la experimentación en el aula favorece la construcción colaborativa del conocimiento y una actitud propositiva hacia la ciencia, aspectos esenciales para desarrollar habilidades científicas en los estudiantes. Al enfrentar fenómenos como la transformación de la luz en electricidad, los estudiantes no solo acceden a saberes formales, sino que también participan en la actividad propia del quehacer científico – la observación, la hipótesis, la experimentación, y la reflexión – promoviendo así un aprendizaje activo, situado y transferible a contextos reales.

1.3 Estableciendo vínculos entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente para la clase de física.

En el contexto educativo actual, comprender fenómenos científicos no puede limitarse a su explicación en términos abstractos o teóricos. La ciencia se encuentra en constante interacción con la sociedad y el ambiente, y para formar ciudadanos críticos y responsables, la enseñanza debe promover la construcción de conexiones significativas entre estos ámbitos. Desde esta perspectiva, establecer vínculos entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) en el aula no es una opción, sino una necesidad imperante que enriquece el proceso de aprendizaje y aporta a la formación de habilidades científicas fundamentales en los estudiantes.

Woods (Woods, 1987) sostiene que la escuela debe ser un espacio donde el aprendizaje trasciende la transmisión de conocimientos y favorece experiencias que permitan a los estudiantes entender cómo las ciencias y las tecnologías intervienen en su realidad cotidiana. La autora enfatiza que la escuela debe convertirse en un espacio de diálogo entre la ciencia y el contexto social y ambiental, promoviendo la reflexión crítica respecto a cómo las actividades humanas impactan el mundo natural y cómo las soluciones tecnológicas pueden influir en la vida social y ambiental. Esta visión es fundamental para la formación de ciudadanos conscientes y activos, capaces de afrontar los desafíos del siglo XXI.

El fenómeno que se estudia en esta investigación -la transformación de la luz en electricidad a través de sustancias fotosensibles- es un ejemplo claro de cómo la física y la tecnología están profundamente vinculadas con las problemáticas sociales y ambientales. La energía solar, por ejemplo, se presenta como una alternativa limpia y renovable, cuya utilización requiere de conocimientos científicos y tecnológicos que deben ser comprendidos en su dimensión social y ecológica. Al promover en el aula actividades experimentales vinculadas a este fenómeno, los estudiantes tienen la oportunidad de conectar el aprendizaje académico con problemas reales de su entorno, fomentando una visión sistémica y crítica que va más allá del simple memorismo.

Woods también señala que la interacción con el entorno real y social en la escuela puede transformar la percepción que los estudiantes tienen de la ciencia, comprendiendo que esta no es una disciplina aislada, sino un conjunto de herramientas que los seres humanos

han desarrollado para entender, modificar y mejorar su entorno (Woods, 1987). En el caso del fenómeno de la luz y su conversión en energía eléctrica, el potenciar habilidades científicas como la observación, la medición, el análisis y la argumentación se vuelve un paso esencial para que los estudiantes puedan entender las aplicaciones prácticas y los impactos sociales que derivan de estos conocimientos. No basta con comprender el fenómeno en sí, sino que es necesario que puedan evaluar críticamente los beneficios y riesgos asociados a su utilización en contextos reales, como la generación de energía en comunidades vulnerables o el diseño de sistemas de energía sostenibles.

Además, vincular estas dimensiones en el aula fomenta el pensamiento crítico y el compromiso social. La ciencia y la tecnología no son solo conocimientos académicos, sino herramientas potenciales para transformar la realidad social y ambiental. El trabajo con fenómenos como la transformación de la luz en electricidad permite crear conciencia sobre la responsabilidad que tiene la comunidad educativa en el uso racional de los recursos naturales y en la búsqueda de soluciones sostenibles. La educación científica, por tanto, debe apoyar a los estudiantes no solo en la adquisición de conceptos, sino en la comprensión del papel social y ambiental de la ciencia y la tecnología. Este enfoque integral favorece la formación de ciudadanos comprometidos con el bienestar colectivo y la sostenibilidad del planeta.

Por último, incorporar el modelo CTSA en el aula también implica promover acciones educativas participativas y colaborativas. Woods afirma que el aprendizaje significativo requiere la participación activa del estudiante en la exploración y solución de problemas reales, en diálogo constante con su entorno (Woods, 1987). La experimentación, en este sentido, se convierte en un medio para que los estudiantes no solo observen fenómenos, sino que también formulen hipótesis, diseñen experimentos, analicen resultados y comuniquen sus conclusiones, en un proceso que fomenta habilidades propias del método científico y el pensamiento crítico. La aplicación de estas habilidades en el contexto del fenómeno estudiado contribuye a desarrollar competencias que serán esenciales en su formación profesional y ciudadana.

La integración de ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en el aula resulta fundamental para promover un aprendizaje de calidad, que prepare a los estudiantes para afrontar los desafíos del mundo actual. El fenómeno de la transformación de la luz en electricidad, además de ser un ejemplo del impacto directo de la ciencia en nuestra vida cotidiana, puede convertirse en un potente recurso didáctico para desarrollar habilidades científicas

y promover la conciencia social y ambiental. La escuela, en este sentido, debe dejar de ser solo un espacio de transmisión de conocimientos para convertirse en un escenario de construcción activa de ciudadanía científica, crítica y responsable.

Vincular ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA) en el aula cobra especial relevancia cuando la experimentación sobre la transformación de luz en electricidad teje una comprensión integral en los estudiantes, articulando fenómenos físicos con sus implicaciones energéticas y sostenibles. No solo se adquieren conocimientos sobre el efecto fotoeléctrico, sino que se propicia la reflexión sobre cómo estas transformaciones físicas sirven de base para tecnologías sustentables, como los paneles solares, cuyo uso creciente tiene implicaciones directas para la sociedad y el ambiente. Este tipo de actividades situadas permite que los estudiantes visualicen el valor social y ecológico del conocimiento científico, incrementando su motivación e interés por la ciencia.

El abordaje desde un enfoque CTSA, relacionándolo con la idea de Woods, de que también ofrece un marco para que las habilidades científicas se desarrollen en consonancia con valores éticos y sociales (Woods, 1987). Por ejemplo, al estudiar cómo las tecnologías basadas en la energía solar contribuyen a la mitigación del cambio climático, los estudiantes no solo ejercitan habilidades como la observación, medición y análisis de datos experimentales, sino que también reflexionan sobre la responsabilidad social que implica el desarrollo y uso de estas tecnologías. Esto favorece la formación de una conciencia crítica sobre la ciencia y tecnología, un objetivo clave en la educación científica contemporánea.

Además, la integración de estas dimensiones permite radicalizar la función formativa de la escuela al vincular el conocimiento científico con problemas concretos y actuales. La sociedad enfrenta retos ambientales y energéticos que demandan profesionales y ciudadanos capaces de comprender las bases científicas, interpretar avances tecnológicos y evaluar sus impactos sociales. En este sentido, el trabajo experimental híbrido con sustancias fotosensibles para estudiar la transformación de la luz en electricidad se convierte en un laboratorio conceptual para que los estudiantes se afiancen en el manejo de evidencias, formulación de hipótesis y toma de decisiones fundamentadas—todas habilidades científicas que Woods reconoce como fundamentales para la formación integral.

Desde la perspectiva metodológica, establecer estos vínculos favorece la incorporación de metodologías activas y participativas en el aula, donde el estudiante se convierte en

protagonista de su aprendizaje. La experimentación, guiada por cuestionamientos integradores sobre las conexiones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, promueve diálogos enriquecedores que contribuyen a la construcción colectiva del conocimiento. Estas prácticas elevan el nivel cognitivo y motivacional de los estudiantes, permitiéndoles desarrollar habilidades complejas y, a la vez, comprender el papel de la ciencia en la transformación social y ambiental.

La formación de habilidades científicas en un marco CTSA no solo prepara a los estudiantes para la adquisición de conocimientos científicos técnicos, sino que también los habilita para participar como agentes activos en la resolución de problemas reales. La ciencia enseñada como conocimiento integral, en estrecha relación con la tecnología, la sociedad y el ambiente, empodera a los estudiantes para comprender desafíos globales y locales, y para contribuir en soluciones innovadoras y sostenibles. Por estas razones, establecer vínculos entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente en el aula es vital para una educación científica contemporánea que esté a la altura de los desafíos sociales y ambientales actuales, y que promueva en los estudiantes habilidades científicas sólidas, contextualizadas y comprometidas con la realidad.

En el contexto de la enseñanza de las ciencias, particularmente en la educación secundaria, resulta fundamental delimitar con precisión los conceptos de habilidades y competencias científicas, no solo para fundamentar teóricamente la propuesta de esta investigación, sino para orientar el diseño de actividades experimentales que promuevan un aprendizaje significativo del fenómeno de la transformación de la luz en electricidad. Las habilidades científicas se entienden como capacidades específicas, observables y medibles que los estudiantes desarrollan en el marco de prácticas concretas, tales como la observación detallada de fenómenos, la formulación de hipótesis provisionales, el registro sistemático de datos empíricos, el manejo preciso de instrumentos de medición (multímetros, luxómetros, amperímetros) y la elaboración inicial de explicaciones basadas en evidencias sensoriales o cuantitativas. Estas habilidades, alineadas con perspectivas como las de Harlen (1998) y Koerber y Osterhaus (2019), operan a un nivel operativo y procedimental, permitiendo a los estudiantes ejecutar tareas puntuales del quehacer científico escolar —por ejemplo, identificar variables independientes en un montaje con sulfato de hierro o comparar corrientes eléctricas bajo diferentes frecuencias lumínicas—, pero sin necesariamente implicar una integración general con contextos socioambientales o transferencias a situaciones complejas.

Por su parte, las competencias científicas trascienden este ámbito procedimental para configurarse como desempeños integradores y contextualizados, que movilizan un conjunto articulado de conocimientos conceptuales, habilidades procedimentales y actitudes valorativas en la resolución de problemas auténticos y relevantes para la vida cotidiana, una competencia científica implica no solo observar y medir el efecto fotovoltaico en una celda solar, sino argumentar críticamente sus implicaciones en la transición energética, evaluar el impacto ambiental de la producción de paneles solares (consumo hídrico, reciclaje) y proponer acciones alineadas con la Agenda 2030 y el Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7). Así, mientras las habilidades se centran en el "cómo hacer" de la indagación —replicable en el aula mediante secuencias controladas—, las competencias enfatizan el "para qué" y el "en qué contexto", demandando una visión sistémica que vincule ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA), como propone Woods.

Esta investigación se inclina de manera predominante hacia el desarrollo y análisis de habilidades científicas, en coherencia con los intereses centrales de la indagación: identificar, describir y sistematizar las manifestaciones concretas de estas capacidades en estudiantes de grado once durante la implementación de la propuesta histórico-experimental "Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares". El enfoque en habilidades responde a la necesidad de documentar evidencias finas y observables -extraídas de diarios de campo codificados E1-E5, registros numéricos de voltajes y corrientes, y transcripciones de diálogos grupales- que permitan evaluar progresiones específicas, como el paso de observaciones fenomenológicas ("la corriente aumenta con la luz UV") a interpretaciones causales ("las diferentes frecuencias lumínicas liberan electrones en la mezcla fotosensible").

El proyecto no ignora el potencial de un enfoque por competencias en la propuesta; al contrario, las habilidades científicas fortalecidas —observación rigurosa, identificación de variables, registro y análisis de datos, argumentación evidenciada— sientan las bases para una emergencia gradual de competencias, especialmente al conectar los experimentos inspirados en el trabajo de Becquerel con reflexiones CTSA sobre sostenibilidad energética. Sin embargo, al priorizar habilidades, se responde directamente a la pregunta de investigación "¿Cómo contribuye una secuencia histórico-experimental al desarrollo de habilidades de indagación científica?", permitiendo contribuciones precisas al campo pedagógico: estrategias didácticas accesibles para contextos escolares

colombianos como el Colegio Jorge Isaacs, donde la experimentación limitada por recursos puede potenciar capacidades puntuales que escalen hacia competencias en formaciones subsiguientes. Esta inclinación no minimiza las competencias, sino que las posiciona como horizonte, reconociendo que el desarrollo integral requiere trayectorias curriculares articuladas, mientras las habilidades ofrecen el andamiaje inmediato y evaluable para transformar el aula en laboratorio vivo de indagación científica.

Capítulo 2. Fundamentos histórico-físicos: De Becquerel a los paneles solares.

En este capítulo, la indagación histórica sobre Becquerel y su contribución al efecto fotovoltaico permite valorar el aprendizaje desde una experiencia contextualizada y evolutiva, entendiendo que el fenómeno de transformación de luz en electricidad se concibe tanto desde un efecto fotoquímico, presente en las reacciones de sustancias fotosensibles como haluros de plata y sulfato de hierro, como fotoeléctrico, evidenciado en celdas solares y semiconductores, donde ambos se relacionan porque permiten estudiar el mismo fenómeno desde perspectivas complementarias: la primera, mediante cambios químicos inducidos por luz que generan corriente; la segunda, por excitación electrónica directa en materiales estructurados. Esto fomenta actitudes de análisis a través del enfoque experimental que permite hacer réplicas o experimentos inspirados en dichos trabajos, poniendo énfasis en la acción práctica en el aula escolar.

¿Por qué abordar la investigación a través de los Estudios históricos de Edmond Becquerel?

Abordar la investigación científica sobre la transformación de luz en electricidad, a través de los estudios históricos de Edmond Becquerel constituye una estrategia didáctica significativa para la formación en ciencias. Como señala Fensham (2004), “La historia de la ciencia revela la naturaleza provisional y colaborativa del conocimiento científico y al integrarla en la enseñanza se fortalecen habilidades de investigación, interpretación y análisis crítico, esenciales para la formación científica escolar.” (Fensham, 2004) Esta afirmación resalta la dimensión humana y dinámica de la ciencia: lejos de ser una acumulación de datos definitivos, el saber se construye en comunidad, mediante el ensayo, el error y la revisión constante de ideas y evidencias.

El recorrido científico que lleva desde los experimentos pioneros de Edmond Becquerel sobre la naturaleza de la luz hasta el uso contemporáneo de paneles solares constituye un proceso de evolución tecnológica y conceptual que merece ser comprendida en dos niveles complementarios. En primer lugar, esta sección realiza una revisión histórica detallada, fundamentada principalmente en la tesis doctoral de Jérôme Fatet (2015) Titulada: “*Les recherches d’Edmond Becquerel sur la nature de la lumière entre 1839 et 1843, histoire d’une interaction réussie entre science et photographie*”, que reconstruye el proceso de investigación desarrollado por Becquerel entre 1839 y 1843. Fatet expone con detenimiento cómo Becquerel diseñó y perfeccionó diversos aparatos

electroquímicos para medir la interacción entre luz y sustancias fotosensibles, partiendo de su formación y competencias técnicas en fotografía.

La revisión directa de los textos originales de Alexandre Edmond Becquerel constituye un punto de inflexión en esta investigación, en la medida en que permite ir más allá de las reconstrucciones secundarias de su obra y recuperar la lógica experimental con la que abordó la relación entre luz y electricidad en el siglo XIX. A partir de la lectura detallada de sus memorias sobre el aparato de dos fases, los dispositivos con haluros de plata y el actinómetro electroquímico, este trabajo actualiza la descripción de dichos montajes e identifica los criterios de control de variables, de medición de corrientes y de comparación de efectos luminosos que sustentan sus conclusiones.

Este ejercicio de reconstrucción histórica se traduce en la propuesta de aula, en el diseño de experiencias accesibles con mezclas fotosensibles y paneles solares que conservan la estructura lógica de los experimentos de Becquerel, pero la adaptan a las posibilidades de un laboratorio escolar contemporáneo. Así, el aporte específico de este estudio consiste en articular, de manera explícita, los procedimientos y decisiones experimentales presentes en las fuentes primarias con una secuencia didáctica situada, que permite a los estudiantes reconstruir desde su contexto, la indagación sobre los efectos eléctricos de la luz y, al mismo tiempo, se despliegan las producciones de estos estudiantes, y que se analizan a lo largo del capítulo 4.

En segundo lugar, se desarrolla con los estudiantes un análisis del progreso tecnológico que se ha alcanzado en el uso de la energía fotovoltaica, así como de las repercusiones ambientales asociadas a la producción y vida útil de los paneles solares. Aunque la tecnología fotovoltaica representa una solución fundamental para la transición energética sostenible, es imprescindible considerar que su fabricación implica un consumo elevado de recursos naturales, como el agua, y el uso de materiales complejos cuya degradación y reciclaje presentan serias dificultades ambientales. Esta parte del capítulo advierte que el desarrollo de esta tecnología no está exento de impactos ecológicos significativos, por lo que es necesario un enfoque crítico y pedagógico que fomente en los estudiantes una conciencia integral sobre el equilibrio necesario entre innovación tecnológica y cuidado del medio ambiente. Así, se busca mostrar cómo el conocimiento histórico-científico puede vincularse con la educación ambiental para formar ciudadanos capaces de valorar

críticamente las tecnologías limpias no solo por sus beneficios energéticos, sino también por sus costos medioambientales y sociales.

En su conjunto, se pretende ofrecer un marco contextual y reflexivo que sirva de base para la propuesta educativa experimental desarrollada en esta investigación, combinando la riqueza histórica de las investigaciones de Edmond Becquerel con la urgencia y complejidad de los desafíos ambientales actuales relacionados con la energía solar. De esta manera, se propicia un diálogo interdisciplinario entre historia de la ciencia, tecnología y educación para el desarrollo de habilidades científicas, éticas y ambientales en el aula.

2.1. Integración experimental de Edmond Becquerel: Estudio del efecto fotoquímico en la transformación de luz en electricidad

Las investigaciones pioneras de Edmond Becquerel, desarrolladas entre 1839 y 1843, configuraron la base experimental y teórica para la comprensión del fenómeno de conversión luz-electricidad. A continuación se reconstruyen las tres etapas experimentales claves que Becquerel desarrolló progresivamente: desde el aparato de dos fases hasta el actinómetro electroquímico, mostrando cómo perfeccionó la medición de la acción luminosa sobre sustancias fotosensibles.

2.1.1. Primera etapa experimental: Detección electroquímica del efecto fotoeléctrico, el aparato de dos fases

El primer montaje significativo de Becquerel fue el denominado "aparato de dos fases", que consistía en un sistema electroquímico formado por un recipiente dividido en dos compartimentos, separados por un líquido de diferente densidad y color, en contacto con dos electrodos metálicos (ver imagen 1).

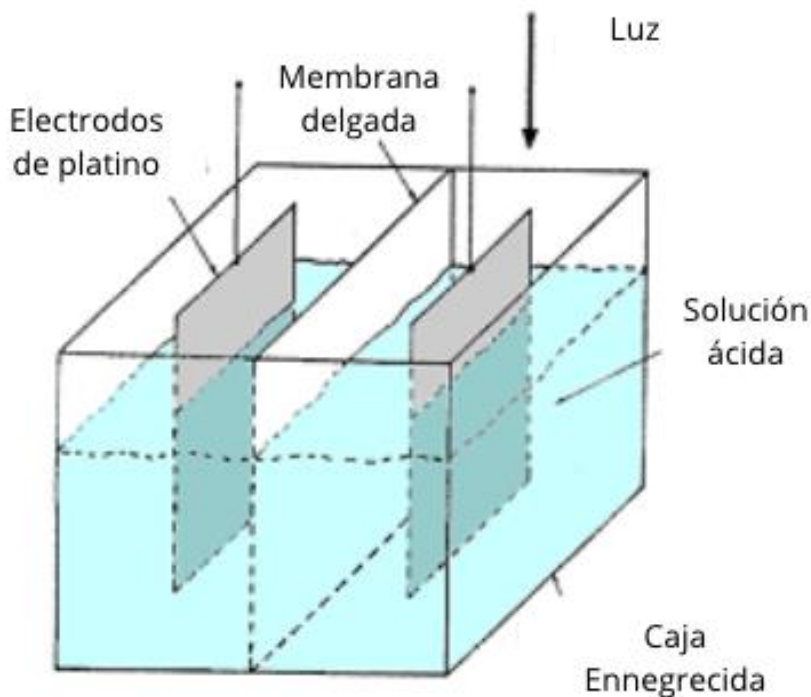


Imagen 1: Representación del aparato de dos fases de Edmond Becquerel 1839: Imagen tomada y traducida de: <https://facultyweb.kennesaw.edu/mlaposat/ihome21/docs/ihome-solar-cells-sunlight-to-electricity.pdf>

En el aparato que Becquerel utilizó, el montaje electroquímico fue cuidadosamente dispuesto para poder traducir en una desviación de aguja de un galvanómetro, los cambios producidos por la luz en una sustancia fotosensible. El sistema se componía de dos láminas de plata extremadamente pura, preparadas de forma idéntica y recubiertas por una fina capa de haluro de plata (cloruro, bromuro o yoduro), que se sumergían paralelas entre sí en una pequeña cubeta de vidrio llena de una disolución conductora formada por agua y ácido sulfúrico monohidratado en proporciones cuidadosamente controladas. Cada lámina se conectaba, mediante montantes metálicos y conductores aislados, a un galvanómetro de multiplicador largo (entre 20 000 y 25 000 espiras), de tal manera que cualquier diferencia de potencial generada por la acción de la luz sobre una de las superficies sensibles se registraba como una desviación apreciable de la aguja. (Becquerel, 1839)

Para garantizar que sólo una de las láminas recibiera radiación, la cubeta se alojaba en una especie de caja protectora negra o envuelta por una camisa metálica, con una única

abertura frontal provista de un diafragma regulable que permitía seleccionar el tamaño y la zona iluminada de la superficie fotosensible. El montaje se completaba manteniendo el conjunto en una cámara oscura, esperando durante horas a que desapareciera la polarización inicial de las láminas, y luego exponiendo bruscamente la lámina anterior a diferentes fuentes de luz (sol directo, luz difusa, vela, espectro dispersado por prisma) mientras se observaban los cambios de corriente en el galvanómetro. De este modo, la medición consistía en comparar las desviaciones de la aguja producidas por distintas intensidades y regiones del espectro, usando siempre el mismo montaje básico de dos láminas, un único electrolito y un circuito cerrado a través del instrumento de medida. (Becquerel, 1868)

Becquerel iluminaba el recipiente con **luz solar natural**, enfocándose en el **espectro azul y ultravioleta** para maximizar el efecto fotoeléctrico en sales como haluros¹ de plata. Usaba **prismas o filtros ópticos** para descomponer la luz solar en colores específicos, midiendo la corriente generada por cada longitud de onda, obteniendo mayor electricidad en frecuencias altas (azul/UV); en interiores, empleaba **lámparas de aceite o velas** como fuentes controladas.

Esta disposición permitía estudiar la generación de corriente eléctrica bajo la incidencia luminosa, considerando como variables principales la composición y estado de oxidación de las placas, la longitud de onda de la luz incidente, y la estabilidad del circuito eléctrico conformado por el sistema de electrodos. Becquerel manipulaba la luz empleando prismas para descomponerla en espectros y filtros para aislar longitudes de onda específicas.

Los resultados obtenidos con este instrumento indicaron que la exposición a la luz inducía una corriente eléctrica detectable, siendo la intensidad dependiente del tipo de placa y la región espectral aprovechada.

Resultados obtenidos por el experimento de dos fases:

Rayos del espectro	Intensidad de corriente por el primer pulso
--------------------	---------------------------------------------

¹ Los haluros constituyen una familia de compuestos químicos en los que un elemento, típicamente un metal, se combina con halógenos —flúor, cloro, bromo, yodo o astato—, formando sales estables que desempeñan un papel crucial en los procesos fotoquímicos y fotoeléctricos al interactuar con la radiación luminosa. (Peltzer, R. y Blanc, J., 2021) En el contexto de los experimentos de Becquerel y la propuesta experimental de esta investigación, los haluros de plata (cloruro, bromuro e yoduro) se destacan por su capacidad para sufrir descomposición bajo la acción de la luz, liberando un halógeno gaseoso mientras el metal se reduce, lo que genera tanto efectos químicos observables como corrientes eléctricas medibles en los montajes propuestos.

Rojo	1°
Naranja	No registra
Amarillo	1°
Verde	No registra
Azul	2°
Índigo	No registra
Violeta	3°

Tabla 2. Resultados del experimento del aparato de dos fases de Edmond Becquerel. Datos obtenidos de: "La Lumière. Ses causes et ses effects". Tome II. Edmond Becquerel.

Específicamente, Becquerel observó que las longitudes de onda más cortas **producían desviaciones más intensas en el galvanómetro**, correspondiendo a los rayos "les plus refractibles"² del espectro dispersado por un prisma de Flint³ —regiones situadas entre las líneas índigo y violeta extremo, extendiéndose hasta en el ultravioleta. En términos precisos, el físico francés registraba que, al desplazar la cubeta con las láminas fotosensibles a lo largo del espectro solar, el máximo efecto eléctrico se manifestaba entre índigo y violeta extremo, donde la aguja del galvanómetro alcanzaba desviaciones de 20–30 grados o más, mientras que los rayos menos retractables (rojos y naranjas) requerían una impresión previa de la lámina para generar corrientes comparables (Becquerel, 1868). Esta distinción, expresada en su notación espectral basada en las líneas de Fraunhofer y la refracción prismática, anticipa la dependencia energética de la longitud de onda en la liberación de portadores, sin recurrir aún al concepto moderno de fotones, pero evidenciando ya la mayor acción química de los rayos ultravioleta sobre los haluros de plata. incluyendo la zona ultravioleta, producían una respuesta más marcada, aunque la sensibilidad experimental y los artefactos generados por posibles reacciones químicas o movimientos de líquido, condicionaban la interpretación precisa. En la obra de Edmond Becquerel, específicamente en la descripción del experimento de dos fases, el comportamiento general del sistema se daba bajo diferentes condiciones de iluminación, en la bibliografía consultada, no se incluyen tablas numéricas exhaustivas

² "rayos más retractables" = los rayos violeta e infrarrojos del espectro que se desvían más al pasar por el prisma de Flint (mayor ángulo de refracción). (Becquerel, 1868)

³ prisma de Flint: un tipo de vidrio óptico de alta dispersión y elevado índice de refracción (alrededor de 1,62–1,75), compuesto tradicionalmente por sílice, óxido de plomo (hasta 60%) y álcalis.

de resultados, como valores explícitos de corriente o de diferencia de potencial asociados a cada ensayo. En lugar de ello, el autor recurre principalmente a descripciones cualitativas y semi-cuantitativas, aludiendo a variaciones en las condiciones de luz y a la respuesta del dispositivo mediante referencias al grado de desviación de un galvanómetro, lo que permite reconstruir tendencias experimentales.

Los efectos fotoeléctricos observados por Edmond Becquerel en su aparato de dos fases y en montajes derivados con sales de plata establece que al sumergir dos láminas de platino perfectamente limpias pero a distinta temperatura en un líquido conductor, se genera de inmediato una corriente eléctrica. En agua pura o agua alcalina, la lámina más caliente adquiere carga negativa respecto al líquido, mientras que en agua acidulada el efecto se invierte y la lámina caliente se vuelve positiva (Becquerel, 1868).

Más adelante comprueba que un fenómeno análogo se produce cuando dos láminas de platino u oro se exponen de manera desigual a la radiación solar estando inmersas en soluciones ácidas, neutras o alcalinas, lo que lo lleva a interrogarse por el papel específico de la radiación calorífica en la producción de estos efectos. Para estudiar con mayor cuidado la acción de la luz solar, las membranas utilizadas atenuaban la señal eléctrica con el orden de esos mismos filtros frente a la radiación térmica medida con una celda termoeléctrica: por ejemplo, un vidrio amarillo muy diatérmico, que deja pasar bien el calor, bloquea casi por completo el efecto sobre las láminas de platino. De ello infiere que el fenómeno no está gobernado por rayos caloríficos, sino por rayos más refrangibles asociados a la parte azul-violeta del espectro (Becquerel, 1868).

Becquerel refuerza esta interpretación mediante un experimento espectral: coloca una lámina de platino enrojecida frente a una ventanilla en una caja ennegrecida y proyecta sobre ella, de manera sucesiva, las distintas regiones del espectro solar descompuesto por un prisma. Observa que solo se obtiene una corriente eléctrica apreciable cuando la lámina es iluminada por los rayos azules o violetas; el resto del espectro (rojo, naranja, amarillo, parte del verde) produce efectos nulos o apenas detectables como se aprecia en la tabla anterior (ver tabla 1). Se señala que cuando las láminas se han limpiado en profundidad (baño en ácido nítrico concentrado y recocado al rojo), la acción de estos rayos disminuye notablemente o desaparece, lo que le sugiere que una parte importante del fenómeno puede deberse a la acción de los “rayos químicos” sobre diminutos corpúsculos adheridos a la superficie metálica. Para comprobarlo, cubre las láminas con

capas muy delgadas de carbones u óxidos metálicos “inalterables a la luz” y constata que, lejos de aumentar, el efecto disminuye, lo que refuerza la idea de que no se trata de un simple calentamiento, sino de una acción fotoquímica específica. (Becquerel, 1868)

El uso de láminas de metales oxidables, con dos láminas de latón bien limpias, sumergidas en agua ligeramente acidulada con unas gotas de ácido nítrico, obtiene bajo luz solar una corriente de 4 a 5 grados de desviación en el galvanómetro. Después hace pasar una corriente eléctrica entre ambas láminas para oxidar selectivamente una de ellas: la lámina positiva se oxida y la negativa permanece brillante.

El análisis con láminas de plata introduce un nivel adicional de complejidad, inicialmente, con láminas de plata perfectamente limpias y agua acidulada con ácido sulfúrico, consigue corrientes débiles (1 a 2 grados de desviación), donde la lámina expuesta a la luz se hace negativa respecto al líquido. Sin embargo, al considerar que esta acción es demasiado débil, decide recubrir las láminas con vapores de halógenos (yodo, bromo y cloro), formando capas delgadísimas de haluros de plata de distinta naturaleza. Con una capa espesa de yodo, obtiene una corriente intensa dirigida de tal forma que la lámina iluminada adquiere carga negativa, coherente con la acción química del yodo sobre la plata; cuando la capa de yodo es muy delgada, el sentido de la corriente se invierte, lo que sugiere una reacción química superficial diferente. En una de las experiencias, el primer pulso de luz difusa produce una desviación de 45 grados en el galvanómetro. Al sustituir el yodo por bromo, las corrientes siguen siendo relativamente intensas y mantienen el signo: la lámina expuesta se hace negativa. No obstante, estos efectos son fugaces: unos pocos instantes de exposición a la radiación ambiental bastan para alterar la reacción entre bromo o yodo y la plata, agotando rápidamente la capacidad de producir corriente. Con cloro, por el contrario, la corriente es tan débil que no difiere significativamente de la obtenida con láminas de platino desnudas (Becquerel, 1868).

Becquerel estudia ya de forma directa los haluros de plata (cloruro, bromuro y yoduro) depositados sobre láminas de platino y sumergidos en agua ligeramente acidulada. El cloruro de plata recién preparado, extendido en capa fina sobre la lámina y calentado suavemente en la oscuridad para asegurar su adherencia, se ennegrece al ser expuesto a la luz (se transforma en subcloruro) y genera una desviación apreciable del galvanómetro en el sentido que indica que la lámina se hace positiva y el líquido negativo. La interpretación que propone es que, al descomponerse, el cloruro capta la electricidad positiva y la transmite a la lámina metálica en contacto, mientras el líquido asume la carga

negativa. El bromuro de plata, que se descompone más rápidamente que el cloruro bajo la luz, produce corrientes aún más intensas, aunque menos duraderas: en un experimento con dos láminas de 4 cm², una recubierta con cloruro y otra con bromuro, obtiene en luz difusa 15 grados de desviación con el cloruro y 26 grados con el bromuro; cuando un rayo solar incide de forma directa sobre el bromuro, la aguja llega a 55 grados, y en otro caso a 75 grados en el primer pulso de luz difusa. La diferencia clave es que el cloruro mantiene una corriente bastante constante incluso después de dos horas de exposición continua al sol, mientras que el bromuro pierde casi toda su capacidad de generar corriente tras diez minutos de luz difusa (ver tabla 2).

Rayos del espectro	Intensidad de corriente
Rojo Naranja Amarillo	0°
Verde	No registra
Azul	0,75°
Índigo	1°
Violeta	3°
Rayos más allá del violeta	3°

Tabla 3: Intensidad de corriente medida por Becquerel en el aparato de dos fases según región espectral (desviación del galvanómetro en grados) (Becquerel, 1868).

El yoduro de plata ofrece un comportamiento intermedio: aunque no cambia de color de manera tan marcada como el cloruro o el bromuro, bajo las mismas condiciones produce una corriente casi tan fuerte como la del cloruro, pero menos persistente en el tiempo. Esta corriente se interpreta como indicio de que el yoduro se transforma en sub-yoduro por acción de la luz. Becquerel sugiere que este fenómeno es relevante para comprender los procesos fotoquímicos en las placas fotográficas de Daguerrotipo, y anuncia que retomará esa conexión más adelante (Becquerel, 1868).

Sobre esta primera aproximación de los experimentos de Becquerel, sobre el aparato de dos fases se rescata lo siguiente: en primer lugar, que los rayos que acompañan a las partes más refrangibles de la luz solar son capaces de producir, sobre láminas metálicas sumergidas en un líquido, efectos eléctricos que no pueden atribuirse al calor; en segundo lugar, que la descomposición fotoquímica de los haluros de plata (cloruro, bromuro y yoduro) bajo la acción de la luz genera corrientes eléctricas aprovechables para medir la

cantidad relativa de “rayos químicos” que atraviesan diferentes filtros y para trazar su distribución en el espectro. Estos resultados constituyen la base experimental de una comprensión temprana del efecto fotovoltaico y de la estrecha relación entre fotoquímica, electricidad y las tecnologías fotosensibles que más tarde darían origen a la fotografía y a las células solares.

2.1.2. Segunda etapa experimental: Dispositivo basado en láminas metálicas recubiertas con cloruro, bromuro y yoduro de plata.

El dispositivo experimental basado en láminas metálicas recubiertas con haluros de plata constituye la segunda gran estrategia de Edmond Becquerel para estudiar la relación entre luz y electricidad, a partir de una lógica claramente fotoquímica. El montaje consiste en recubrir una lámina metálica inerte (principalmente de platino, aunque también se emplea oro) con una fina capa de cloruro, bromuro o yoduro de plata recién preparados, que luego se adhiere con un calentamiento suave en la oscuridad para evitar su descomposición prematura. Esta lámina se sumerge en un recipiente con agua ligeramente acidulada (por ejemplo con ácido nítrico o sulfúrico), de modo que el conjunto “metal + haluro de plata + solución conductora” queda incorporado en un circuito conectado a un galvanómetro sensible, capaz de registrar pequeñas desviaciones de la aguja cuando aparece una corriente inducida por la luz. La superficie recubierta se expone entonces a radiación solar directa o difusa, y en algunos casos a la luz que atraviesa pantallas de vidrio de diferentes colores, lo que permite comparar el efecto de distintas regiones del espectro sobre el sistema fotosensible. (Becquerel, 1868)

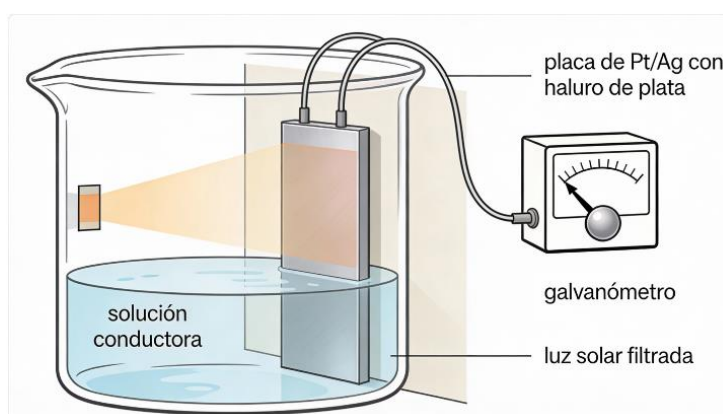


Imagen 2: Representación del montaje del dispositivo basado en láminas metálicas recubiertas con cloruro, bromuro y yoduro de plata recreado con IA.

Los resultados que Becquerel reporta son muy precisos y muestran comportamientos diferenciados según el haluro utilizado. En el caso del cloruro de plata, al ser expuesto a la luz la capa se ennegrece (paso a subcloruro) y el galvanómetro registra una desviación en el sentido que indica que la lámina recubierta se hace positiva respecto al líquido, mientras este adquiere carga negativa. El cloruro produce corrientes de intensidad moderada pero notablemente constantes: incluso tras dos horas de exposición continua a la luz solar, se sigue observando una corriente apreciable, lo que convierte a este sistema en un auténtico “actinómetro electroquímico” capaz de integrar la acción de los “rayos químicos” a lo largo del tiempo. El bromuro de plata, en cambio, se descompone más rápidamente que el cloruro y genera corrientes más intensas pero menos duraderas: con dos láminas de 4 cm² recubiertas, Becquerel registra en luz difusa desviaciones de 15 grados para el cloruro y de 26 grados para el bromuro, alcanzando en otro experimento 55 y hasta 75 grados de desviación en el primer pulso cuando un rayo solar incide directamente sobre el bromuro. No obstante, después de unos diez minutos de exposición a luz difusa, el bromuro pierde casi por completo su capacidad de producir corriente, evidenciando un agotamiento rápido del sistema fotosensible. El yoduro de plata, por su parte, apenas cambia de color a la vista, pero, bajo las mismas condiciones, produce corrientes casi tan fuertes como las del cloruro, aunque menos estables en el tiempo, lo que lleva a Becquerel a inferir que también aquí se produce una transformación a subyoduro⁴ bajo la acción luminosa.

Becquerel utiliza este dispositivo para estudiar no solo la intensidad de las corrientes, sino la distribución espectral de los rayos activos y el efecto de diferentes pantallas, lo que aporta elementos claves para la comprensión temprana del efecto fotovoltaico. Colocando láminas recubiertas detrás de vidrios coloreados, cuantifica la “cantidad relativa de rayos químicos” que atraviesan cada pantalla usando como referencia la corriente producida por el cloruro de plata sin filtrado. Cuando analiza la respuesta a lo largo del espectro solar descompuesto, encuentra que las corrientes significativas se concentran en la región violeta y más allá del violeta, mientras que en el rojo, naranja y amarillo no se registran desviaciones apreciables del galvanómetro. Los “rayos químicos” asociados a las partes más refrangibles del espectro, que actúan sobre los haluros de plata provocando su

⁴ El subyoduro de plata violeta es básicamente una versión del yoduro de plata (AgI) que tiene menos yodo, quedándose a medio camino entre el yoduro completo y la plata pura. Por eso en la época lo llamaban "subyoduro", porque le faltaba yodo para ser el yoduro normal. Su fórmula exacta no está clara, puede ser algo como Ag₂I o una mezcla de plata con yoduro.

descomposición y, con ello, la separación de cargas en la interfase sólido-líquido. (Becquerel, 1868)

Desde una perspectiva histórica y conceptual, el dispositivo de Becquerel basado en láminas metálicas recubiertas con cloruro, bromuro y yoduro de plata puede interpretarse como un antecedente directo de las modernas celdas fotoelectroquímicas y, por extensión, de la tecnología fotovoltaica. Al disponer una superficie fotosensible (haluro de plata) en contacto simultáneo con un metal conductor y con una solución electrolítica, el montaje realiza de manera explícita la conversión de energía luminosa en energía eléctrica, observable mediante la desviación sistemática de un galvanómetro. Los resultados obtenidos permiten distinguir con claridad dos aspectos teóricos de gran relevancia para esta investigación: por un lado, la naturaleza espectral del fenómeno —es decir, el papel privilegiado de los rayos violetas y ultravioleta en la generación de corriente—; por otro, la centralidad de los procesos fotoquímicos en la descomposición de compuestos sensibles como los haluros de plata, que se traduce en una separación efectiva de cargas en la interfaz sólido-líquido.

2.1.3. Tercera etapa experimental: El actinómetro electroquímico, un dispositivo avanzado

Becquerel logró consolidar su investigación con la invención del actinómetro electroquímico, una versión refinada y tecnológicamente más avanzada que integraba electrodos de plata recubiertos con haluros y un sistema hermético que permitía exponer controladamente las placas a la radiación solar o luz filtrada por prismas y lentes hacia un espectro de alta nitidez.



Imagen 3: Actinómetro electroquímico desarrollado por Edmond Becquerel. (Becquerel, 1868)

El diseño incorporaba un cuerpo en madera ajustado con un sistema de tenones y mortajas⁵, con compartimentos opacos y controles de apertura rápida para exponer únicamente una placa al haz de luz, mientras la otra permanecía oscura, optimizando así la fiabilidad de las mediciones. Este aparato eliminó artefactos por movimientos de líquido u oscilaciones externas, consiguiendo mediciones robustas y reproducibles.

Región espectral	Yoduro Ag	Sub-Cloruro Ag
Rojo extremo	Insensible (0)	~5 (apenas sensible)
Rojo-naranja	3,2	20
Naranja	9,4	32
Amarillo	64 (máx. ~DE)	68
Verde	48	75 (máx.)
Azul (inicio)	17 (mínimo)	25
Índigo	3,1	65
Violeta extremo	0,6	72
Ultravioleta	5	Insensible

Tabla 4: *Desviaciones espectrales registradas por Becquerel en el actinómetro electroquímico. Sustancias: yoduro de plata vs. sub-cloruro de plata violeta.*

El montaje experimental estaba complementado con dispositivos ópticos para proyectar un espectro solar continuo de aproximadamente 80 cm de longitud, con una apertura regulable para seleccionar franjas espectrales medidas, facilitando la cuantificación precisa de la respuesta fotoeléctrica en función del color.

Los resultados obtenidos con este actinómetro constituyeron un avance crucial: Becquerel logró identificar más de 500 franjas del espectro solar visible, evidenciando la correlación directa entre la intensidad luminosa en cada región y el valor medido de corriente eléctrica. Con este equipo, fue posible demostrar empíricamente el papel preponderante de la radiación ultravioleta en la generación de corriente, confirmando conceptos que luego serían fundamentales en la teoría electromagnética y la tecnología fotovoltaica

⁵ Los tenones y mortajas corresponden a un sistema tradicional de ensamblaje en carpintería, en el que una pieza sobresaliente (tenón) encaja de forma precisa en una cavidad complementaria (mortaja), permitiendo unir elementos de madera sin necesidad de clavos ni tornillos y asegurando una estructura sólida, alineada y resistente a deformaciones.

moderna. Además, el actinómetro permitió validar relaciones cuantitativas entre el efecto fotoquímico y eléctrico, estableciendo la proporcionalidad entre la cantidad de sustancia que reacciona y la intensidad de corriente generada, hipótesis esencial para la tecnología solar actual.

El aparato integra dos celdas electroquímicas conectadas en serie (M y M'), donde la luz incide diferencialmente sobre las soluciones fotosensibles. La celda expuesta (M) genera corriente proporcional a la intensidad luminosa, mientras la celda control (M') permanece en oscuridad. La diferencia de potencial medida por el galvanómetro (G) cuantifica directamente la acción fotoeléctrica, permitiendo mediciones precisas del espectro luminoso (Becquerel, 1868).

Los electrodos utilizados en los experimentos de Becquerel no eran simples placas metálicas. Su superficie era cuidadosamente preparada mediante la deposición controlada de haluros de plata, materiales especialmente sensibles a la acción luminosa. La precisión en la fabricación de estos electrodos podía afectar significativamente la respuesta fotoeléctrica, haciendo necesario un conocimiento profundo de los procesos químicos superficiales y un manejo hábil en su preparación.

El espectro solar proyectado era obtenido mediante un sistema óptico combinado de prismas y lentes que dispersaban la luz, proporcionando una barra de espectro continua, lo que brindaba la posibilidad de seleccionar longitudes de onda específicas y medir su efecto con alta resolución. Esta técnica fue un antecedente de los espectrofotómetros modernos y marca un hito en la aplicación de herramientas ópticas combinadas con la física experimental.

La aproximación experimental de Becquerel no estuvo exenta de controversias teóricas en su tiempo, particularmente sobre la naturaleza de la luz, que oscilaba entre teorías corpusculares y ondulatorias. El fenómeno estudiado, que implica la transformación directa de fenómenos luminosos en fenómenos eléctricos gracias a cambios físicos y químicos en las sustancias utilizadas, anuncia un problema epistemológico profundo: ¿Cómo comprender y explicar la interacción entre materia y radiación desde un enfoque riguroso y experimental?

Este enfoque evidencia que los cambios químicos y físicos inducidos por la luz no son meramente observables, sino cuantificables y reproducibles, constituyendo un fenómeno emergente que desafía explicaciones intuitivas basadas en la experiencia diaria. En el

aula, la exposición a estos experimentos supone un punto de inflexión cognitivo para los estudiantes, al confrontar sus ideas previas con un fenómeno interdisciplinar que articula conceptos de física (radiación electromagnética, cargas eléctricas), química (reacciones fotoquímicas) y tecnología (instrumentos de medición).

Dicha confrontación entre observación fenomenológica y explicación teórica abre la puerta a la reflexión epistemológica sobre la construcción del conocimiento científico: cómo se formulan hipótesis, se diseñan experimentos para aislar variables, se minimizan errores sistemáticos y se valida el conocimiento mediante procedimientos repetibles y verificables (Hacking, 1983). Lo anterior permite a los estudiantes reconocer que el conocimiento científico es provisional, construido a partir de la interacción dinámica entre teoría, experimentación y crítica, lo cual es esencial para fortalecer no solo competencias técnicas sino también un pensamiento crítico y analítico.

Este cambio epistemológico es clave para superar concepciones ingenuas o erróneas sobre la luz y la electricidad, y para desplegar una comprensión integrada que es vital para interpretar fenómenos modernos como la conversión fotovoltaica y sus aplicaciones en energías renovables, conciencia ambiental y desarrollo tecnológico sostenible.

El aparato de dos fases introduce la complejidad del control de variables y la interpretación cuidadosa de resultados; el sistema diferencial realza la importancia del rigor metodológico y la eliminación de artefactos; y el actinómetro ejemplifica integración multidisciplinaria y uso avanzado de tecnología en la investigación científica.

2.2. Fundamentación física del efecto fotoeléctrico en la transformación de luz en electricidad: Origen, captación y transformación

El análisis detallado de la energía solar resulta esencial para comprender su valor como fuente renovable y su contribución a la sostenibilidad ambiental y energética. De acuerdo con el Capítulo II del Libro de las Energías Renovables de la colección Era Solar (Era Solar, 2025), esta energía se origina en el Sol, que actúa como un enorme reactor de fusión nuclear formado principalmente por hidrógeno. En su interior ocurren procesos de fusión que, bajo condiciones extremas de presión y temperatura que alcanzan millones de grados, liberan de manera continua una gran cantidad de energía. (Era Solar, 2025)

Esta fuente energética presenta una magnitud colosal: el Sol disipa una potencia aproximada de 3.7×10^{14} teravatios (TW), y la Tierra intercepta una fracción considerable de esta energía, alrededor de 173,000 TW. Esta cifra supera

aproximadamente 10,000 veces la energía total que consume la humanidad, evidenciando la potencialidad solar como fuente energética sostenida y abundante. Se define la constante solar como la cantidad de energía solar recibida por unidad de superficie por unidad de tiempo en una superficie perpendicular a la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre, con un valor en torno a 1353 W/m^2 . Esta medida constituye un referente crucial para dimensionar sistemas de captación y transformación energética y es fundamental para diseñar equipos fotovoltaicos y térmicos eficientes. (Era Solar, 2025)

Esta información permite grandes avances científicos y si se llevará al aula se podrían configurar actividades que inviten a los estudiantes a confrontar los fenómenos en relación con su contexto y necesidades, como por ejemplo la irradiancia extraterrestre con las atenuaciones atmosféricas locales en Bogotá, fomentando así habilidades de observación cuantitativa y modelado predictivo que articulen la fenomenología luminosa con aplicaciones CTS alineadas al ODS 7.

El espectro solar, entendido como la distribución de las longitudes de onda de la radiación electromagnética emitida por el Sol, comprende tres bandas principales según la longitud de onda:

- Visible ($0.35 < \lambda < 0.75 \mu\text{m}$) transporta aproximadamente el 47% de la energía solar, con un máximo energético cercano a los $0.47 \mu\text{m}$, responsable de la luminiscencia percibida y fundamental para procesos fotosintéticos y tecnológicos.
- Infrarrojo ($\lambda > 0.75 \mu\text{m}$) transporta alrededor del 46% de la energía solar, esta radiación es instrumental en la conversión térmica y en fenómenos de transferencia de calor.
- Ultravioleta ($\lambda < 0.35 \mu\text{m}$) representa solo el 7%, pero tiene efectos energéticos y biológicos significativos.

Al penetrar la atmósfera terrestre, la radiación experimenta absorción, reflexión y dispersión. Por ejemplo, el ozono filtra gran parte de la radiación ultravioleta, mientras que el vapor de agua y el dióxido de carbono absorben parte de la radiación infrarroja, lo cual modula la energía recibida en superficie, reduciéndose la constante solar a aproximadamente 900 W/m^2 a nivel del mar (Era Solar, 2025).

La radiación solar que incide sobre la superficie terrestre se subdivide en dos componentes principales:

- Radiación directa: que atraviesa la atmósfera prácticamente sin alteraciones y puede ser concentrada mediante dispositivos ópticos para aplicaciones específicas.
- Radiación difusa o dispersa: resultante de la dispersión atmosférica y el albedo terrestre, que no es susceptible a concentración óptica directa.

Estos conceptos son imprescindibles para la valoración y diseño de tecnologías solares, ya que la radiación utilizables varía en función de la ubicación geográfica, condiciones meteorológicas y hora del día, lo que demanda estrategias y adaptaciones para su aprovechamiento máximo.

2.2.1. Sistemas de captación y aprovechamiento de la energía solar

Dadas la dispersión e intermitencia propias de la energía solar, su aprovechamiento requiere grandes superficies o concentradores y sistemas de almacenamiento para garantizar su disponibilidad y eficiencia.

Los sistemas de captación se clasifican en dos grandes grupos:

- **Sistemas Pasivos:** que no utilizan elementos mecánicos ni dispositivos específicos, sino que aprovechan directamente elementos arquitectónicos y de construcción para captar y distribuir energía, tales como acristalamientos que facilitan el efecto invernadero o muros acumuladores. Estos sistemas, aunque simples, contribuyen al confort térmico y reducción del consumo energético de forma económica. (Era Solar, 2025).
- **Sistemas Activos:** Emplean colectores solares específicos para captar la radiación y transferirla a un fluido caloportador para usos térmicos o a dispositivos fotovoltaicos para convertirla en electricidad. (Era Solar, 2025)

Esta es la tecnología más extendida a corto plazo por su bajo costo relativo, utilizada para generar calor de baja a alta temperatura en aplicaciones residenciales, industriales y comerciales. Los colectores solares térmicos, de diferentes diseños (planos o de vacío), constan de una placa absorbente (orientada típicamente hacia el sur y con inclinación latitudinal) cubierta por un vidrio transparente para generar un efecto invernadero que maximiza la absorción térmica y minimiza pérdidas. El circuito térmico puede ser pasivo

(circulación natural por diferencia de temperaturas, termosifón) o activo (bombeo y circulación forzada), y cuenta con sistemas de almacenamiento como tanques aislados que permiten la continuidad en la provisión de calor durante períodos sin radiación solar. (Era Solar, 2025)

Estos saberes deben ser dialogados directamente con la educación ambiental al posicionarse como alternativa práctica y accesible para mitigar impactos de combustibles fósiles en contextos locales como Bogotá. En la propuesta experimental de esta investigación, esta descripción complementa la exploración fotoeléctrica con sulfato de hierro y paneles solares, invitando a estudiantes de grado once a contrastar el fenómeno de transformación de luz en electricidad con los desafíos ambientales de su entorno, fomentando habilidades de análisis crítico ambiental donde también se discute la contaminación producida en ciclos de vida de los paneles.

La eficiencia térmica de estos sistemas se encuentra entre un 40% y más del 60% en colectores de vacío, que aunque son más costosos, alcanzan temperaturas de hasta 115°C para uso doméstico e industrial. Cuando se requieren temperaturas superiores a 100°C, se emplean sistemas de concentración mediante espejos o lentes, como los colectores cilindro-parabólicos o centrales de torre con helióstatos que direccionan la radiación hacia un receptor. Estos sistemas pueden alcanzar temperaturas superiores a 500°C, adecuadas para generación de vapor y producción eléctrica a gran escala (Era Solar, 2025).

La conversión directa de luz en electricidad se basa en el efecto fotovoltaico descubierto en el siglo XIX y desarrollado tecnológicamente desde mediados del siglo XX. Las células fotovoltaicas están fabricadas principalmente con silicio dopado (un semiconductor ultrapuro) que mediante una unión p-n separa los pares electrón-hueco generados por la incidencia de fotones, permitiendo el flujo eléctrico.

Aunque cada célula prepare una potencia pequeña (rendimientos típicos alrededor del 14%), el agrupamiento en paneles y sistemas más complejos permite obtener tensiones y corrientes adecuadas para aplicaciones diversas, desde sistemas aislados hasta integración en redes eléctricas a gran escala. En los sistemas aislados, la inclusión de baterías, reguladores e inversores es necesaria para almacenar y adecuar la corriente continua generada a formas utilizables. La evolución tecnológica actual busca aumentar la eficiencia y reducir costos mediante el uso de materiales alternativos (ácidos de galio, células bifaciales o amorfas) y tecnologías de concentración lumínica (Era Solar, 2025).

La comprensión profunda de estos conceptos y procesos es esencial para desarrollar en los estudiantes habilidades para describir y explicar fenómenos físicos, generar explicaciones científicas coherentes y fomentar habilidades experimentales que permitan a los estudiantes construir el campo fenomenológico de la transformación de luz en electricidad. La secuencia experimental propuesta, que parte de la revisión histórica y de la modelación de un aparato que se inspira en los experimentos de Edmond Becquerel.

A pesar del avance tecnológico y conceptual, se revela un vacío en la integración educativa que vincule las bases físicas, históricas y tecnológicas con metodologías experimentales sistemáticas y contextualizadas en la educación media. La ausencia de propuestas pedagógicas que permitan a los estudiantes vivenciar el fenómeno y relacionarlo con su impacto social y ambiental constituye un desafío pendiente, que esta investigación se propone abordar mediante una secuencia experimental integrada, contextualizada y crítica.

2.2.2. Sobre el funcionamiento de los materiales semiconductores

La estructura y naturaleza de los semiconductores se puede entender como un punto de encuentro entre la física del estado sólido y el diseño de dispositivos que, como las celdas solares, convierten la luz en electricidad aprovechando propiedades muy específicas de la materia. En la perspectiva de Peltzer y Blancá (Peltzer, R. y Blancá, J., 2021), el hilo conductor que recorre el estudio de estos materiales es justamente la necesidad de explicar comportamientos macroscópicos, por ejemplo, la aparición de una diferencia de potencial en un panel iluminado, a partir de la organización microscópica de los átomos y de los electrones en el sólido.

Esta mirada resulta especialmente pertinente para una propuesta de aula que busca que los estudiantes no solo “vean funcionar” un panel solar, sino que construyan modelos sobre cómo la estructura interna del material condiciona su respuesta eléctrica frente a la luz.

En términos generales, un semiconductor se caracteriza por tener una conductividad intermedia entre la de un conductor metálico y la de un aislante, lo que se traduce en una sensibilidad marcada a las condiciones externas como la temperatura o la radiación incidente. Esta respuesta intermedia no es un rasgo accidental, sino la consecuencia de

una estructura electrónica particular, que puede describirse en términos de bandas de energía: una banda de valencia ocupada, una banda de conducción casi vacía y una brecha de energía finita entre ambas. Para el trabajo de grado, esta descripción permite articular la observación de efectos eléctricos producidos por la luz en el aula con un esquema conceptual que los estudiantes puedan usar para interpretar por qué ciertos materiales fotosensibles sí responden a la iluminación y otros prácticamente no lo hacen.

Desde la perspectiva microscópica, la estructura de bandas de los semiconductores surge de la interacción cuántica de un gran número de átomos al formar un cristal, lo que da lugar a niveles de energía que se agrupan en bandas permitidas y regiones prohibidas. Peltzer y Blancá (Blancá & Peltzer, 2021) insisten en que resulta difícil comprender el comportamiento de los materiales sin recurrir a estas herramientas básicas, pues son las que permiten explicar, por ejemplo, cómo el paso de electrones a la banda de conducción posibilita que el material transporte corriente bajo la acción de un campo eléctrico.

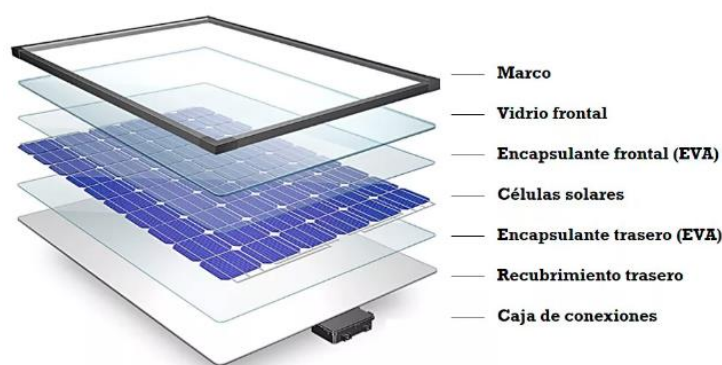


Imagen 4: Estructura de banda de celdas solares. Imagen tomada de la web: <https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2023/11/15/estructura-y-peculiaridades-de-los-paneles-fotovoltaicos-estandares>.

La estructura de bandas de energía constituye el modelo fundamental para comprender el comportamiento eléctrico de sólidos cristalinos y, particularmente, el efecto fotoeléctrico en materiales semiconductores como el silicio utilizado en celdas fotovoltaicas; este modelo teórico, desarrollado en la física del estado sólido durante el siglo XX, explica cómo los electrones en un cristal se organizan en bandas de energía permitidas separadas por bandas prohibidas o *gap* de energía, determinando así las propiedades conductoras de los materiales (Peltzer, R. y Blancá, J., 2021). En esta representación gráfica, los conductores presentan bandas de valencia y conducción superpuestas, los semiconductores muestran una banda de valencia llena separada por un *gap* de 0.6-3.0 eV de la banda de conducción vacía (silicio: 1.12 eV), mientras los aislantes exhiben un

gap superior a 5 eV. La banda de valencia comprende estados electrónicos completamente llenos a 0 K donde los electrones forman enlaces covalentes hasta el nivel de Fermi E_f , la banda de conducción ofrece estados vacíos accesibles por excitación térmica o fotoeléctrica, y la banda prohibida (E_g) define la naturaleza del material. Cuando un fotón de energía $h\nu \geq E_g$ incide sobre el semiconductor, se produce absorción que genera un par electrón-hueco ($h\nu + eBV \rightarrow eBC + hBV + h\nu + eBV \rightarrow eBC + hBV +$), separados por el campo eléctrico en la unión p-n ($10^4 - 10^5$ V/cm), produciendo corriente externa con eficiencia cuántica dependiente de la recolección de portadores. El dopaje modifica esta estructura: en tipo n (fósforo), donantes crean estados ED cerca de la banda de conducción desplazando hacia ella e incrementando electrones libres; en tipo p (boro), acotadores posicionan cerca de la valencia, aumentando huecos. La unión p-n genera campo interno que dirige electrones hacia la banda de conducción y huecos hacia la valencia, explicando respuestas espectrales observadas en experimentos de aula donde luz UV genera mayor corriente en sulfato de hierro (Fatet, 2015) y paneles solares muestran umbrales espectrales ($h\nu > E_g$ $h\nu > E_g$). La imagen 5 ilustra la estructura típica de paneles fotovoltaicos con células solares de silicio dopado encapsuladas entre vidrio frontal y trasero, EVA protector y caja de conexiones (Peltzer, R. y Blancá, J., 2021)

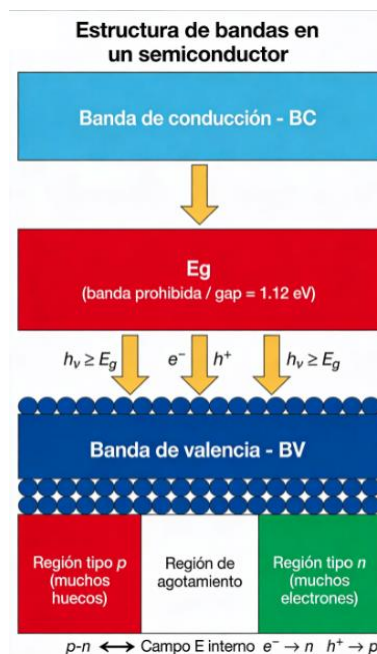


Imagen 5: Estructura de bandas de energía en semiconductor de silicio y mecanismo fotoeléctrico en unión p-n. La luz incidente ($h\nu \geq E_g = 1.12$ eV) excita electrones de la banda de valencia (BV) hacia la banda de conducción (BC), generando pares electrón-hueco.

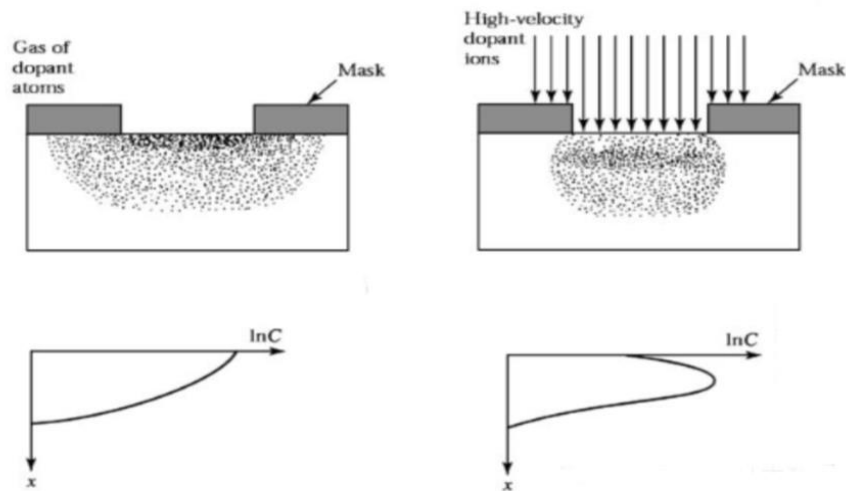


Imagen 6: Estructura de bandas de energía en semiconductor de silicio y mecanismo fotoeléctrico en unión p-n. La luz incidente ($h\nu \geq E_g = 1.12 \text{ eV}$) excita electrones de la banda de valencia (BV) hacia la banda de conducción (BC), generando pares electrón-hueco separados por el campo eléctrico interno de la unión p-n. La región de agotamiento facilita la recolección de cargas para producir corriente fotogenerada en celdas solares.

Imagen obtenida de: <https://image.slidesharecdn.com/module4diffusionandionimplantationpart2-skpradhan-241004100103-fe9e050d/75/Module-4-Diffusion-and-Ion-Implantation-Part-2-S-K-Pradhan-pptx-3-2048.jpg>.

En la figura 6 ilustra el proceso de implantación iónica mediante pulverización asistida por máscara, técnica industrial fundamental para el dopaje selectivo en la fabricación de semiconductores y celdas solares de silicio, directamente relacionada con la transformación luz-electricidad que se estudia en esta investigación, donde el diagrama se divide en dos etapas secuenciales que muestran la evolución desde la deposición superficial hasta la incorporación profunda de dopantes en la red cristalina, proceso esencial para crear las regiones tipo-n que forman la unión p-n del efecto fotovoltaico (Lulli, 2014).

El panel izquierdo representa la fase inicial de deposición donde "Dopant atoms" (átomos dopantes, típicamente fósforo o arsénico) se depositan a baja velocidad sobre un sustrato de silicio cristalino protegido por una máscara fotolitográfica, fabricada en materiales resistentes como SiO_2 o nitruro de silicio que bloquea selectivamente las áreas donde no se desea dopaje, definiendo patrones geométricos precisos para circuitos integrados o celdas solares, con las flechas verticales cortas y dispersas que indican que los átomos dopantes se adhieren superficialmente sin penetrar significativamente la red

cristalina, formando una capa delgada sobre las regiones expuestas y preparando la superficie para la implantación posterior, análoga a la activación química observada en los experimentos de Becquerel con haluros de plata (Fatet, 2015).

El panel derecho muestra la implantación propiamente dicha, donde los "High-velocity dopant ions" (iones dopantes de alta velocidad, acelerados a 10-100 keV) penetran la red cristalina del silicio a través de las ventanas de la máscara, con las flechas largas y agrupadas que evidencian la alta energía cinética que permite a los iones dopantes atravesar varias capas atómicas (profundidades de 0.1-1 μm), depositándose en posiciones cambiantes dentro de la estructura cristalina y sustituyendo átomos de silicio para crear una región tipo-n con exceso de electrones libres, condición indispensable para formar la unión p-n que separa los pares electrón-hueco generados por la luz solar en celdas fotovoltaicas (Peltzer y Blancá, 2021).

Las dos gráficas inferiores representan el perfil de concentración de dopantes ($\ln C$: logaritmo natural de la concentración vs x : profundidad), donde la gráfica izquierda (deposición superficial) refleja la distribución de átomos dopantes en la superficie con alta concentración inicial (C_0) que decae rápidamente hacia el interior del silicio debido a la baja energía de implantación, formando una distribución superficial inestable que requiere activación térmica posterior, mientras la gráfica derecha (implantación profunda) presenta un pico de concentración máximo a profundidad crítica (R_p , rango proyectado) seguido de colas exponenciales gaussianas hacia la superficie y el interior, siguiendo la distribución con concentraciones típicas de 10^{16} - 10^{18} átomos/ cm^3 que optimiza la conductividad eléctrica tipo-n.

Este proceso de dopaje selectivo explica por qué las celdas solares comerciales exhiben respuestas espectrales diferenciadas observadas en los experimentos escolares, ya que los iones fósforo implantados crean una capa tipo-n superficial (n^+) sobre silicio tipo-p, generando el campo eléctrico interno (10^4 - 10^5 V/cm) que separa eficientemente los pares e^-/h^+ fotoexcitados por luz UV-violeta (alta energía, $h\nu > E_g = 1.12$ eV), con la precisión micrométrica de la implantación mediante máscaras que permite optimizar la geometría de colectores y minimizar recombinaciones superficiales, incrementando la eficiencia cuántica del 10-15% en paneles educativos hasta 22-24% en comerciales. (Peltzer, R. y Blancá, J., 2021) .

Un rasgo distintivo de los semiconductores es que su estructura puede ser “ingenierizada” mediante procesos como el dopado, en los que se introducen impurezas cuidadosamente seleccionadas en concentraciones muy pequeñas. Estas impurezas crean niveles de energía adicionales cercanos a las bandas principales y modifican la cantidad y el tipo de portadores de carga disponibles, dando lugar a materiales tipo n (con exceso de electrones) o tipo p (con exceso de huecos).

Esta posibilidad de modificar intencionalmente la naturaleza del material es clave para entender cómo se diseñan las uniones p-n que están en el corazón de las celdas solares, y ofrece, al mismo tiempo, un contenido muy fértil para que los estudiantes piensen el panel solar como resultado de decisiones tecnológicas y no como un objeto “natural” que simplemente produce electricidad de la luz sol.

La naturaleza de los semiconductores no se agota en su composición química (por ejemplo, silicio, germanio o compuestos III–V), sino que también depende fuertemente de su organización estructural: cristalina, policristalina o amorfa. Peltzer y Blancá muestran que variaciones en la estructura del sólido afectan parámetros como la movilidad de los portadores, la presencia de defectos y la recombinación de pares electrón-hueco, todos ellos factores que inciden directamente en la eficiencia de dispositivos como las celdas fotovoltaicas (Blancá & Peltzer, 2021). Esta relación entre estructura y desempeño abre un campo de problematización en el aula: comparar paneles de tecnologías distintas (por ejemplo, cristalinos y de película delgada) permite discutir con los estudiantes cómo cambios en la “naturaleza interna” del material se traducen en diferencias observables en la corriente y el voltaje que se registran experimentalmente.

Aunque los semiconductores se estudian muchas veces como “materiales ideales”, en la práctica real los defectos, las fronteras de grano y otras irregularidades estructurales juegan un papel decisivo en su comportamiento, comprender estas imperfecciones no es un detalle menor, porque de ellas dependen procesos como la recombinación no radiativa⁶ o la aparición de estados trampa, que afectan la circulación de carga (Blancá & Peltzer, 2021). En el marco de este trabajo, recuperar esa complejidad permite tensionar una visión excesivamente simplificada del panel solar en la escuela y, al mismo tiempo, abrir

⁶ Proceso en el que un electrón y un hueco se vuelven a combinar dentro del semiconductor, pero en lugar de emitir un fotón (luz), la energía se disipa en forma de calor mediante vibraciones de la red cristalina.

preguntas genuinas de investigación escolar, por ejemplo sobre la variabilidad en las mediciones de corriente entre celdas aparentemente “iguales”.

La forma en que Peltzer y Blancá articulan la estructura y la naturaleza de los semiconductores con el estudio posterior de dispositivos ofrece una pista metodológica para el diseño de la propuesta de aula de esta investigación. El tránsito que proponen los autores para comprender el funcionamiento de semiconductores va desde las herramientas básicas hacia las aplicaciones avanzadas, puede utilizarse en términos de una secuencia didáctica en la que los estudiantes pasen de describir cualitativamente la idea transformación de luz en electricidad a reducir la brecha de comprensión del fenómeno para obtener energía y usar esas nociones para interpretar sus propios datos experimentales con paneles solares y sustancias fotosensibles. De este modo, estudiar la estructura y naturaleza de los semiconductores no solo sostiene teóricamente el uso de celdas fotovoltaicas en el aula, sino que también inspira una manera de organizar las experiencias de laboratorio para favorecer el desarrollo de habilidades científicas alrededor de la relación entre luz, materia y electricidad.

2.2.3. Vinculación de los materiales semiconductores con la conducción de corriente.

La conducción eléctrica en semiconductores constituye el puente directo hacia la comprensión de cómo dispositivos como las celdas solares logran convertir la energía de la luz en corrientes eléctricas aprovechables en el aula. La conducción como un fenómeno que solo puede explicarse adecuadamente si se articulan las descripciones microscópicas del material (bandas de energía, portadores, defectos) con los comportamientos macroscópicos observables en medidas de corriente y voltaje. Esta misma lógica es la que orienta la presente investigación, en la medida en que propone que los estudiantes, al trabajar con paneles solares y sustancias fotosensibles, no se queden en la constatación empírica de que “pasa corriente con luz”, sino que desarrollen explicaciones informadas sobre cuáles son los cambios eléctricos en una sustancia cuando la radiación incide sobre él.

Un primer elemento clave es la distinción entre los portadores de carga en semiconductores y en metales. Mientras que en los metales la conducción se describe principalmente en términos de electrones casi libres, en los semiconductores es necesario considerar el rol simultáneo de los electrones en la banda de conducción y de los huecos en la banda de valencia (Blancá & Peltzer, 2021), ambos actuando como portadores

efectivos. Este enfoque permite comprender que la corriente eléctrica en una celda solar no surge de “electrones que aparecen mágicamente con la luz”, sino del aumento en la población de portadores móviles (electrones y huecos) generado por la interacción entre la radiación y la estructura de bandas del semiconductor, aspecto que en el aula puede hacerse visible a través de variaciones en las mediciones de corriente bajo diferentes condiciones de iluminación.

En segundo lugar, se destaca que la conducción en semiconductores depende de un delicado equilibrio entre procesos de generación y recombinación de portadores. La generación puede tener distintos orígenes (térmica, óptica, entre otros) y, en el caso particular de las celdas solares, la generación óptica asociada a la absorción de fotones con energía suficiente para superar la brecha de energía es la que adquiere mayor relevancia. La recombinación, por su parte, tiende a restituir el equilibrio, ya sea mediante procesos radiativos, en los que se emite un fotón, o no radiativos, en los que la energía se disipa en forma de calor en la red cristalina (Blancá & Peltzer, 2021). Recuperar esta dinámica de generación-recombinación es esencial, porque permite interpretar las curvas de corriente y voltaje de los paneles como expresiones de ese juego de creación y desaparición de portadores bajo la acción de la luz.

En semiconductores intrínsecos, el aumento de temperatura incrementa la generación térmica de pares electrón-hueco, elevando así la conductividad del material. Sin embargo, en los semiconductores extrínsecos dopados, la presencia de átomos donadores⁷ introduce niveles de energía adicionales que facilitan la ionización de portadores incluso a temperaturas relativamente bajas, de modo que la respuesta eléctrica está dominada por las características del dopado. Desde la propuesta de aula, esta diferencia entre materiales intrínsecos y extrínsecos puede traducirse en preguntas y actividades en las que los estudiantes evidencien la respuesta de paneles solares o dispositivos fotosensibles, identificando cómo ciertas “modificaciones invisibles” en el material se manifiestan en su comportamiento eléctrico observado experimentalmente.

En el tratamiento de la movilidad de los portadores y de los mecanismos de dispersión que la afectan. La movilidad se entiende como la facilidad con la que electrones y huecos se desplazan bajo la acción de un campo eléctrico, y está condicionada por procesos de

⁷ Un átomo donador es una impureza que se introduce en el semiconductor y que aporta un electrón extra, el cual puede liberarse con facilidad y aumentar la cantidad de electrones libres, dando lugar a un material tipo n. (Blancá & Peltzer, 2021)

choque con fonones (vibraciones de la red) y con impurezas del cristal (Blancá & Peltzer, 2021). En términos de enseñanza, esta noción ofrece una herramienta potente para explicar por qué dos celdas solares fabricadas con el mismo material base pueden exhibir diferencias apreciables en su desempeño: variaciones en la pureza, en la calidad cristalina o en la concentración de defectos alteran la movilidad y, por ende, las corrientes que el dispositivo puede entregar bajo las mismas condiciones de iluminación.

El estudio de la conducción con el comportamiento de dispositivos basados en uniones p-n, anticipando el paso desde el material al dispositivo. En las uniones p-n en equilibrio, la región de agotamiento y el campo interno asociado controlan el flujo de portadores; bajo iluminación, la generación óptica de pares electrón-hueco en la vecindad de la unión y su separación por el campo interno dan lugar a una corriente dirigida que es la base del efecto fotovoltaico en celdas solares. Para esta tesis, esa articulación resulta central, porque permite tender un puente explícito entre el marco teórico de la conducción en semiconductores y las actividades experimentales con paneles solares en el aula: las variaciones de corriente y tensión que los estudiantes miden se interpretan como manifestaciones concretas de los procesos de generación, recombinación, movilidad y separación de portadores que se describe en términos físicos. De este modo, la conducción en semiconductores deja de ser un contenido abstracto para convertirse en un recurso conceptual que sostiene el desarrollo de habilidades científicas en torno al estudio de los efectos eléctricos de la luz.

Para cerrar este capítulo, el actinómetro electroquímico de Becquerel con haluros de plata (Becquerel, 1868) establece el principio fundacional que orienta la secuencia didáctica del Capítulo 3, donde estudiantes de grado undécimo, mediante el uso de montajes escolares accesibles con sulfato de hierro y paneles solares, registran cambios eléctricos modulados por el tipo de luz incidente (UV, Blancá, roja, entre otras), trasladando esa indagación histórica al aula para activar habilidades científicas como la observación sistemática de fenómenos, el control de variables, la formulación de hipótesis y la elaboración de explicaciones ancladas en evidencias empíricas.

2.2.4. Evolución tecnológica: Celdas solares orgánicas

En la búsqueda de la fundamentación física del efecto fotoeléctrico analizada en las secciones precedentes donde se describieron las uniones p-n y la dinámica de portadores en semiconductores, la revisión del artículo: “Celdas solares orgánicas, una perspectiva

hacia el futuro”, de Chamorro Coral y Urrego Riveros (Chamorro W & Urrego S, 2012) orienta la reflexión hacia las celdas solares orgánicas (CSO) como evolución tecnológica que trasciende los materiales tradicionales, proyectando ventajas en costos y sostenibilidad ambiental directamente aplicables al contexto áulico de esta investigación. Así, estos autores posicionan las CSO de tercera generación basadas en polímeros semiconductores conjugados descubiertos por Shirakawa, Heeger y MacDiarmid (premio Nobel del 2000), como alternativa viable frente a las limitantes del silicio: altos costos de manufactura, toxicidad de componentes y escasez de materias primas, al emplear procesos en solución (spin coating, roll-to-roll)⁸ que facilitan producción a mediana escala con menor impacto ecológico.

La articulación entre estructura molecular y desempeño fotovoltaico en las CSO, tal como la dialogan Chamorro Coral y Urrego Riveros, ilustra el tránsito evolutivo desde configuraciones monolíticas con eficiencias iniciales de 0,1% limitadas por excitones no disociados hacia heterojunturas bicapa (3%) y, especialmente, heterojunturas en volumen (ver imagen 7) o BHJ, donde la capa activa (~100 nm) integra redes interpenetrantes de donante P3HT: poli(3-hexil tiofeno)) y aceptor (ej. PCBM: derivado fullerene), maximizando interfaces para disociación excitónica y minimizando recombinaciones radiativas, alcanzando así 8,3% de eficiencia con potencial teórico comparable a silicio. (Chamorro W & Urrego S, 2012)

7. Son métodos simples y económicos para hacer capas finas de CSO. Spin coating: Técnica de "lanzamiento giratorio" giras un disco con líquido (polímero disuelto) a alta velocidad para formar una película delgada y uniforme, como untar crema en una pizza giratoria.

Roll-to-roll: "Impresión en continuo" fabrica paneles solares enrollando material como imprenta de periódico gigante, barato para producción masiva. (Chamorro W & Urrego S, 2012)

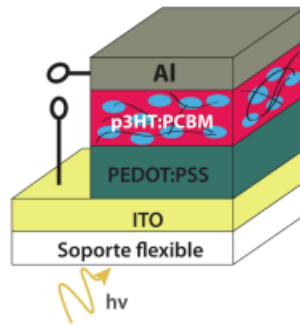


Imagen 7: Sección transversal de una celda solar con estructura heterojuntura. (Chamorro W & Urrego S, 2012)

Este diseño BHJ con PEDOT:PSS/ITO como sistema ánodo-huecos y Al como cátodo, resuelve la difusión limitada de excitones, pareja "pegada" de electrón (+) y hueco (-), creada cuando la luz golpea el plástico solar. Se mueve junta, pero para hacer electricidad debe separarse: electrón libre va a un lado, hueco al otro. Si no se separa, no hay corriente; la difusión mediante mezclas homogéneas que incrementan movilidad de cargas ($>0,05 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$), absorción elevada (10^5 cm^{-1}) y bandgap óptimo ($\sim 2 \text{ eV}$), propiedades que Chamorro Coral y Urrego Riveros, vinculan a la conjugación electrónica deslocalizada en polímeros, análoga a bandas en semiconductores, pero con solubilidad en solventes volátiles que habilita escalabilidad industrial. (Chamorro W & Urrego S, 2012)

La relevancia de estos saberes para esta propuesta de investigación radica en cómo las CSO proponen escenarios de producción con paneles solares, las CSO proyectan hacia indagaciones sobre morfología interfacial y optimización de capas activas, lo que permite fomentar la conciencia ambiental, hacia dispositivos eficientes, limpios y accesibles para contextos escolares.

2.3. Consideraciones experimentales sobre el estudio del fenómeno fotoeléctrico con sustancias fotosensibles bajo la proyección de luz.

En el marco del Capítulo 2, la revisión sistemática de los experimentos pioneros realizados por Edmond Becquerel en 1839, quien primeramente evidenció el efecto fotoeléctrico mediante observaciones cualitativas en sustancias fotosensibles expuestas a luz espectral y las posteriores intervenciones cuantitativas de Fatet, orienta la decisión metodológica de replicar dichas experiencias adaptadas al contexto de laboratorio de escuela de educación media, con el propósito explícito de estudiar los cambios eléctricos

producidos en sustancias fotosensibles al proyectarles diferentes tipos de luz, emulando así la intervención representacional defendida por Hacking (Hacking, 1983) que para generar conocimiento genuino hay que construir situaciones prácticas que estimulen las habilidades de los estudiantes para comprender el mundo, en nuestro caso sería sobre sobre fenómenos eléctricos y luminosos.

Estas adaptaciones experimentales no solo anclan la propuesta experimental de aula de la investigación, sino que establece un puente fenomenológico entre la necesidad de la descomposición espectral de la luz blanca y la dependencia del material en la conversión fotoeléctrica, fomentando en estudiantes de grado once habilidades de observación sistemática y registro cuantitativo alineadas con las competencias científicas del MEN y perspectiva que fomente y fortalezca los conocimientos sobre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente . A continuación, se describe detalladamente el proceso de construcción del dispositivo experimental, basado en materiales accesibles como solución de sulfato de hierro, fuentes de luz de colores (rojo, verde, azul, ultravioleta), cables, una fuente de electricidad de 5 voltios, multímetro digital y un recipiente oscuro para aislar la mezcla.

2.3.1. Construcción del montaje experimental para detectar respuestas fotoeléctricas en sustancia fotosensible bajo la proyección luces de diferentes colores.

La construcción del montaje experimental para detectar respuestas fotoeléctricas en sustancias fotosensibles bajo luces de diferentes colores se inició con la adaptación de una caja de cartón, cuyas paredes internas se recubrieron completamente con papel aluminio pulido con el propósito explícito de maximizar el aislamiento lumínico y minimizar reflexiones parásitas, garantizando así que la radiación incidente se limitara estrictamente a las fuentes controladas y emulando las condiciones de exclusión ambiental presentes en los montajes originales de Becquerel. En secciones estratégicas de la caja —específicamente en las tapas superior e inferior— se perforaron orificios calibrados de 1 cm de diámetro para permitir el paso hermético de los cables de la fuente eléctrica de 5 voltios y del multímetro digital, sellados posteriormente con cinta adhesiva para prevenir fugas de luz externa y mantener la integridad del sistema cerrado durante las mediciones, lo que facilitó el control de variables interferentes a la luz.



Imagen 8: Recubrimiento de la cámara oscura con papel aluminio.

Al interior de esta cámara aislada se posicionó un pequeño recipiente de vidrio transparente de 50 ml, previamente lavado y secado para evitar contaminaciones, conteniendo la mezcla fotosensible de sulfato de hierro mezclada con agua, cuya solución exhibió inicialmente un color gris pálido. En este recipiente se insertaron dos electrodos de cobre desnudo, separados 2 cm entre sí y sumergidos 3 cm en la solución, formando un circuito eléctrico en serie que integraba la pila de 5 V como fuente estabilizadora, el multímetro configurado alternadamente en modos de voltaje y corriente.



Imagen 9: Cámara oscura con el recipiente contenedor del sulfato de hierro conectado por medio de cables a la fuente de electricidad y el multímetro.

Finalmente, se implementaron adaptaciones eléctricas específicas para las fuentes lumínicas, consistentes en un panel perforado en la tapa superior de la caja que alojaba

los tipos de luz de alta intensidad (rojo $\lambda \approx 650$ nm, verde $\lambda \approx 530$ nm, azul $\lambda \approx 470$ nm y ultravioleta $\lambda \approx 365$ nm, cada uno con potencia 3 W), permitiendo rotación secuencial de la iluminación de la sustancia sin alterar la exposición al tipo de luz, lo que aseguró datos comparables.

2.3.2. Observaciones y resultados obtenidos de los cambios eléctricos producidos en una sustancia fotosensible por la proyección luces de diferentes colores.

Datos obtenidos en el ejercicio experimental con sulfato de hierro al identificar sus cambios eléctricos al proyectar luces de diferentes colores

Tipo de luz	Corriente (A) sin luz:	Corriente (A) con luz, después de 5 minutos de exposición:
Luz Blanca	2.6	2.9
Luz amarilla	2.7	2.9
Luz Roja	2.6	2.8 – 2.9
Luz Azul	2.8	3.1
Luz UV	2.8	3.2

Tabla 5: Datos obtenidos en la identificación de cambios eléctricos (corriente) en una mezcla de sulfato de hierro proyectada bajo diferentes tipos de luz.

Tipo de luz	Voltaje (V) sin luz:	Voltaje (V) con luz, después de 5 minutos de exposición:
Luz Blanca	8.4	8.6
Luz amarilla	8.4	8.5
Luz Roja	8.5	8.55
Luz Azul	8.5	8.75
Luz UV	8.5	8.85

Tabla 6: Datos obtenidos en la identificación de cambios eléctricos (voltaje) en una mezcla de sulfato de hierro proyectada bajo diferentes tipos de luz.

La observación sistemática de los datos obtenidos en el montaje experimental con sulfato de hierro revela incrementos cuantificables en corriente y voltaje tras 5 minutos de exposición espectral, destacando la luz ultravioleta (ΔI : 0,4 A; ΔV : 0,35 V) y azul (ΔI : 0,3 A; ΔV : 0,25 V) como máximos respondedores frente a los mínimos de luz roja (ΔI : 0,2-0,3 A; ΔV : 0,05 V) y amarilla (ΔI : 0,2 A; ΔV : 0,1 V), patrón que confirma la dependencia energética del fenómeno fotoeléctrico, donde frecuencias altas liberan mayor conductividad en la solución fotosensible. El análisis evidencia estabilidad de la medición en el estado inicial sin luz (I : 2,6-2,8 A; V : 8,4-8,5 V) y transiciones consistentes bajo la luz blanca (ΔI : 0,3 A; ΔV : 0,2 V), proyectando una respuesta espectral graduada que recrea fielmente las observaciones realizadas por Edmond Becquerel, adaptadas al contexto escolar, con variaciones $\leq 0,1$ A atribuibles a controles ambientales, el movimiento de los cables y la sensibilidad instrumental. Esta gradación UV > azul > Blanca > amarilla > rojo no solo valida el montaje como herramienta pedagógica para indagación variable-dependiente, sino que deben estar presentes en las hipótesis estudiantiles sobre el modelo que explica los efectos fotoquímicos, preparando el tránsito hacia mediciones comparativas en paneles solares y consolidando habilidades de interpretación gráfica y argumentación evidenciada en la propuesta subsiguiente.

2.3.3. Consideraciones experimentales sobre el estudio de los cambios eléctricos producidos en una sustancia fotosensible por la proyección luces de diferentes colores.

Dialogar con esta perspectiva consolida el marco físico del Capítulo 2 al extender la transformación luz-electricidad más allá de semiconductores inorgánicos, preparando el terreno para que estudiantes de undécimo grado, en la secuencia experimental subsiguiente, no solo midan voltajes espectrales sino que pueda proyectarse a la problematización y la transición hacia tecnologías orgánicas emergentes, articulando así historia, física y sostenibilidad en la construcción de modelos explicativos.

Para garantizar mediciones confiables en el montaje con sulfato de hierro, resulta fundamental estabilizar completamente el sistema durante las exposiciones lumínicas. Cualquier movimiento del recipiente o desplazamiento de electrodos genera variaciones

momentáneas en la medición de corriente y voltaje que invalidan los datos, por lo que la cámara debe fijarse sólidamente a la base y los cables sujetarse con cinta adhesiva antes de iniciar cada medición.

El aislamiento lumínico total es condición sine qua non: la caja de cartón recubierta con aluminio debe verificarse en oscuridad absoluta previo a cada color, sellando microfisuras en tapas y orificios de cables con cinta para eliminar reflexiones parásitas que afecten la respuesta fotoeléctrica específica de cada tipo de luz.

La solución fotosensible debe prepararse fresca o inmediatamente antes del ensayo, verificando homogeneidad visual (gris pálido uniforme) y ausencia de sedimentos que afecten reproducibilidad; intentar cambiar electrodos cada 3 mediciones para prevenir polarización superficial.

Capítulo 3. Propuesta de Aula: Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares

La presente propuesta didáctica, diseñada para estudiantes de grado undécimo del Colegio Jorge Isaacs, articula una secuencia didáctica inspirada en las indagaciones de Becquerel con la finalidad explícita de activar y fortalecer las habilidades científicas identificadas en el Capítulo 1: observación detallada de fenómenos, identificación y control de variables, registro organizado de datos, formulación de hipótesis y explicaciones, y argumentación basada en evidencias empíricas. La secuencia se organiza en cuatro momentos secuenciales, cada uno con objetivos que movilizan directamente dichas competencias: en la primera actividad se caracterizan las propiedades de la luz mediante descomposición espectral, activando la observación sistemática y descripción fenomenológica de cualidades cromáticas y fuentes luminosas; la segunda identifica efectos eléctricos de distintos tipos de luz (amarilla, roja, azul, violeta, UV) sobre mezcla de sulfato de hierro, promoviendo identificación y diferenciación de variables como tipo y frecuencia lumínica junto con intensidad de corriente; la tercera mide voltaje y corriente generados por el panel solar bajo las mismas condiciones lumínicas, fortaleciendo el registro cuantitativo, organización e interpretación de datos; y la cuarta dialoga sobre implicaciones CTS de energía solar vinculadas al ODS 7, elaborando hipótesis explicativas y argumentación crítica basada en evidencias experimentales obtenidas.

Los montajes experimentales se adaptan a recursos escolares accesibles: uno de los montajes configura una sustancia fotosensible de sulfato hierro, una caja opaca, un multímetro en rango 0-200 μA , una fuente de electricidad, luces de colores (Blanca, roja azul, entre otros) y una hoja de registros para control de variables como el cambio de la corriente; el tercer montaje transfiere esta lógica a una celda fotovoltaica escolar monocristalina de 5W con multímetro y el mismo banco de tipos de luces, fortaleciendo la comparación sistemática de datos e interpretación de patrones espectrales. Los materiales comunes incluyen diarios de campo, tablas de registro y guías de consignas con preguntas problematizadoras como "¿Cómo variará la corriente en el circuito según el tipo de luz utilizada?".

El trabajo experimental en el aula permite a los estudiantes aproximarse al fenómeno de la transformación de luz en electricidad. El uso de paneles solares no sólo introduce

tecnología relevante para la sostenibilidad ambiental sino que también favorece el desarrollo de habilidades científicas fundamentales, aunque hay algunas consideraciones sobre su uso, una reflexión sobre la producción de placas fotovoltaicas a nivel industrial y sus implicaciones con la protección del medio ambiente.

Sin embargo, el uso de sustancias y placas fotovoltaicas como montajes, permite la identificación de relaciones lumínicas y eléctricas, a partir de preguntas, diálogos, observaciones, registros de datos y su análisis, integran la construcción colaborativa del conocimiento, la práctica experimental y la reflexión sobre el papel de la ciencia en la sociedad. La transformación de la luz en electricidad constituye uno de los procesos más poderosos y reveladores de la física moderna, y su exploración en el contexto escolar abre la posibilidad de formar habilidades científicas.

La descripción del montaje experimental se compone de varios elementos clave, cada uno con una función precisa dentro del procedimiento de observación del efecto fotoeléctrico en una mezcla fotosensible. En primer lugar, se encuentra una caja cerrada, cuyas paredes están revestidas internamente con papel aluminio; esta estructura es crucial para aislar la mezcla y evitar la entrada de luz externa, garantizando que el único estímulo luminoso que incida sobre la muestra sea el proveniente de una lámpara de luz ultravioleta. En el interior de la caja se dispone un beaker (vaso de vidrio), el cual contiene una mezcla compuesta por sulfato de hierro y agua; esta sustancia es seleccionada específicamente por sus propiedades fotosensibles, permitiendo analizar los cambios eléctricos inducidos por la proyección controlada de luz ultravioleta.

La lámpara de luz ultravioleta está localizada estratégicamente para servir como la fuente principal de energía lumínica y provocar las reacciones fotoeléctricas esperadas en la mezcla; su función es esencial en la metodología propuesta, pues de ella depende la generación de corriente eléctrica medible derivada del estímulo lumínico. El montaje contempla una fuente eléctrica externa, en este caso un cargador de celular, encargada de suministrar la tensión necesaria al circuito y controlar el flujo de electrones a través de la mezcla fotosensible, asegurando que el sistema se mantenga operativo y estable durante la observación experimental. Por último, el circuito se completa con un amperímetro, que es el instrumento de medición indispensable para registrar y comparar las variaciones en la intensidad de corriente eléctrica mientras la mezcla es sometida a la luz ultravioleta y

en ausencia de ella, permitiendo así evaluar de manera objetiva el efecto de la radiación sobre la sustancia fotosensible.

La actividad experimental fomenta la construcción significativa de conocimiento, estimulando la reflexión crítica, registro de datos, su relación con lo observable y la capacidad para enfrentar fenómenos complejos, al tiempo que se reconoce la necesidad de superar los métodos pedagógicos tradicionales para construir estrategias didácticas innovadoras, precisas y contextualizadas que impulsen un aprendizaje activo y pertinente en ciencias, y que contribuyan a la formación de ciudadanos conscientes y responsables ante los desafíos ambientales y tecnológicos contemporáneos.

La propuesta didáctica se fundamenta en la reconstrucción histórica de los experimentos de Becquerel como núcleo organizador del aprendizaje. Los estudiantes iniciarán luego de una indagación, a explorar los efectos eléctricos sobre sustancias al ser proyectadas con diferentes tipos de luces, teniendo en cuenta que estas condiciones básicas llevaron a observar que los efectos eléctricos producidos por la luz descubrimiento original.

Esta aproximación histórico-experimental permite desarrollar habilidades científicas. mientras se comprende la naturaleza del fenómeno de transformación de luz en electricidad y se aproxima al conocimiento científico.

A continuación se presenta la organización concreta de las actividades experimentales, detallando cada momento de la propuesta y orientando la secuencia hacia la consolidación de habilidades científicas y de interpretación colectiva del proceso de convertibilidad entre la luz y la electricidad.

Momento actividad	Habilidades esperadas	Evidencia observable	Instrumento
Actividad 1	Observación fenomenológica	Descripciones cualitativas precisas	Diario campo
Actividad 2	Control variables	Tablas completas, hipótesis explícitas	Tabla registro

Momento actividad	Habilidades esperadas	Evidencia observable	Instrumento
Actividad 3	Interpretación datos	Gráficos comentados, comparaciones	Informe grupo
Cierre CTSA	Argumentación evidenciada	Posturas justificadas ambientalmente	Reflexión escrita

Tabla 7: Estructura de para la identificación de habilidades científicas en los estudiantes.

El desarrollo secuencial inicia con la Actividad 1 de activación y caracterización cualitativa de la luz, donde los estudiantes descomponen luz blanca mediante la dispersión, registran espectro visible y discuten diferencias cualitativas, movilizand la observación fenomenológica hacia la descripción estructurada y primeras hipótesis sobre composición espectral; continúa con la Actividad 2 de indagación electroquímica con sulfato de hierro, donde en equipos exponen la mezcla fotosensible a filtros de luz secuenciales, registran corriente en tablas (véase la tabla 5), grafican respuesta espectral y responden preguntas clave como "¿Qué variable lumínica maximiza el efecto eléctrico?", activando la identificación y control de variables, registro sistemático e hipótesis causales durante 90 minutos; sigue la Actividad 3 de análisis fotovoltaico comparativo, transfiriendo montaje a celda solar con misma secuencia lumínica para registro de voltaje y corriente junto con comparación de tablas de la Actividad 2, fortaleciendo organización de datos bivariados, interpretación de patrones y elaboración de modelos transferenciales de sustancia a semiconductor en otros 90 minutos; y culmina en el cierre CTSA de la Actividad 4 con la puesta en común que confronta registros entre grupos, sintetiza gráficamente respuesta espectral y dialoga sobre ODS 7 junto con retos de paneles solares (consumo hídrico, reciclaje), movilizand argumentación evidenciada, conclusiones contextualizadas y posturas ambientales informadas.

La evaluación formativa se integra a cada habilidad científica mediante evidencias observables: en la Actividad 1 se valoran descripciones cualitativas precisas en diarios de campo para observación fenomenológica; en la Actividad 2, tablas completas con hipótesis explícitas en registros para control de variables; en la Actividad 3, gráficos comentados con comparaciones en informes grupales para interpretación de datos; y en el cierre CTSA, posturas justificadas ambientalmente en reflexiones escritas para argumentación evidenciada. Esta estructura garantiza progresión desde observación

sensorial hacia argumentación crítica, alineada con el desarrollo dinámico de competencias científicas postulado por Koerber y Osterhaus (2019), transformando el aula en espacio de intervención activa sobre el fenómeno luz-electricidad.

El eje vertebrador de la propuesta es el estudio experimental con sustancias fotosensibles, tal como se desarrolló en el trabajo de especialización. Mediante actividades prácticas, los estudiantes exploraron la reacción de mezclas como el sulfato de plata en agua cuando son iluminadas bajo diferentes condiciones de luz, observando el fenómeno físico de aumento de voltaje y de corriente eléctrica. Esta aproximación permite vivenciar los mismos procesos que observó Becquerel al diseñar un dispositivo experimental para medir la intensidad de la luz solar mediante sus efectos químicos sobre sustancias fotosensibles, como haluros de plata. El actinómetro permitía determinar la actividad luminosa de distintos colores del espectro solar y comparar la efectividad de diversas frecuencias, utilizando placas metálicas recubiertas de estas sustancias y midiendo la corriente generada por la luz.

Este diseño de propuesta permite ampliar la comprensión de la relación entre la luz y la electricidad, el diseño experimental permitirá la manipulación de montajes, la observación e identificación de variables y la interpretación de datos en función del fenómeno.

La metodología de aula que aquí se desarrolla reconoce al estudiante como protagonista activo en la construcción del conocimiento. El docente, por su parte, guía el tránsito desde los conceptos generales de la naturaleza de la luz y la corriente, hacia la aplicación específica en el fenómeno fotovoltaico, estimulando la observación, la formulación de hipótesis y la argumentación. En este proceso, la actividad experimental es la herramienta central para vivenciar cómo el conocimiento científico es tejido, acumulado y transformado colectivamente, siguiendo la visión de autores como Wagensberg (Wagensberg, 1997) para consolidar las habilidades científicas y experimentales que demanda la ciencia contemporánea.

Esta propuesta de aula no se limita a reproducir resultados ya conocidos; su auténtico valor reside en favorecer la comprensión profunda de la convertibilidad de magnitudes mediante el diseño de secuencias experimentales adaptadas al contexto escolar. Los estudiantes participan en la observación, medición y registro de los cambios eléctricos

generados por la incidencia lumínica sobre una sustancia, relacionando sus hallazgos con aplicaciones tecnológicas actuales, como los paneles solares y otros sistemas fotovoltaicos. De este modo, la enseñanza de la física en la escuela media se transforma en un escenario para descubrir, crear y proyectar conocimiento relevante, promoviendo la formación de ciudadanos críticos, creativos y comprometidos con la sostenibilidad y la innovación científica.

Se priorizó la experimentación como eje para acercar a los estudiantes a la comprensión fenomenológica de la ciencia, promoviendo espacios de discusión crítica y reflexiva en torno al efecto fotoeléctrico. Lo realizado en la propuesta extiende una aproximación, en la intención de llevar específicamente el experimento de Edmond Becquerel al aula, algo inédito a nivel local, y proyectando su comprensión hacia una aplicación tangible mediante la utilización de paneles solares didácticos. Ya no se trata únicamente de explorar los fundamentos históricos-conceptuales o de reproducir experimentos clásicos, sino de generar nuevas experiencias en los estudiantes que activen su conciencia sobre el vínculo entre ciencia, tecnología y sociedad. La maestría busca, por tanto, trascender la simple observación experimental, abriendo espacio para la problematización de temas ambientales y tecnológicos actuales, como el aprovechamiento de energías renovables y la problemática asociada al ciclo de vida de los paneles solares.

Entre los contenidos que se agregan a la propuesta destacan: la recreación moderna del experimento de Becquerel con materiales accesibles; la introducción de secuencias didácticas sobre el funcionamiento de paneles solares, sus aplicaciones y limitaciones; la reflexión crítica sobre el impacto ambiental de la tecnología fotovoltaica, abordando tanto la reducción de emisiones durante su uso como los desafíos que supone su fabricación, el alto consumo de agua y las dificultades en el reciclaje de los materiales involucrados. Se seleccionan estos contenidos porque responden de manera pertinente al contexto educativo contemporáneo, al conectar la experimentación histórica con la innovación tecnológica y la responsabilidad socioambiental; además, permiten desarrollar en los estudiantes una visión holística de la ciencia, en la que no se pierde de vista la ética ambiental y la sostenibilidad.

Con todo lo anterior, la propuesta busca generar conciencia ambiental en los estudiantes, promoviendo no solo el aprendizaje conceptual y experimental sobre la transformación de la luz en electricidad, sino también una reflexión profunda sobre los efectos que la adopción de tecnologías limpias tiene en el ambiente. Así, se fomenta el reconocimiento

crítico de que los paneles solares, aunque constituyen una alternativa fundamental para la transición energética, presentan retos significativos tales como el elevado gasto de agua en su fabricación y la dificultad en la degradación y reciclaje de sus componentes, problemas que deben ser discutidos abiertamente en el contexto escolar para formar ciudadanos informados, críticos y responsables.

3.1. Guía docente de la propuesta: Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y celdas solares.

En la sección posterior se presenta la propuesta experimental, diseñada para estudiantes de grado 11 en el marco de Ciencias Naturales (entorno físico). Su propósito central es garantizar el desarrollo de los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) del MEN para secundaria (MEN, 2002), particularmente aquellos que involucran indagar sobre fenómenos físicos mediante experimentación mediante el diseño de pruebas controladas, medición sistemática de corriente y voltaje, y control de variables como el tipo de luz (UV, violeta, azul, roja, amarilla); explicar transformaciones de energía de luz a electricidad en materiales fotoeléctricos y fotovoltaicos; y valorar usos sostenibles de la energía renovable en conexión con los objetivos de desarrollo y el enfoque CTSA (ciencia-tecnología-sociedad-ambiente).

Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares.

En esta sección del documento se encuentra:

- Ficha técnica de la propuesta.
- Objetivo general de la guía.
- Área del conocimiento y habilidades científicas que se relacionan con las actividades propuestas en la guía
- Actividades para realizar
- Ampliando el conocimiento: Campo bibliográfico recomendado para ampliar los saberes sobre el fenómeno de transformación de luz en electricidad.

Ficha Técnica:

Nº de sesiones	3 sesiones con una actividad por cada sesión
Momentos por sesión	Sesión 1: 2 momentos Sesión 2: 2 momentos Sesión 3: 1 momentos
Temas de la propuesta	Energía solar, efecto fotoeléctrico, impacto ambiental de paneles solares, cualidades de la luz y su relación con efectos eléctricos, conversión luz-electricidad en celdas fotovoltaicas, implicaciones CTSA con ODS 7.
Reseña de la propuesta	En esta guía se reflexiona sobre la transformación de la luz en electricidad mediante sustancias fotosensibles y celdas solares, como eje para desarrollar habilidades científicas de indagación, observación experimental y argumentación en estudiantes de grado once.
Duración por sesión	40 min - 50 min

Tabla 8: Ficha técnica de la propuesta de aula.

Objetivo general de la guía:

Reconocer la transformación de la luz en electricidad mediante sustancias fotosensibles y celdas fotovoltaicas para desarrollar habilidades científicas de indagación, observación

experimental, análisis de datos y argumentación crítica en estudiantes de grado once, promoviendo su comprensión de fenómenos físicos y su vinculación con la sostenibilidad energética (ODS 7).

Área del conocimiento y habilidades científicas que se relacionan con las actividades propuestas en la guía

Área del conocimiento: Ciencias Naturales, entorno físico (física: propiedades de la luz, efecto fotoeléctrico, transformación energía luminosa-eléctrica y celdas fotovoltaicas).

Competencias y Habilidades científicas que se relacionan con las actividades propuestas en la guía:

Acciones de pensamiento (MEN, 2002):

- Observo fenómenos específicos.
- Formulo preguntas específicas sobre una observación o experiencia y escojo una para indagar y encontrar posibles respuestas.
- Formulo explicaciones posibles, con base en el conocimiento cotidiano, teorías y modelos científicos, para contestar preguntas.
- Identifico condiciones que influyen en los resultados de un experimento y que pueden permanecer constantes o cambiar (variables).
- Diseño y realizo experimentos y verifico el efecto de modificar diversas variables para dar respuesta a preguntas.
- Registro mis resultados en forma organizada y sin alteración alguna.
- Establezco diferencias entre descripción, explicación y evidencia.
- Busco información en diferentes fuentes.
- Evalúo la calidad de la información, escojo la pertinente y doy el crédito correspondiente.
- Establezco relaciones causales entre los datos recopilados. Establezco relaciones entre la información recopilada en otras fuentes y los datos generados en mis experimentos.
- Saco conclusiones de los experimentos que realizo, aunque no obtenga los resultados esperados.

- Propongo respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otras personas y con las de teorías científicas.
- Sustento mis respuestas con diversos argumentos.
- Comunico oralmente y por escrito el proceso de indagación y los resultados que obtengo, utilizando gráficas, tablas y ecuaciones aritméticas.

Habilidades científicas específicas que se busca potenciar a través de la propuesta:

Habilidad científica	Descripción	Relación con actividades de la propuesta
Observación detallada de fenómenos	Percepción sensorial activa, descripción precisa de cambios (Harlen 1998; Koerber & Osterhaus 2019)	Momento 1-2: Descomposición luz Blanca (colores/espectro); efectos en sulfato hierro/paneles (cambios corriente/UV)
Formulación de hipótesis	Predicción/explicación provisional basada en evidencia previa	Momento 3-4: Predicciones sobre tipo luz → corriente/voltaje; "¿UV genera más?" en diarios campo
Investigación estructurada	Proceso sistemático: problema → datos → evaluación	Toda secuencia: Uso de montajes, control variables (luz, tiempo), tablas/gráficos
Registro riguroso de datos	Organización tabular/gráfica de mediciones (multímetros)	Momentos 3-4: Tablas corriente/voltaje por luz; gráficos barras espectrales
Análisis crítico de resultados	Interpretación patrones, correlación/causalidad	Cierre: Comparación sulfato vs. paneles; "¿Por qué UV > roja?"
Formulación de explicaciones/modelos	Construir modelos causales (longitud onda → electrones)	Momentos 4: Explicaciones "frecuencia libera electrones" en informes.
Argumentación basada en evidencias	Posturas justificadas, CTSA (ODS 7)	Cierre: Discusión impactos paneles (reciclaje/agua), conclusiones evidenciadas

Tabla 9: Habilidades científicas relacionadas con las actividades de la propuesta.

Actividades para realizar:

La guía docente organiza la sesión en tres fases claras: inicio, desarrollo y cierre, con pasos explícitos para facilitar su implementación en el aula. Cada fase incluye instrucciones precisas y recursos verificados para activar conocimientos previos, profundizar en conceptos, toma de registros y análisis de datos. Esta estructura promueve el aprendizaje sobre energía solar y el efecto fotovoltaico en educación secundaria.

3.1.1. Actividad 1: Activación de saberes en relación a las cualidades de la luz.

Objetivos de la actividad: Activar conocimientos sobre conversión luz-electricidad y discutir las aplicaciones de la energía solar para formular primeras explicaciones sobre el fenómeno fotoeléctrico. Reconocer y describir las propiedades de la luz Blanca a partir de su descomposición espectral.

Pregunta orientadora: ¿Cómo puede la luz convertirse en electricidad? ¿Qué aplicaciones conocen?

Recursos: - Acceso a internet. – Cuaderno o bitácora de apuntes. - Dispositivo de búsqueda. (celular o pc) – CD. – Fuente de luz. - Visualización del video: *“El impacto ambiental de la energía solar ¿Es tan ecológica como pensamos?”* - https://www.youtube.com/watch?v=nC-5MX1h8_8 - **Lectura del texto: “Células fotovoltaicas: conoce su evolución, sus diferentes tipos y las últimas innovaciones”**

[https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestro-modelo-innovacion/celulas-fotovoltaicas-fotoelectronica#:~:text=Una%20c%C3%A9lula%20fotovoltaica%20es%20un,electrones\)%20gracias%20al%20efecto%20fotoel%C3%A9ctrico.](https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestro-modelo-innovacion/celulas-fotovoltaicas-fotoelectronica#:~:text=Una%20c%C3%A9lula%20fotovoltaica%20es%20un,electrones)%20gracias%20al%20efecto%20fotoel%C3%A9ctrico.)

Momento 1: Indagación y activación de saberes.

Inicio:

Proporcione indicaciones claras a los estudiantes para que investiguen de forma autónoma sobre "energía solar" y "efecto fotovoltaico", utilizando sus métodos preferidos (libros, celulares o internet) durante 5 minutos. Inicie una discusión inicial en grupo para identificar conocimientos previos y

expectativas: pregunte "¿Qué saben del efecto fotovoltaico?" y "¿Qué esperan aprender?", anotando respuestas en sus cuadernos para mapear ideas. Este paso activa el aprendizaje previo y genera motivación grupal.

Desarrollo:

Reproduzca el video "El impacto ambiental de la energía solar ¿Es tan ecológica como pensamos?" (duración: 2:14 min), disponible en https://www.youtube.com/watch?v=nC-5MX1h8_8, pausando en puntos clave como fabricación de paneles y reciclaje para preguntas rápidas. Asigne la lectura del texto "Células fotovoltaicas: conoce su evolución, sus diferentes tipos y las últimas innovaciones" en <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestro-modelo-innovacion/celulas-fotovoltaicas-fotoelectronica>, enfocándose en historia (Becquerel, 1839), tipos (monocristalino, policristalino) y funcionamiento del efecto fotoeléctrico; dé 15 minutos y pida a los estudiantes redacten 3 ideas principales. Facilite una breve puesta en común para conectar video y texto, preguntando sobre impactos ambientales y evolución tecnológica.

Cierre:

Responda colectivamente a la pregunta orientadora planteada, integrando aportes de estudiantes del inicio, desarrollo y expectativas iniciales.

Momento 2: Propiedades de la luz a partir de la descomposición de la luz blanca

Inicio:

Inicie con la pregunta orientadora: "¿Cómo está compuesta la luz blanca y qué colores podemos identificar al descomponerla?" para despertar curiosidad y motivar la exploración de ideas.

Presente el objetivo: reconocer colores de la luz blanca usando CD como prisma casero y linterna; active conocimientos previos invitando a generar hipótesis sobre su composición y división en colores. Explique la función del CD (dispersión de luz) y

distribuya materiales (1 CD y 1 linterna por grupo de 2 estudiantes) para observación individual o grupal.

Desarrollo:

Instruya el experimento paso a paso: 1) Encienda la linterna en penumbra; 2) Coloque el CD entre la luz y sus ojos; 3) Incline el CD (ángulo 30-45°) hasta observar la dispersión en arcoíris (rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo, violeta); 4) Registre colores y orden.

Acompañe con preguntas dirigidas: "¿Cuáles colores distinguen claramente?" y "¿Están siempre en el mismo orden?" para guiar observación, reconocer patrones y articular

Introduzca explicación: La luz blanca es mezcla de colores del espectro electromagnético; vincule la interacción con materiales fotosensibles para generar electricidad, base de paneles solares.

Cierre:

Realice puesta en común: Los grupos comparten observaciones y conclusiones, reforzando que la luz blanca se separa en colores por dispersión. Vincule al efecto fotoeléctrico: explique la relevancia para transformar luz en electricidad en tecnologías limpias; plantee las siguientes preguntas: "¿Por qué estos colores importan para entender la relación luz-electricidad?" y "¿Cómo aplica a fenómenos físicos?"

3.1.2. Actividad 2: Experiencia práctica con sulfato de hierro y medición de voltaje al usar diferentes luces.

Objetivos de la actividad: Identificar y analizar el efecto de la luz ultravioleta sobre una mezcla fotosensible de sulfato de hierro, agua, a partir de la medición de la intensidad de corriente eléctrica que circula por el circuito, colocando el medidor de corriente como parte fundamental del trayecto entre la fuente de energía y los electrodos asociados a la muestra.

Pregunta orientadora: ¿Cómo variarán los datos de voltaje y corriente según el tipo de luz? O ¿los diferentes tipos de luz generan cambios en la corriente?

Recursos: - Sulfato de hierro - Celda fotovoltaica - Multímetro – Fuentes de luz - Agua - Medidor de corriente -Tabla de registro de datos. – Bata.

Momento 1: Experiencia práctica con sulfato de hierro y medición del cambio de corriente al usar diferentes luces.

Inicio:

Instruya a estudiantes para prepararse: ponerse bata de laboratorio, alistar cuaderno de apuntes, lápiz y verificar materiales (beaker, sulfato de hierro 10g, agua 30ml, cables, electrodos, medidor de corriente, batería 5V, caja reflectante con aluminio, lámparas de colores/UV).

Desarrollo:

Instrucciones experimentales para el docente: Para llevar a cabo el experimento, se prepara la mezcla de 10 gramos de sulfato de hierro disuelta en 30 mililitros de agua dentro de un beaker de vidrio, instalado en una caja con recubrimiento reflectante (papel aluminio) para evitar interferencias de luz externa. Seguidamente, se conecta un polo de una batería recargable (o fuente de 5 voltios) al terminal de entrada positiva del medidor de corriente; desde la salida negativa del medidor, se conecta mediante un cable y un electrodo metálico (puede ser un clip o cable pelado) que se sumerge en la mezcla. El segundo electrodo, igual de metálico y sumergido, se conecta al polo negativo de la batería. Así se configura un circuito cerrado, donde toda la corriente que fluye desde la batería hacia la mezcla pasa necesariamente por el medidor de corriente, garantizando mediciones precisas de la corriente eléctrica inducida por la interacción luz-materia.

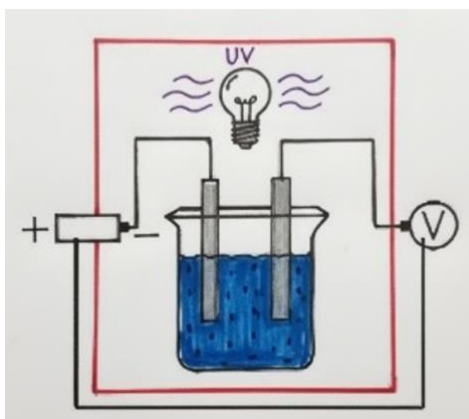


Imagen 10: Diagrama del montaje experimental de sulfato de plata iluminado con luz.

Recomendar a los estudiantes que antes de iluminar la muestra con los diferentes tipos de luz (amarilla, Blanca, azul, roja y ultravioleta), se registra la corriente inicial en ausencia de luz, asegurando que el sistema esté operativo y que los contactos sean seguros. Posteriormente, se enciende la lámpara de luz, dejando que la luz incida sobre la muestra por intervalos de 3 minutos y anotando cuidadosamente el valor de la corriente observada en el medidor de corriente. Una vez finalizada la exposición, se apaga la lámpara y se toma la lectura final de la corriente eléctrica, permitiendo así comparar los valores obtenidos con, sin luz y el tipo de luz.

Tipo de luz	Corriente (A) sin luz:	Corriente (A) con luz después de 3 minutos de exposición:
Luz blanca		
Luz amarilla		
Luz Roja		
Luz Azul		
Luz UV		

Tabla 10: Tabla de registro de datos de corriente y voltaje según sea el caso, momento 1 de la actividad 2. Uso de mezcla de sulfato de hierro con agua expuesto con y sin luz.

Este registro sistemático de datos facilita a los estudiantes la exploración directa de cómo la corriente eléctrica se ve afectada por la presencia de luz ultravioleta, permitiendo un análisis interpretativo acerca de la liberación de electrones y la transformación de energía luminosa en energía eléctrica en la mezcla fotosensible, se debe tener en cuenta esta serie de pasos para cada tipo de luz.

Cierre:

La reflexión didáctica se enfoca en discutir con los estudiantes los resultados observados, incentivando la formulación de explicaciones sobre el fenómeno: se pregunta cómo y por qué cambia la cantidad de corriente eléctrica al incidir la luz sobre la mezcla, relacionando los efectos observados con los principios fundamentales de la naturaleza y tipos de luz y la liberación de electrones. Se fomenta la construcción del conocimiento científico y establece conexiones significativas entre la configuración experimental y los conceptos

teóricos trabajados, fortaleciendo así las habilidades críticas y argumentativas de los estudiantes en el campo de la física y la didáctica de las ciencias.

Momento 2: Registro de cambios eléctricos producido en una celda solar por diferentes tipos de luz.

Inicio:

Instruya la preparación en los estudiantes, con bata, cuaderno listo; verifiquen materiales (celda solar, voltímetro, linterna Blanca/amarilla/roja/azul/UV, cables).
Plantee la siguiente pregunta guía los estudiantes: "¿Cómo varían los registros eléctricos de celda solar por tipo de luz (natural, blanca, UV)?"

Desarrollo:

Los estudiantes trabajan en grupo y realizan mediciones sistemáticas de voltaje, anotando los valores obtenidos con cada fuente de luz y comparando los resultados. Se sugiere a los estudiantes que organicen la información en algún tipo de organizador gráfico, de igual manera se promueve la observación crítica, el análisis y la discusión sobre las posibles causas de las diferencias registradas, incentivando la formulación de hipótesis respecto al impacto de la composición, intensidad y longitud de onda de la luz sobre la generación de electricidad. El docente motiva al diálogo y propicia la interpretación de los datos, alentando la argumentación fundamentada y la conexión con los contenidos vistos previamente en la unidad.

Dirija el procedimiento experimental en grupos: 1) Conecte el voltímetro a la celda solar (positivo a positivo); 2) Registre el voltaje sin luz; 3) Exponer la celda a cada luz (Blanca, amarilla, roja, azul, UV/natural) por 3 min estables; 4) Anote voltaje final.

Tipo de luz	Voltaje (V) sin luz:	Voltaje (V) con luz después de 3 minutos de exposición:
Luz blanca		
Luz amarilla		
Luz Roja		
Luz Azul		
Luz UV		

Tabla 11: Tabla de registro de datos de voltaje, momento 2 de la actividad 2. Uso de mezcla de sulfato de hierro con agua expuesto con y sin luz.

Cierre:

Se retoman las conclusiones grupales y se hace una recapitulación sobre la importancia de identificar los factores que influyen en el comportamiento eléctrico de materiales fotosensibles, vinculando la actividad experimental con el desarrollo de habilidades científicas y la comprensión del fenómeno de transformación de luz en electricidad.

3.1.3. Actividad 3. Construcción del fenómeno de transformación de luz y electricidad.

Objetivos de la actividad: Reconocer relaciones entre propiedades luz, efectos eléctricos en materiales (sulfato hierro, celdas solares) e impactos energéticos solares elaborando argumentos CTSA.

Pregunta orientadora: ¿Cómo se relacionan las propiedades de la luz y los datos obtenidos sobre los efectos eléctricos en diversos materiales con el impacto de la energía solar en nuestra sociedad y el ambiente?

Recursos: - Bitácora de apuntes - Acceso a internet

Momento 1: Explicación y argumentación

Inicio:

La actividad culminante propone que los estudiantes integren los aprendizajes obtenidos en las experiencias anteriores —la caracterización de las cualidades de la luz, el registro de los efectos eléctricos usando sulfato de hierro y el análisis de los cambios eléctricos en paneles solares— para construir explicaciones sobre el fenómeno de transformación de la luz en electricidad y sus implicaciones tecnológicas, sociales y ambientales. Se inicia planteando una pregunta orientadora que invita a la reflexión: ¿Cómo se relacionan las propiedades de la luz y los datos obtenidos sobre los efectos eléctricos en diversos materiales con el impacto de la energía solar en nuestra sociedad y el ambiente? Al inicio de la actividad, el docente invita a los estudiantes a revisar sus registros experimentales y observaciones previas, pidiéndoles identificar patrones, diferencias y conexiones relevantes entre las fuentes de luz, los materiales utilizados y los resultados eléctricos obtenidos.

Desarrollo:

En equipos de trabajo, los estudiantes analizan los datos, confrontan ideas y elaboran explicaciones acerca de cómo las cualidades de la luz inciden en el proceso de generación eléctrica y cómo la respuesta de los diferentes materiales puede ser aprovechada en tecnologías sostenibles, como los paneles solares, en función de soluciones para la sociedad actual. Para profundizar en la discusión, se orienta el diálogo en torno a preguntas sobre el papel de la ciencia y la tecnología en la búsqueda de alternativas energéticas limpias, los beneficios y retos de la implementación de paneles solares en contextos escolares o comunitarios, y el impacto ambiental derivado de nuevas tecnologías.

Cierre:

Se enfoca la sección en la construcción colectiva de conclusiones: cada grupo expone sus explicaciones y reflexiones, se destaca la importancia de una visión integradora de la ciencia, y se promueve el análisis crítico sobre cómo el aprendizaje de los conceptos y habilidades científicas permite comprender y transformar la realidad, articulando los conocimientos sobre luz, electricidad y sociedad para la toma de decisiones responsables y la valoración de la ciencia en el cuidado del ambiente. Para finalizar, se solicita a los estudiantes una breve producción escrita donde relacionen los ejes—ciencia, tecnología, sociedad y ambiente—explicando cómo los aprendizajes logrados contribuyen a enfrentar desafíos actuales en el contexto ambiental y energético.

Ampliando el conocimiento: Campo bibliográfico recomendado para ampliar los saberes sobre el fenómeno de transformación de luz en electricidad.

Este capítulo destaca la relevancia de las actividades experimentales propuestas para el fortalecimiento de habilidades científicas en los estudiantes de grado undécimo. A lo largo de la secuencia didáctica, las actividades experimentales se diseñaron de manera progresiva para potenciar procesos esenciales de indagación científica, permitiendo que los alumnos no solo observen pasivamente el fenómeno de la transformación de luz en electricidad, sino que intervengan activamente sobre él mediante la manipulación controlada de variables como el tipo de luz (amarilla, roja, azul, violeta y ultravioleta) y las sustancias fotosensibles (sulfato de hierro en solución acuosa y celdas fotovoltaicas). En la primera actividad, la descomposición espectral de la luz Blanca fomentó la observación detallada y la descripción fenomenológica de cualidades lumínicas,

entrenando la capacidad para registrar percepciones sensoriales con precisión y diferenciar patrones iniciales que anticipan efectos eléctricos observables. Posteriormente, en la exploración del efecto eléctrico con la mezcla de sulfato de hierro, se promovió la formulación de hipótesis predictivas —por ejemplo, sobre la mayor generación de corriente bajo luz ultravioleta debido a su mayor energía fotónica—, seguidas de la recolección sistemática de datos mediante multímetros y tablas de registro, lo que exigió el control de variables independientes (frecuencia lumínica) y dependientes (voltaje y corriente), fortaleciendo así el rigor analítico y la interpretación cuantitativa de resultados. Finalmente, la medición en paneles solares consolidó la argumentación fundamentada, al requerir que los estudiantes contrastaran evidencias empíricas con principios físicos de semiconductores (uniones p-n y excitación de electrones), elaborando explicaciones causales que vinculan la longitud de onda con la eficiencia fotovoltaica y dialogando en puestas en común para refutar o validar modelos propuestos. Este enfoque secuencial, inspirado en la epistemología experimental de Hacking (1983), transforma la clase en un laboratorio vivo donde la intervención genera conocimiento tangible, superando descripciones superficiales para alcanzar niveles superiores de indagación como la modelización y la generalización.

Por tanto, estas experiencias no solo han permitido comprender el fenómeno de la transformación de la luz en electricidad desde una perspectiva activa y reflexiva, sino también adquirir habilidades de indagación científica —observación detallada, planteamiento de hipótesis, registro y análisis de datos— para desenvolverse en la resolución de problemas reales vinculados a la sostenibilidad energética. Además, al articular los ejercicios experimentales con un análisis CTS (ciencia-tecnología-sociedad-ambiente), los estudiantes reconocen el valor interventor de la ciencia para transformar su entorno, relacionando directamente los retos fotovoltaicos con la Agenda 2030 y el ODS 7. El abordaje integrador del capítulo consolida así un pensamiento crítico que integra interpretación de evidencias con toma de decisiones informadas, proyectando la propuesta como instancia formativa para una ciudadanía científica responsable.

La sistematización de estas producciones estudiantiles, que se aborda en el siguiente capítulo, revelará con mayor profundidad cómo tales habilidades se manifiestan en las explicaciones y registros concretos de los participantes (E1 a E5), permitiendo un análisis categorial que trace la evolución desde la descripción fenomenológica inicial

hasta la construcción de modelos explicativos, y evaluando su contribución a una conciencia ambiental crítica.

Ampliando el conocimiento:

A continuación se comparte un listado de guías y referencias bibliográficas que permiten ampliar los saberes y conocimientos sobre el uso de paneles solares en el aula:

- Ficha Didáctica Energía Solar Fotovoltaica (RITA-Udistrital, Colombia): Experimentos con células solares, efecto fotoeléctrico y montajes simples.
- Guía Estudiante Energía Solar Fotovoltaica (Ministerio Educación Ecuador, adaptable Colombia): Funcionamiento paneles, radiación solar, actividades medición corriente.
- Experimentos Energía Solar (Siemens Stiftung/CREA): Térmica-fotovoltaica, placas hojalata y células solares para secundaria.
- Solarteca Recursos Abiertos (INTEF España): Simulador QElectroTech para diseñar instalaciones solares, esquemas CAD.
- "Acercamiento experimental a la energía solar en Educación Secundaria" (Alarcón, 2016): Experimentos fotovoltaicos, térmicos, cocinas solares.
- "Implementación de Módulo Didáctico SFA" (Ramírez, 2023): Soporte móvil 4 paneles + baterías para bachillerato.
- Khan Academy: Efecto Fotoeléctrico (Gratis, videos español): Experimentos virtuales luz-electrones.
- UPME Guías Fotovoltaica (Unidad Planeación MinEnergía): Esquemas instalaciones solares aulas rurales.
- Ministerio Educación Colombia - Media: Lineamientos CTS/energías renovables.

Capítulo 4. Sistematización de Propuesta de aula. Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares con estudiantes de grado once.

La sistematización descrita en este capítulo tiene como propósito **reconstruir y analizar** la experiencia educativa desarrollada con estudiantes de grado undécimo del Colegio Jorge Isaacs, ubicado en la localidad de Bosa. El Colegio Jorge Isaacs, ubicado en la localidad de Bosa (Bogotá), atiende a estudiantes de sectores populares con alta vulnerabilidad socioeconómica, caracterizados por estratos 1-2, dinámicas familiares marcadas por empleo informal y migración interna, en un contexto de brechas educativas urbanas típicas de Colombia. Este entorno refleja desafíos nacionales como segregación por clase social y rezago en acceso a recursos tecnológicos, donde la educación pública busca cerrar inequidades mediante énfasis en competencias prácticas y sostenibilidad ambiental.

El grupo de 11° consta de 28 estudiantes (16 mujeres, 12 hombres), edad promedio 16-17 años, predominantemente de estratos bajos con trayectorias escolares irregulares por trabajo familiar o dificultades de transporte en Bosa. El aula presenta infraestructura básica (laboratorio compartido con multímetros limitados), pero alta motivación por temas aplicados como energías renovables.

Los cinco estudiantes identificados como E1 a E5 fueron seleccionados por su iniciativa propia y motivaciones personales, manifestando explícitamente su deseo de participar en la propuesta experimental al considerar temas de ciencia como la transformación de luz en electricidad particularmente llamativos y relevantes. Su entusiasmo espontáneo por explorar sustancias fotosensibles y celdas solares, combinado con su participación consistentemente en clases caracterizada por colaboración activa, curiosidad y contribuciones constructivas.

La metodología de investigación en el aula adoptada en esta propuesta se configura como un enfoque cualitativo para indagar el desarrollo de habilidades científicas en estudiantes de grado once durante la implementación de la secuencia didáctica "Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares".

Sin embargo, la metodología para el trabajo en el aula responde al principio de aprendizaje por investigación y experimentación, donde el estudiante se posiciona como

protagonista activo en la construcción del conocimiento, guiado por el docente en un tránsito desde la observación fenomenológica hacia la formalización conceptual, tal como se inspira en los experimentos históricos de Alexandre Edmond Becquerel y en mi propio trabajo de especialización.

En este trabajo de aula aparece una dimensión cuantitativa que se materializa en el registro sistemático de datos empíricos derivados de los montajes experimentales, tales como variaciones en la intensidad de corriente y voltaje inducidas por la incidencia lumínica medidas mediante amperímetros y multímetros en configuraciones controladas y en la organización de la información en tablas y graficas de barras, como la caja opaca revestida de aluminio con mezcla de sulfato de hierro expuesta a lámpara ultravioleta, permitiendo la identificación precisa de relaciones causales entre frecuencia lumínica y respuesta eléctrica, y la cuantificación de efectos fotoeléctricos observables.

En la investigación de lo que ocurre en el aula, el componente cualitativo profundiza en el análisis interpretativo de las producciones estudiantiles, centrado en los diarios de campo de cinco participantes, transcripciones de sus afirmaciones y explicaciones, observaciones directas y reflexiones post-experimentales, categorizados mediante la identificación de evidencia en patrones de habilidades como la observación rigurosa, formulación de hipótesis, manipulación de variables independientes (colores espectrales) y argumentación evidenciada. Esta triangulación que sus producciones valida los hallazgos —cruzando mediciones numéricas con narrativas discursivas—, y potencia el desarrollo integral de competencias científicas al vincular la praxis experimental (diseño de montajes, control de artefactos, registro tabular de datos) con procesos cognitivos de orden superior, replicando formas de indagación como las de Becquerel. De este modo, los estudiantes transitan desde descripciones fenomenológicas —"la corriente aumenta con la luz UV"— hacia explicaciones sobre la convertibilidad luz-electricidad, integrando otras formas de explicación como dualidad onda-partícula y transferencia energética, lo que consolida su capacidad para enfrentar fenómenos complejos con autonomía crítica.

El eje central de la propuesta fue el abordaje experimental del fenómeno de la transformación de la luz en electricidad, como estrategia para potenciar habilidades científicas en los participantes. Para el proceso, se seleccionaron diarios de campo de cinco estudiantes, donde ellos registraron las explicaciones, sus comprensiones, sus análisis y reflexiones en cada uno de los momentos de la propuesta de aula, referenciados

en este documento como E1, E2, E3, E4 y E5, garantizando así la confidencialidad y permitiendo una observación personalizada del avance y apropiación de los aprendizajes.

En el marco de la sistematización de la propuesta de aula, el trabajo con los cuadernos de física y diarios de campo de los cinco estudiantes seleccionados siguió un proceso metodológico orientado a reconocer de manera fina las habilidades experimentales que emergen en el estudio del fenómeno de la transformación de la luz en electricidad. En primera instancia, se realizó una lectura completa y cuidadosa de los registros escritos por los estudiantes, respetando su voz, pero transcribiendo sus producciones con el fin de omitir errores gramaticales que pudieran interferir en el análisis, dejando claro que se trataba de información reconstruida a partir de los cuadernos de la asignatura de física.

Posteriormente, se procedió a la transcripción organizada de los fragmentos más relevantes, especialmente aquellos donde los estudiantes describen procedimientos experimentales, interpretan datos, formulan explicaciones o expresan dudas y posicionamientos frente al uso de sustancias fotosensibles y paneles solares.

Tras esta primera depuración, se realizó una selección intencional de segmentos de texto en los cuales fuese posible identificar y clasificar expresiones relacionadas con habilidades experimentales específicas, tales como la observación detallada, la identificación de variables y condiciones de ensayo, la formulación de hipótesis, el registro sistemático de datos, el análisis e interpretación de resultados y la argumentación fundamentada.

Para fortalecer la organización categorial, se utilizó la inteligencia artificial Gemini como herramienta de apoyo en la agrupación de fragmentos según categorías emergentes vinculadas a habilidades científicas, lo que permitió identificar regularidades y matices en las producciones estudiantiles sin perder de vista el contexto pedagógico concreto de la propuesta. De esta manera, la IA no sustituyó el juicio pedagógico, sino que funcionó como un mediador analítico que ayudó a ordenar, contrastar y afinar las categorías de análisis sobre las habilidades experimentales presentes en los registros.

En cuanto al análisis, los resultados permiten afirmar que los estudiantes aprendieron no solo contenidos específicos sobre el efecto fotovoltaico y la conversión de luz en electricidad, sino también formas de pensar y actuar propias del trabajo científico escolar. A lo largo de las actividades, los estudiantes avanzan desde explicaciones intuitivas sobre la luz y los paneles solares, cargadas de ideas previas (por ejemplo, confusiones respecto

al funcionamiento diurno/nocturno y el papel de las baterías), hacia marcos explicativos más articulados donde vinculan tipo de luz, liberación de electrones, variación de corriente y aplicaciones tecnológicas en el contexto de las energías renovables.

Este tránsito se evidencia en sus escritos cuando logran relacionar los datos de voltaje y corriente medidos con el multímetro y el medidor de corriente con la naturaleza de la luz (colores, frecuencia, radiación ultravioleta), y cuando comienzan a problematizar críticamente aspectos ambientales como el impacto del ciclo de vida de los paneles solares.

Las habilidades experimentales se potenciaron de manera progresiva gracias a la estructura misma de la secuencia histórico-experimental propuesta. En los primeros momentos, las tareas se centran en la observación y el reconocimiento de cualidades de la luz mediante experiencias accesibles (CD, linterna, descomposición de la luz Blanca), lo que fortalece la observación cuidadosa y la capacidad de describir fenomenologías sencillas. En fases posteriores, los estudiantes asumen un rol más activo en el diseño y ejecución de montajes, como el experimento con sulfato de hierro en caja opaca y la medición de corriente bajo diferentes tipos de luz, lo cual exige planificar pasos, controlar condiciones, formular preguntas como “¿cómo variarán los datos de voltaje y corriente según el tipo de luz?” y registrar datos en tablas. Finalmente, en el trabajo con paneles solares didácticos y en la discusión sobre impactos ambientales, se hace evidente un fortalecimiento de la interpretación de datos, la comparación de resultados, la justificación de conclusiones y la capacidad de vincular lo observado en el aula con problemáticas reales de energía y sostenibilidad.

Este proceso de sistematización permite documentar de manera ordenada y crítica los logros, retos y aprendizajes surgidos durante la implementación de la propuesta de aula, con el fin de valorar el impacto de la experimentación y la reflexión activa en el fortalecimiento de competencias científicas. Asimismo, se busca extraer conclusiones relevantes para el mejoramiento de la práctica educativa y la formación de estudiantes capaces de comprender, analizar y actuar frente a los desafíos que plantea la ciencia y su relación con la sociedad y el ambiente.

4.1. Respuestas del grupo de estudiantestest en la actividad 1. Activación de saberes en relación a las cualidades de la luz.

<u>Momento 1: Indagación y activación de saberes</u>	
Desarrollo de la actividad:	Los estudiantes investigan activamente sobre energía solar y el efecto fotovoltaico, recurriendo tanto a fuentes digitales como a herramientas de inteligencia artificial para consultar, analizar y comparar datos relevantes. El docente desempeña un papel de facilitador, motivando la discusión inicial para que los estudiantes compartan sus ideas y construyan colectivamente su base conceptual, reconociendo conocimientos previos y estableciendo expectativas comunes. Durante el desarrollo, los propios estudiantes exploran el video “El impacto ambiental de la energía solar ¿Es tan ecológica como pensamos?” y consultan el texto sobre células fotovoltaicas, utilizando IA para sintetizar y contrastar información clave del contenido. En el cierre, los estudiantes reflexionan y dialogan sobre sus hallazgos.
pregunta orientadora:	¿Cómo puede la luz convertirse en electricidad? ¿Qué aplicaciones conocen?
Respuestas y expresiones de los estudiantes:	Habilidad identificada en estas expresiones:
<p><i>E₁: -“Si el sol tiene energía, entonces creo que los paneles solares la capturan y por eso generan electricidad”.</i></p> <p><i>-“A veces confundo si los paneles solo funcionan de día o también usan algún tipo de batería cuando no hay luz”.</i></p> <p><i>E₂: “Vi en el video que aunque la energía solar ayuda al ambiente, también tiene un impacto porque fabricar los paneles contamina”.</i></p> <p><i>-“Yo pensé que todas las células fotovoltaicas eran iguales, pero el texto dice que hay varias tecnologías nuevas”.</i></p> <p><i>E₃:-“Hay paneles solares en techos de casas, calculadoras y hasta en autos, así que creo</i></p>	<p><i>E₁: Observación, inferencia causal (establece una relación entre energía solar y electricidad), formulación de explicaciones sencillas.</i></p> <p><i>E₁: Cuestionamiento, identificación de variables/condiciones, planteamiento de dudas (reflexión sobre límites tecnológicos).</i></p> <p><i>E₂: Análisis crítico, interpretación de información multimedia, reconocimiento de impactos ambientales y tecnológicos.</i></p> <p><i>E₂: Revisión de conceptos previos, aceptación de nueva información, comprensión de diversidad tecnológica.</i></p> <p><i>E₃: Aplicación contextual, enumeración de ejemplos, transferencia de conceptos a situaciones diversas.</i></p>

<p><i>que la luz se puede convertir en electricidad de muchas maneras”.</i></p> <p><i>-“Me cuesta entender cómo exactamente la luz logra mover electrones, pero creo que depende del material del panel.</i></p> <p><i>E₄: -“Aprendí en el video que la energía solar no es totalmente “verde” y que debemos pensar en su ciclo completo, no solo cuando genera electricidad”.</i></p> <p><i>-“Quedé curioso sobre los tipos de celdas solares, yo pienso que para cada tipo de celda hay un uso en específico”.</i></p> <p><i>E₅: -“Ahora sé que existe el efecto fotoeléctrico y que es clave para que la luz genere corriente eléctrica, pero antes pensaba que solo era por calor”.</i></p> <p><i>-“Pienso que, aunque la energía solar tiene desafíos, puede ser una solución para lugares donde no hay red eléctrica fácil”.</i></p>	<p><i>E₃: Reconocimiento de dificultad conceptual, elaboración de hipótesis, relación entre material y función experimental.</i></p> <p><i>E₄: Pensamiento crítico, reflexión sistémica y ambiental, comprensión de procesos y ciclos tecnológicos.</i></p> <p><i>E₄: Curiosidad científica, Iniciativa investigativa, Interés por la diversidad tecnológica.</i></p> <p><i>E₅: Corrección de concepciones previas, comprensión conceptual, reconocimiento de mecanismos físicos específicos.</i></p> <p><i>E₅: Planteamiento de solución a problemas reales, valoración tecnológica para el entorno social, capacidad de análisis contextual.</i></p>
<p><u>Momento 2: Reconocer las propiedades de la luz a partir de la descomposición de la luz blanca.</u></p>	
<p>Desarrollo de la actividad</p>	<p>Caracterizar las propiedades de la luz Blanca a través de su descomposición en colores, utilizando un CD y una linterna. Los estudiantes observan los colores reflejados, exploran cómo la luz blanca está formada por distintos componentes y discuten el fenómeno a partir de lo observado, estableciendo una base para la comprensión experimental de la naturaleza de la luz en el contexto del estudio de su transformación en electricidad.</p>
<p>pregunta orientadora:</p>	<p>¿Cómo se puede describir y caracterizar la luz Blanca a partir de los colores que la componen, y qué relación tiene esta propiedad con el fenómeno de la transformación de luz en electricidad?</p>
<p>Respuestas y expresiones de los estudiantes:</p>	<p>Habilidad identificada:</p>
<p><i>E₁:</i></p> <p><i>- “Yo creo que la luz blanca está formada por muchos colores porque cuando puse la</i></p>	<p><i>E₁: Observación: Al notar los diferentes colores que aparecen al descomponer la luz blanca con el CD.</i></p>

<p><i>linterna sobre el CD vi varios tonos, como el arcoíris”.</i></p> <p><i>- “Me parece que gracias a esos colores, la luz puede producir diferentes efectos cuando choca con otros materiales, tal vez eso tenga que ver con cómo se transforma en electricidad”.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₂:</i></p> <p><i>- “No entiendo bien por qué aparecen diferentes colores en el CD si la linterna solo tiene luz blanca, pero me parece curioso verlos separados”.</i></p> <p><i>- “Pienso que si cada color tiene una energía distinta, puede que algunos sean más útiles que otros para generar electricidad en los paneles solares”.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₃:</i></p> <p><i>- “Cuando pasamos la luz blanca por el CD, los colores salieron en un orden y eso muestra que hay algo dentro de la luz que podemos usar, como separar cosas con un experimento”.</i></p> <p><i>- “Creo que en los experimentos que haremos después, vamos a ver cómo algunos colores hacen que los aparatos produzcan más voltaje, porque reaccionan diferente”.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₄:</i></p> <p><i>- “Vi que el CD funciona como una herramienta para descubrir qué hay en la luz, antes solo creía que la luz era de un solo tipo y ahora veo que tiene muchos colores”.</i></p> <p><i>- “Esto me hace pensar que, si la luz blanca tiene varios colores, tal vez en el laboratorio podamos usar alguno de ellos para mejorar la transformación en electricidad”.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₅:</i></p> <p><i>- “Me di cuenta que la luz blanca se puede dividir y esto sirve para entender cómo funcionan las tecnologías como los paneles solares”.</i></p> <p><i>- “Seguro que al saber esto, podemos explicar por qué los paneles solares a veces</i></p>	<p>Explicación/Hipotetización: Al relacionar que los colores pueden producir distintos efectos en materiales y vincularlo con la transformación de luz en electricidad.</p> <p><i>E₂</i>:Curiosidad/Indagación: Cuestiona el fenómeno observado (por qué surgen colores a partir de una luz blanca).</p> <p>Relación conceptual: Piensa que distintos colores pueden tener energías diferentes y afectar la generación eléctrica en paneles solares.</p> <p><i>E₃</i>: Organización y análisis: Reconoce patrones y el orden en que aparecen los colores, atribuyendo lógica experimental.</p> <p>Predicción: Supone que el efecto eléctrico variará según el color, anticipando resultados para próximos experimentos.</p> <p><i>E₄</i>:Uso de herramientas científicas: Reconoce el CD como instrumento para indagar la composición de la luz.</p> <p>Aplicación: Propone utilizar la variabilidad de la luz para mejorar resultados prácticos en la transformación eléctrica.</p> <p><i>E₅</i>: Inferencia: Interpreta la división de la luz como fundamento tecnológico de los paneles solares.</p> <p>Explicación contextual: Relaciona la variabilidad energética del panel con factores ambientales y características de la luz.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<i>producen más energía cuando hay luz de cierto color o a ciertas horas del día”.</i>	
----------------------------------------------------------------------------------------	--

Tabla 12: Respuestas del grupo de estudiantes en la actividad 1 y su relación con habilidades científicas.

4.2. Datos obtenidos por grupo de estudiantes en la actividad 2. Exploración del efecto eléctrico producido por los tipos de luz en sulfato de hierro y en los paneles solares.

<u>Momento 1: Experiencia práctica con sulfato de hierro y medición de voltaje al usar diferentes luces.</u>	
Desarrollo de la actividad:	Se prepara una mezcla fotosensible de 10 g de sulfato de hierro en 30 ml de agua en un beaker dentro de caja reflectante (papel aluminio), integrando un circuito cerrado con batería de 5, medidor de corriente y dos electrodos sumergidos para medir variaciones inducidas por luces (amarilla, blanca, azul, roja y ultravioleta). Se registra la corriente en el montaje sin luz, se expone la muestra 3 minutos por tipo lumínico, anotando lecturas iniciales, durante y post-exposición, comparando efectos para evidenciar mayor respuesta con UV vía liberación de electrones y conversión lumínica-eléctrica. La reflexión didáctica guía discusión sobre causas de cambios en corriente, conectando datos empíricos con principios físicos (naturaleza de la luz, fotoelectricidad), fortaleciendo habilidades de observación, registro, análisis y argumentación en estudiantes.
pregunta orientadora:	¿Cómo variarán los datos de voltaje y corriente según el tipo de luz? y ¿los diferentes tipos de luz generan cambios en la corriente?

Respuestas y expresiones de los estudiantes:	Habilidad identificada:
E_1 : <i>-” Yo vi que sí cambiaban los valores, pero no todos igual; con la luz ultravioleta la corriente subió más que con las otras, luego la azul y la blanca también aumentaron, mientras que con la</i>	E_1 : Observación y análisis de datos: <i>“sí cambiaban los valores... la corriente subió más... casi no hubo cambio con la roja”.</i>

<p><i>roja casi no hubo cambio, entonces creo que los tipos de luz sí afectan la corriente porque no todas tienen la misma energía”.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₂:</i></p> <p><i>- “A mí me pareció que el voltaje y la corriente aumentaban un poquito con todas las luces, pero más cuando usamos la UV y la azul; pensé que la luz blanca iba a ser la que más cambiara porque es como la más -fuerte-, pero en los datos se ve que la ultravioleta genera más corriente en la mezcla de sulfato de hierro”.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₃:</i></p> <p><i>- “Yo creo que los datos varían según el tipo de luz porque en la tabla se nota que con la UV el voltaje y la corriente suben más que con la amarilla o la roja, entonces la mezcla reacciona diferente dependiendo del color; eso me hace pensar que la longitud de onda influye en cuántos electrones se liberan”.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₄:</i></p> <p><i>“Al principio pensé que no iba a haber casi diferencia, pero cuando comparamos las mediciones se ve que con luz blanca y azul hay más cambio que con la roja, y la ultravioleta es la que más cambia, así que sí, los distintos tipos de luz generan cambios en la corriente, unos más marcados que otros”.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₅:</i></p> <p><i>“Según lo que medimos, la corriente no se mantiene igual, sino que aumenta un poco con la mayoría de luces y bastante más con la UV; entonces diría que el tipo</i></p>	<p><i>Formulación de hipótesis / explicación causal: “creo que los tipos de luz sí afectan la corriente porque no todas tienen la misma energía.”</i></p> <p><i>E₂: Observación y análisis de datos: compara aumentos “un poquito con todas las luces” y “más cuando usamos la UV y la azul”.</i></p> <p><i>Revisión de expectativas a la luz de la evidencia: confronta su idea previa sobre la luz blanca con “en los datos se ve que la ultravioleta genera más corriente”.</i></p> <p><i>E₃: Lectura e interpretación de tablas: “en la tabla se nota que con la UV... suben más que con la amarilla o la roja”.</i></p> <p><i>Formulación de hipótesis / modelo explicativo: “eso me hace pensar que la longitud de onda influye en cuántos electrones se liberan.”</i></p> <p><i>E₄: Comparación de mediciones y análisis: “cuando comparamos las mediciones se ve que... la ultravioleta es la que más cambia”.</i></p> <p><i>Revisión de hipótesis iniciales: reconoce que su expectativa inicial (“no iba a haber casi diferencia”) cambia al analizar los datos.</i></p> <p><i>E₅: Síntesis de resultados cuantitativos: “la corriente no se mantiene igual, sino que aumenta un poco... y bastante más con la UV”.</i></p> <p><i>Conclusión basada en evidencia: “el tipo de luz sí importa, porque hay luces que casi no alteran el circuito y otras que hacen que circule más corriente”.</i></p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

de luz sí importa, porque hay luces que casi no alteran el circuito y otras que hacen que circule más corriente en la solución de sulfato de hierro”.

Tabla 13: Respuestas del grupo de estudiantes en la actividad 2, momento 1 y su relación con habilidades científicas.

Datos obtenidos por los estudiantes en la actividad 2 momento 1:

Tipo de luz	Corriente (A) sin luz:	Corriente (A) con luz, después de 3 minutos de exposición:
Luz blanca	2.8	3.0
Luz amarilla	2.8	2.9
Luz Roja	2.8	2.8 – 2.9
Luz Azul	2.8	3.1
Luz UV	2.8	3.3

Tabla 14: Datos obtenidos por el grupo de estudiantes en la medición de corriente.

Tipo de luz	Voltaje (V) sin luz:	Voltaje (V) con luz, después de 3 minutos de exposición:
Luz blanca	8.5	8.63
Luz amarilla	8.5	8.6
Luz Roja	8.5	8.55
Luz Azul	8.5	8.75
Luz UV	8.5	8.85

Tabla 15: Datos obtenidos por el grupo de estudiantes en la medición de Voltaje.

<u>Momento 2: Registro de cambios eléctricos producido en una celda solar por diferentes tipos de luz</u>	
Desarrollo de la actividad:	Estudiantes miden voltaje en celda solar expuesta a luces natural, blanca (linterna) y UV, guiados por pregunta: “¿Cómo varían los

	registros eléctricos según el tipo de luz incidente?”. En grupos, registran valores sistemáticos con voltímetro, organizan datos en gráficos y comparan resultados para analizar impacto de composición, intensidad y longitud de onda lumínica en generación eléctrica. El docente orienta discusión, hipótesis y argumentación, conectando observaciones con contenidos previos para potenciar observación crítica y razonamiento
pregunta orientadora:	¿Cuáles son las variables presentes al momento de proyectar diferentes tipos de luz sobre una celda fotovoltaica?
Respuestas y expresiones de los estudiantes:	Habilidad identificada:
<p>E_1:</p> <p>- “Yo diría que la variable principal es el tipo de luz que usamos, o sea si es natural, blanca o ultravioleta, y la variable que cambia por eso es el voltaje que marca la celda, porque cuando cambiamos de luz también cambian los valores en el voltímetro.”</p> <p>E_2:</p> <p>- “También está la intensidad de la luz, porque no es lo mismo tener la linterna muy cerca que más lejos, y además el tiempo de exposición, ya que dejamos la celda tres minutos con cada tipo de luz y eso influye en cuánto voltaje alcanza.”</p> <p>E_3:</p> <p>- “Yo anotaría como variables la longitud de onda o color de la luz, la intensidad de la fuente, el ángulo con el que le llega a la celda y el voltaje que se genera, porque esas son las cosas que estuvimos modificando o midiendo en la actividad.”</p> <p>E_4:</p>	<p>E_1: Identificación de variables: reconoce “<i>tipo de luz</i>” como variable que se cambia y “<i>voltaje que marca la celda</i>” como lo que responde.</p> <p>Relación causa–efecto: vincula explícitamente cambio de tipo de luz con cambio de voltaje.</p> <p>E_2: Reconocimiento de variables de control: distancia (intensidad de la luz) y tiempo de exposición.</p> <p>Análisis de condiciones experimentales: entiende que el tiempo influye en el valor de voltaje que se alcanza.</p> <p>E_3: Refinamiento conceptual de variables: introduce “longitud de onda o color”, “intensidad”, “ángulo” y “voltaje” como magnitudes relevantes.</p> <p>Sistematización de la experiencia: enumera lo que se modificó y lo que se midió en la actividad.</p> <p>E_4: Clasificación de variables: distingue entre variables controladas (tipo de luz, distancia) y variables medidas (voltaje, corriente).</p> <p>Comprensión del diseño experimental: usa la categoría de “<i>lo que controlamos</i>” vs “<i>lo que medimos</i>”.</p> <p>E_5: Identificación de variables adicionales: área iluminada, presencia de sombras.</p>

<p>- “Pienso que unas variables son las que controlamos, como el tipo de luz y la distancia entre la linterna y el panel, y otras son las que medimos, que son el voltaje y la corriente que produce la celda fotovoltaica cuando la iluminamos.”</p> <p style="text-align: center;">E₅:</p> <p>- “Además del tipo de luz y el voltaje, creo que también cuenta el área de la celda que está recibiendo la luz y si hay sombras o no, porque cuando la luz no le pega igual en toda la superficie, el valor que registramos en el voltímetro cambia bastante.”</p>	<p>Explicación apoyada en datos: reconoce que cambios en esas condiciones se reflejan en variaciones en las lecturas del voltímetro.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 16: Respuestas del grupo de estudiantes en la actividad 2, momento 2 y su relación con habilidades científicas.

Datos obtenidos por los estudiantes de los estudiantes en la actividad 2 momento 1:

Tipo de luz	Voltaje (V) sin luz:	Voltaje (V) con luz después de 3 minutos de exposición:
Luz blanca	0	1.13
Luz amarilla	0	0.7
Luz Roja	0	0.61
Luz Azul	0	0.6
Luz UV	0	2.2

Tabla 17: Mediciones de voltaje con el panel solar después de 3 minutos de exposición de los tipos de luz.

4.3. Datos obtenidos por grupo de estudiantes en la actividad 3. Construcción del fenómeno de transformación de luz y la electricidad.

<u>Momento 1: Construcción del fenómeno de transformación de luz y la electricidad.</u>	
Desarrollo de la actividad:	La actividad culminante invita a los estudiantes a integrar los resultados de las experiencias previas sobre cualidades de la luz, efectos eléctricos en sulfato de hierro y comportamiento de los

	<p>paneles solares, para explicar cómo se transforma la luz en electricidad y qué implicaciones tiene este proceso en el plano tecnológico, social y ambiental. A partir de una pregunta orientadora, los grupos revisan sus registros experimentales, identifican patrones y relaciones entre tipos de luz, materiales y señales eléctricas, y elaboran explicaciones sobre la incidencia de las propiedades de la luz en la generación de electricidad y en el diseño de tecnologías sostenibles como los paneles solares. El trabajo se acompaña de un diálogo guiado sobre alternativas energéticas limpias, beneficios y retos de la energía solar en contextos escolares y comunitarios, y culmina con una puesta en común y una breve producción escrita donde los estudiantes articulan ciencia, tecnología y sociedad para reflexionar críticamente sobre los desafíos ambientales y energéticos actuales.</p>
<p>Pregunta orientadora:</p>	<p>¿Cómo se relacionan las propiedades de la luz y los datos obtenidos sobre los efectos eléctricos en diversos materiales con el impacto de la energía solar en nuestra sociedad y el ambiente?</p>
<p>Respuestas y expresiones de los estudiantes:</p>	<p>Habilidad identificada:</p>
<p>E_1:</p> <p>- <i>“En los gráficos de barras se ve que la luz ultravioleta es la que genera más voltaje en el panel, mucho más que la roja o la amarilla, y eso me hace pensar que las propiedades de la luz, como la energía que tiene cada color, influyen en qué tanto podemos aprovecharla para producir electricidad. Si en la sociedad usamos más tecnologías que captan mejor esas partes del espectro, podemos generar más energía solar sin quemar combustibles, lo que ayudaría a disminuir la contaminación del aire y el calentamiento global.”</i></p> <p>E_2:</p> <p>- <i>“Cuando comparamos las barras de los diferentes tipos de luz, se nota que no todas producen el mismo efecto eléctrico: la blanca y la UV dan valores más altos, mientras que</i></p>	<p>E_1: Interpretación de datos y patrones: lectura comparativa de barras (UV > otras luces). Formulación de explicación causal: relaciona energía de cada color con el voltaje generado.</p> <p>Argumentación con dimensión CTS: conecta aprovechamiento del espectro con reducción de contaminación.</p> <p>E_2: Observación y comparación de resultados: diferencia efectos eléctricos entre tipos de luz.</p> <p>Identificación de variables relevantes de diseño: tipo de luz, ubicación, uso de paneles.</p> <p>Argumentación basada en evidencia para decisiones tecnológicas: “no basta con poner paneles”.</p>

<p><i>la roja casi no levanta el voltaje. Esto me hace pensar que para que la energía solar tenga un impacto positivo en el ambiente, no basta con “poner paneles”, sino que hay que ubicarlos, diseñarlos y usarlos pensando en qué tipo de luz reciben en cada lugar y momento del día, para que realmente sustituyan otras fuentes más contaminantes.”</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₃:</i></p> <p><i>- “Yo relaciono las propiedades de la luz con el impacto de la energía solar porque en las gráficas se ve claramente que la longitud de onda importa; los colores de mayor energía son los que hacen que se dispare la barra de voltaje en la celda. Si entendemos eso, la sociedad puede aprovechar mejor la radiación solar, por ejemplo instalando paneles donde llegue más luz directa y de buena calidad, lo que significa producir más electricidad limpia y reducir el uso de energías que generan gases de efecto invernadero.”</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₄:</i></p> <p><i>- “Al mirar los datos organizados en las barras, entendí que la luz no es siempre igual para la celda: según el tipo de luz cambia la altura de la barra de voltaje, y eso muestra que hay una relación entre las propiedades de la luz y la capacidad de los materiales para transformarla en electricidad. Eso se conecta con nuestra realidad porque, si la escuela y los barrios usaran más paneles solares bien aprovechados, podríamos tener energía para muchas cosas sin depender tanto de fuentes que dañan el ambiente, y también aprenderíamos a tomar decisiones más responsables sobre el consumo de energía.”</i></p> <p style="text-align: center;"><i>E₅:</i></p>	<p><i>E₃</i>: Uso de modelos explicativos: introduce la longitud de onda como variable que explica las barras de voltaje.</p> <p>Integración teoría–datos: vincula color/energía con altura de barras.</p> <p>Proyección a contexto social y ambiental: instalación estratégica de paneles para sustituir energías emisoras.</p> <p><i>E₄</i>: Relación entre propiedades físicas y respuesta del material: reconoce que “la luz no es siempre igual para la celda”.</p> <p>Interpretación crítica de gráficos: altura de barras como indicador del efecto de la luz.</p> <p>Argumentación CTS: vincula uso escolar y barrial de paneles con menor dependencia de fuentes dañinas.</p> <p><i>E₅</i>: Observación fina de condiciones experimentales: intensidad, “dónde la luz pega mejor”, correlacionada con barras de voltaje.</p> <p>Construcción de explicación material-dependiente: reconoce el papel del material que recibe la luz.</p> <p>Proyección prospectiva: plantea la necesidad de investigar mejores materiales y su impacto ambiental positivo.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>- “En mi caso, al analizar los gráficos vi que donde la luz pega mejor y es más -fuerte- en términos de color, la barra de voltaje sube más, y eso me ayuda a entender que la energía solar depende tanto de cómo es la luz como del material que recibe esa luz. Relacionar estos datos con la sociedad y el ambiente me hace pensar que si se invierte en paneles solares y en investigar mejores materiales, se puede aumentar la producción de energía limpia y así disminuir la quema de carbón o gasolina, lo que tendría un impacto positivo en la calidad del aire y en el cuidado del planeta”.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Tabla 18: Respuestas del grupo de estudiantes en la actividad 3, momento 2 y su relación con habilidades científicas.

4.4. Análisis de la sistematización

El presente apartado de análisis de la sistematización tiene como propósito examinar de manera detallada las producciones escritas de los cinco estudiantes seleccionados E1, E2, E3, E4 y E5, a partir de los registros realizados en cada uno de los momentos y actividades de la propuesta de aula “Explorando la transformación de luz en electricidad con sustancias fotosensibles y paneles solares”. Más que limitarse a una descripción de resultados, este capítulo busca reconstruir cómo, a través de las expresiones, afirmaciones y explicaciones de los estudiantes, se van configurando ciertas formas de mirar, registrar y pensar el fenómeno de convertibilidad entre luz y electricidad, en diálogo con los referentes teóricos y experimentales que orientan el trabajo.

En coherencia con el enfoque histórico-experimental y con la noción de conocimiento como tejido desarrollada en los capítulos anteriores, el análisis se organiza a partir de cinco criterios de habilidades científicas que se consideraron centrales en esta investigación: la observación y descripción de fenómenos, la identificación y diferenciación de variables, el registro, organización e interpretación de datos, la formulación de explicaciones, hipótesis y modelos, y la argumentación y toma de postura basada en evidencias. Estos criterios no se asumen como listas cerradas de destrezas aisladas, sino como nodos de una red de competencias que se entrelazan y cobran sentido

en la acción concreta del estudiante cuando observa un fenómeno, anota un dato numérico, compara una tabla o intenta explicar por qué una luz produce más corriente que otra.

Metodológicamente, el análisis parte de la sistematización previa de los cuadernos de física, diarios de campo y tablas de datos construidas en las actividades sobre cualidades de la luz, efecto eléctrico en la mezcla de sulfato de hierro y respuesta de las celdas solares frente a distintos tipos de luz. A partir de esta base empírica, se seleccionan fragmentos representativos de las respuestas de los cinco estudiantes en cada momento de la secuencia experimental

El capítulo se organiza, por tanto, en torno al recorrido de la propia propuesta de aula: para cada actividad se presentan algunas de las expresiones más significativas de E1, E2, E3, E4 y E5, y a continuación se discute qué habilidades científicas se evidencian en ellas a la luz de los cinco criterios definidos. Así, en las actividades iniciales se resaltan especialmente las formas de observación y descripción que emergen ante la descomposición de la luz blanca, mientras que en las experiencias con sulfato de hierro y paneles solares cobran mayor protagonismo la identificación de variables, el análisis de tablas de voltaje y corriente y la formulación de explicaciones en términos de tipo de luz, longitud de onda o energía.

Este análisis categorial no pretende encasillar a los estudiantes en etiquetas rígidas, sino mostrar matices, avances y tensiones en la manera como cada uno se apropia del fenómeno investigado y de las prácticas propias del trabajo científico escolar. En algunos casos, una misma afirmación puede incluir, por ejemplo, una descripción observacional y, al mismo tiempo, una hipótesis incipiente sobre la relación entre luz y electricidad; en otros, una comparación entre datos numéricos se convierte en punto de partida para una argumentación que vincula el comportamiento del montaje con elementos discutidos en el marco teórico sobre semiconductores y efecto fotovoltaico.

Al poner en diálogo estas expresiones con los marcos de Koerber y Osterhaus, Hacking y Wagensberg, el capítulo busca evidenciar hasta qué punto la propuesta de aula logra abrir un espacio real para el ejercicio de la indagación: un lugar donde los estudiantes observan con intención, distinguen variables, registran y reorganizan información, se atreven a explicar y sostener sus ideas frente a otros, y, en ese proceso, van tejiendo una comprensión más densa y crítica del proceso de transformación de la luz en electricidad. De este modo, el análisis de la sistematización se convierte también en una herramienta

para valorar y repensar la propia práctica docente, al permitir reconocer qué tipos de mediación favorecen el desarrollo de estas habilidades científicas y qué desafíos permanecen abiertos para futuras intervenciones en el aula.

4.2.1. Análisis y clasificación de categorías de la sistematización para la actividad 1.

En las respuestas de esta actividad se evidencia un avance importante en la manera como los estudiantes articulan las propiedades de la luz, el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas y las implicaciones ambientales y sociales de la energía solar, en coherencia con el propósito de este trabajo de grado. A diferencia de las primeras actividades, donde predominaban descripciones más cercanas al “sentido común” sobre la luz y la electricidad, aquí se observa cómo las habilidades científicas se entretajan con marcos explicativos más complejos y con una mirada CTS sobre el fenómeno.

En primer lugar, se aprecia el fortalecimiento de la **observación y la descripción de fenómenos** y de la **inferencia causal básica**. Expresiones como *“Si el sol tiene energía, entonces creo que los paneles solares la capturan y por eso generan electricidad”* muestran que el estudiante ya no se limita a enunciar que *“los paneles producen corriente”*, sino que comienza a establecer una relación explícita entre la energía de la radiación solar y la conversión eléctrica en el dispositivo, formulando una explicación sencilla pero coherente con el fenómeno estudiado. Esta misma habilidad se enriquece cuando el estudiante reconoce condiciones de funcionamiento, al dudar si *“los paneles solo funcionan de día o también usan algún tipo de batería cuando no hay luz”*, lo que evidencia un esfuerzo por delimitar el campo de validez de sus explicaciones y por incorporar variables contextuales a la comprensión del sistema tecnológico.

En segundo lugar, se observa un avance claro en la **identificación y diferenciación de variables y condiciones**, así como en la **revisión de conceptos previos**. El reconocimiento de que *“pensé que todas las células fotovoltaicas eran iguales, pero el texto dice que hay varias tecnologías nuevas”* indica que el estudiante confronta su idea inicial de homogeneidad tecnológica con información reciente, aceptando la existencia de diferentes tipos de celdas y materiales. Este cambio conceptual se vincula directamente con el marco de semiconductores trabajado en el Capítulo 2 y con las mediciones realizadas sobre paneles y mezclas fotosensibles, mostrando cómo la propuesta de aula favorece que los estudiantes comiencen a distinguir entre dispositivos, contextos de uso y niveles de eficiencia.

En tercer lugar, el análisis muestra un desarrollo significativo en el **registro, organización e interpretación de datos** y en la capacidad de **aplicación contextual**. Afirmaciones como *“Hay paneles solares en techos de casas, calculadoras y hasta en autos, así que creo que la luz se puede convertir en electricidad de muchas maneras”* revelan que el estudiante no solo enumera ejemplos, sino que generaliza a partir de ellos, reconociendo la convertibilidad luz-electricidad como un principio que se despliega en múltiples artefactos cotidianos. Este reconocimiento se apoya en los gráficos de barras construidos en las actividades con celdas solares y en las tablas de datos analizadas previamente, que muestran que distintos montajes, materiales y condiciones de iluminación conducen a respuestas eléctricas diversas, lo cual el estudiante extrapola a casos reales.

En cuarto lugar, se fortalece la **formulación de explicaciones, hipótesis y modelos** ligados al funcionamiento microscópico de los materiales. Cuando el estudiante expresa *“Me cuesta entender cómo exactamente la luz logra mover electrones, pero creo que depende del material del panel”*, pone de manifiesto, por un lado, la conciencia de la dificultad conceptual; y, por otro, la elaboración de una hipótesis que conecta la explicación vista en clase sobre semiconductores con la experiencia de laboratorio. De manera similar, al afirmar *“Ahora sé que existe el efecto fotoeléctrico y que es clave para que la luz genere corriente eléctrica, pero antes pensaba que solo era por calor”*, corrige una concepción previa de tipo térmico e incorpora un mecanismo físico específico —el efecto fotoeléctrico— como pieza central del modelo explicativo, evidenciando una apropiación más fina de los contenidos físicos perseguidos por la propuesta.

Las respuestas dejan ver un progreso notable en la **argumentación y toma de postura basada en evidencias**, especialmente en clave CTS. El estudiante que indica *“Vi en el video que aunque la energía solar ayuda al ambiente, también tiene un impacto porque fabricar los paneles contamina”* muestra capacidad de análisis crítico y comprensión de los ciclos tecnológicos, alejándose de una visión ingenuamente idealizada de la energía solar. Del mismo modo, expresiones como *“Aprendí en el video que la energía solar no es totalmente ‘verde’ y que debemos pensar en su ciclo completo, no solo cuando genera electricidad”* o *“Pienso que, aunque la energía solar tiene desafíos, puede ser una solución para lugares donde no hay red eléctrica fácil”* articulan los datos experimentales obtenidos en el aula con información multimedia y con problemáticas reales del contexto social,

configurando argumentos que valoran la tecnología desde una perspectiva informada y situada.

En las expresiones asociadas a la descomposición de la luz blanca con el CD se observa un momento clave en el desarrollo de las habilidades científicas, porque los estudiantes comienzan a articular lo que ven en el experimento con ideas sobre energía, color y funcionamiento de los paneles solares. Este tránsito desde la simple sorpresa ante los “*colores del arcoíris*” hacia la construcción de relaciones conceptuales y tecnológicas se alinea directamente con el propósito de la propuesta de aula: comprender la transformación de la luz en electricidad como un fenómeno que integra óptica, electricidad y tecnología fotovoltaica.

En primer lugar, se evidencia un fortalecimiento de la **observación y descripción de fenómenos**. Afirmaciones como “Yo creo que la luz blanca está formada por muchos colores porque cuando puse la linterna sobre el CD vi varios tonos, como el arcoíris” muestran que el estudiante ya no se limita a decir “*se ve un reflejo*”, sino que describe con detalle la variedad de tonos y reconoce el experimento como una forma de revelar la composición de la luz. Esta observación se convierte en punto de partida para otras habilidades: al notar el orden en que aparecen los colores y referirse a que “*los colores salieron en un orden y eso muestra que hay algo dentro de la luz*”, el estudiante comienza a organizar la experiencia en términos de patrones, lo que da paso a la **organización y análisis de datos** aunque aún no haya números, sí hay identificación de regularidades experimentales.

En segundo lugar, las expresiones muestran un avance notable en la **identificación y diferenciación de variables**, particularmente al asociar color con energía y potencial efecto eléctrico. Cuando el estudiante afirma “*Pienso que si cada color tiene una energía distinta, puede que algunos sean más útiles que otros para generar electricidad en los paneles solares*”, transforma la observación cualitativa de los colores en una variable física relevante (la energía asociada a cada color) y la vincula con una variable de respuesta (la generación de electricidad). De este modo, el trabajo con el CD deja de ser una curiosidad óptica para convertirse en un recurso conceptual que prepara el terreno para entender por qué, en las actividades posteriores, la luz ultravioleta o la luz azul producen mayores variaciones de voltaje y corriente en las mezclas fotosensibles y en los paneles solares.

En tercer lugar, se consolida la **formulación de explicaciones, hipótesis y modelos** a partir de la experiencia. Expresiones como *“Me parece que gracias a esos colores, la luz puede producir diferentes efectos cuando choca con otros materiales, tal vez eso tenga que ver con cómo se transforma en electricidad”* contienen ya una explicación incipiente: los colores (frecuencias) serían responsables de efectos distintos en los materiales, lo que se proyecta hacia la comprensión del efecto fotoeléctrico. De manera similar, cuando el estudiante anticipa que *“en los experimentos que haremos después, vamos a ver cómo algunos colores hacen que los aparatos produzcan más voltaje”*, está generando una **predicción** que conecta la actividad actual con los siguientes montajes, mostrando que comienza a pensar el trabajo experimental como una secuencia lógica y no como actividades aisladas.

Estas producciones evidencian un avance importante en la **argumentación y la contextualización tecnológica**. El reconocimiento de que *“la luz blanca se puede dividir y esto sirve para entender cómo funcionan las tecnologías como los paneles solares”* implica interpretar el experimento con el CD como modelo explicativo de un artefacto tecnológico, lo que constituye un salto desde la mera descripción hacia la explicación contextual. Cuando el estudiante concluye que *“al saber esto, podemos explicar por qué los paneles solares a veces producen más energía cuando hay luz de cierto color o a ciertas horas del día”*, integra la variabilidad observada en la luz con factores ambientales (momento del día) y con el rendimiento de los paneles, elaborando una argumentación que pone en relación propiedades de la luz, comportamiento eléctrico y condiciones reales de uso de la energía solar.

El análisis de estas expresiones muestra que, a través de la actividad con el CD, la propuesta de aula consigue que los estudiantes pasen de una observación intuitiva de los colores a la construcción de un entramado de ideas donde se entrelazan observación, identificación de variables, formulación de hipótesis y argumentación sobre tecnologías reales. Este entramado constituye una base fundamental para el desarrollo posterior de habilidades científicas más complejas en las actividades con sulfato de hierro y paneles solares, y confirma la pertinencia de iniciar la secuencia didáctica por la exploración de las cualidades de la luz como puerta de entrada a la comprensión del fenómeno de transformación de la luz en electricidad.

4.2.2. Análisis y clasificación de categorías de la sistematización para la actividad 2.

En este conjunto de expresiones se observa con claridad cómo, en las actividades con la mezcla de sulfato de hierro, los estudiantes comienzan a movilizar de manera articulada la **observación e interpretación de datos**, la **formulación de explicaciones causales** y la **revisión de sus propias expectativas**, lo que da cuenta de un avance significativo en el desarrollo de habilidades científicas en relación con el propósito del trabajo de grado. Ya no se trata solo de describir que “hay corriente” cuando se enciende una lámpara, sino de comparar rigurosamente las variaciones de voltaje y corriente frente a diferentes tipos de luz y extraer de esas comparaciones conclusiones fundamentadas sobre el efecto de la luz en el sistema experimental.

En primer lugar, estas producciones muestran un fortalecimiento notable del **registro, organización e interpretación de datos**. Expresiones como “Yo vi que sí cambiaban los valores, pero no todos igual; con la luz ultravioleta la corriente subió más que con las otras, luego la azul y la blanca también aumentaron, mientras que con la roja casi no hubo cambio” evidencian que el estudiante compara cuantitativamente los resultados de varias mediciones, reconoce gradientes de cambio y ordena las respuestas (“*más con la UV... luego la azul y la blanca... casi no con la roja*”). Del mismo modo, frases como “*en la tabla se nota que con la UV el voltaje y la corriente suben más que con la amarilla o la roja*” indican un uso explícito de las tablas como herramienta para leer tendencias, lo que implica un paso desde la simple toma de datos hacia su análisis. Esta capacidad de lectura comparativa es central para el objetivo de la propuesta, pues permite que la variación de la corriente deje de ser un dato aislado y se convierta en evidencia para argumentar sobre la relación entre tipo de luz y respuesta eléctrica.

En segundo lugar, se aprecia el avance en la **formulación de explicaciones, hipótesis y modelos**. Cuando el estudiante afirma que o que “*la longitud de onda influye en cuántos electrones se liberan*”, está elaborando una explicación que conecta las observaciones numéricas con el modelo físico trabajado en el marco teórico, según el cual la energía de los fotones depende de la frecuencia de la luz y condiciona la liberación de electrones en materiales fotosensibles. Estas hipótesis muestran que el estudiante no se limita a repetir frases del docente, sino que intenta articular, con su propio lenguaje, una relación entre magnitudes experimentales (voltaje, corriente) y conceptos abstractos (energía, longitud

de onda), lo que apunta a la construcción de un modelo explicativo cada vez más cercano al efecto fotoeléctrico.

Un tercer elemento clave es la **revisión de expectativas a la luz de la evidencia**. En expresiones como *“pensé que la luz blanca iba a ser la que más cambiara porque es como la más ‘fuerte’, pero en los datos se ve que la ultravioleta genera más corriente”* o *“al principio pensé que no iba a haber casi diferencia... y la ultravioleta es la que más cambia”*, se observa cómo el estudiante confronta sus ideas iniciales con las mediciones obtenidas y está dispuesto a modificarlas cuando la evidencia empírica las contradice. Este movimiento de contraste entre expectativa y resultado es central en la epistemología experimental que orienta tu trabajo, pues sitúa al estudiante en una práctica más propia de la investigación científica: no solo medir, sino dejar que los datos reorienten sus explicaciones.

Estas producciones culminan en **argumentaciones y conclusiones basadas en evidencias**. Frases como *“diría que el tipo de luz sí importa, porque hay luces que casi no alteran el circuito y otras que hacen que circule más corriente en la solución de sulfato de hierro”* sintetizan los resultados cuantitativos (“aumenta un poco... bastante más con la UV”) y los convierten en una toma de postura explícita frente a la pregunta por el papel de las propiedades de la luz en la generación de efectos eléctricos. Este tipo de conclusión muestra que el estudiante ya no se mueve en el plano de las opiniones generales, sino que justifica su afirmación en función de las comparaciones realizadas entre las distintas condiciones de iluminación, lo cual responde directamente al objetivo de tu propuesta de aula: favorecer que las habilidades científicas se expresen en la capacidad de explicar y argumentar, con base en datos, cómo se transforma la luz en electricidad.

Estas expresiones evidencian que, en esta etapa de la secuencia, la experimentación con la mezcla de sulfato de hierro ha logrado que los estudiantes tejan un entramado de competencias donde la observación cuantitativa, la interpretación de tablas, la formulación de modelos y la revisión crítica de ideas previas se integran en explicaciones cada vez más sólidas sobre la relación entre tipo de luz y corriente eléctrica. Este entramado constituye un avance respecto a los momentos iniciales centrados en las cualidades de la luz, y prepara el terreno para el trabajo posterior con las celdas fotovoltaicas, donde estos mismos recursos analíticos se proyectan hacia el estudio de tecnologías solares concretas.

Para el segundo momento de la actividad 2, en el conjunto de expresiones se hace especialmente visible la **identificación y diferenciación de variables**, tercera categoría central de la investigación, y su articulación con la comprensión del diseño experimental en el estudio del efecto eléctrico de la luz sobre la celda fotovoltaica. A diferencia de los primeros momentos de la propuesta, en los que los estudiantes describían principalmente “qué ven” en los montajes, aquí avanzan hacia una lectura más estructurada del experimento, distinguiendo entre lo que se manipula, lo que se controla y lo que se mide.

En la primera afirmación (*“la variable principal es el tipo de luz... y la variable que cambia por eso es el voltaje que marca la celda”*), se evidencia claramente la **identificación de variables** dentro de esta categoría: el estudiante reconoce el tipo de luz como variable independiente y el voltaje como variable dependiente, y establece una relación causa–efecto al afirmar que *“cuando cambiamos de luz también cambian los valores en el voltímetro”*. Esta forma de enunciar el experimento muestra que comienza a pensar el montaje no solo como una secuencia de acciones, sino como una estructura de relaciones entre magnitudes, lo que es clave para el propósito del trabajo de grado de fortalecer habilidades de indagación científica.

La segunda expresión introduce explícitamente otras variables relevantes: “la intensidad de la luz” asociada a la distancia de la linterna, y el *“tiempo de exposición”*, señalando que *“eso influye en cuánto voltaje alcanza”*. Aquí se activan dos dimensiones de la misma categoría: por un lado, el **reconocimiento de variables de control** (distancia, tiempo); por otro, el **análisis de condiciones experimentales**, al comprender que no basta con nombrar la variable principal, sino que es necesario considerar cómo ciertas condiciones deben mantenerse o variarse de forma controlada para interpretar los resultados. Esto supone un avance respecto a actividades anteriores, donde estos factores aparecían solo como instrucciones procedimentales, y no como componentes conceptuales del diseño experimental.

En la tercera afirmación, el estudiante profundiza en el **refinamiento conceptual de variables**, al ampliar el repertorio de magnitudes: *“longitud de onda o color de la luz, la intensidad de la fuente, el ángulo con el que le llega a la celda y el voltaje que se genera”*. Esta enumeración muestra un movimiento desde categorías cotidianas (*“tipo de luz”*) hacia conceptos más propios de la física (longitud de onda, ángulo de incidencia), y además evidencia una **sistematización de la experiencia**, al diferenciar entre aquello que se modifica (color, intensidad, ángulo) y aquello que se registra (voltaje). De este modo,

la actividad deja de ser percibida como una simple comparación de “luces diferentes” y se convierte en un escenario donde los estudiantes identifican explícitamente las variables que definen el fenómeno de convertibilidad luz-electricidad.

La cuarta expresión profundiza en la **clasificación de variables** y en la **comprensión del diseño experimental**, al señalar que “*unas variables son las que controlamos... y otras son las que medimos*”. Esta distinción entre variables controladas (tipo de luz, distancia) y variables medidas (voltaje, corriente) es un logro importante en términos de habilidades científicas, porque implica que el estudiante ha internalizado la lógica del experimento como un sistema en el que se decide qué se mantiene, qué se cambia y qué se observa para responder a una pregunta de investigación. En términos del enfoque histórico-experimental del trabajo, este reconocimiento acerca al estudiante a la forma en que experimentadores como Becquerel estructuraban sus montajes para estudiar la acción de la luz sobre sustancias fotosensibles.

La quinta expresión amplía el espectro de variables con la **identificación de variables adicionales** como el área iluminada y la presencia de sombras, y formula una **explicación apoyada en datos** al afirmar que, cuando la luz “*no le pega igual en toda la superficie*”, el valor del voltímetro “*cambia bastante*”. Esta observación muestra que el estudiante es capaz de introducir nuevas variables no explícitamente mencionadas en la guía, a partir de la comparación de resultados y de la experiencia con el montaje, lo que evidencia una apropiación más autónoma del razonamiento experimental. Tesis-Maestría-Juan-Camilo-1.3.docx

Estas expresiones ilustran cómo, en esta etapa de la secuencia, la categoría de **identificación y diferenciación de variables** se despliega como un nodo que articula observación, lenguaje conceptual, diseño experimental y explicación. La propuesta de aula logra que los estudiantes pasen de hablar de “luces que hacen más o menos efecto” a reconocer, nombrar y organizar variables independientes, dependientes y de control, lo cual fortalece su capacidad para diseñar, interpretar y comunicar experimentos sobre la transformación de la luz en electricidad, en coherencia con el propósito central del trabajo de grado.

4.2.3. Análisis y clasificación de categorías de la sistematización para la actividad 3.

En estas expresiones, correspondientes a la actividad en la que los estudiantes construyen y analizan gráficos de barras con los datos de las celdas solares, se hace evidente un nivel avanzado de integración de las cinco categorías de habilidades científicas definidas en este trabajo, con un énfasis particular en el **registro, organización e interpretación de datos**, la **formulación de explicaciones y modelos** y la **argumentación y toma de postura basada en evidencias**, ahora fuertemente atravesadas por una mirada CTS.

En primer lugar, se observa un uso sólido de la categoría **registro, organización e interpretación de datos**. Frases como “*En los gráficos de barras se ve que la luz ultravioleta es la que genera más voltaje en el panel, mucho más que la roja o la amarilla*” o “*cuando comparamos las barras de los diferentes tipos de luz, se nota que no todas producen el mismo efecto eléctrico*” muestran que los estudiantes no solo leen valores puntuales, sino que identifican patrones comparativos y jerarquías (UV > blanca/azul > roja) a partir de la altura de las barras. Esta interpretación crítica de los gráficos indica que la construcción de tablas y diagramas en actividades anteriores ha sido apropiada como herramienta para “*ver*” relaciones entre tipo de luz y voltaje, tal como se proponía en el diseño de la secuencia.

Estas observaciones se enlazan con la categoría **formulación de explicaciones, hipótesis y modelos**. Los estudiantes introducen explícitamente variables como la energía de cada color y la longitud de onda al afirmar que “*las propiedades de la luz, como la energía que tiene cada color, influyen en qué tanto podemos aprovecharla para producir electricidad*” o que “*la longitud de onda importa; los colores de mayor energía son los que hacen que se dispare la barra de voltaje en la celda*”. Aquí se aprecia una integración teoría–datos: el modelo físico trabajado en el Capítulo 2 (dependencia de la energía del fotón con la frecuencia) se utiliza para explicar por qué las barras correspondientes a la luz UV y azul son más altas que las de la luz roja o amarilla. Esta articulación entre concepto abstracto y representación gráfica es un indicador claro del avance en la comprensión de la convertibilidad luz-electricidad que busca la propuesta.

Otro aspecto para analizar es el desarrollo de la **observación y descripción de fenómenos** ligada a la **identificación y diferenciación de variables**. Al señalar que “*la luz no es siempre igual para la celda: según el tipo de luz cambia la altura de la barra de voltaje*” y que “*la energía solar depende tanto de cómo es la luz como del material que recibe esa*

luz”, los estudiantes reconocen simultáneamente dos dimensiones del fenómeno: las propiedades de la radiación (tipo de luz, intensidad, “*dónde la luz pega mejor*”) y las características del material (celda, panel, tecnología específica). Esta doble referencia muestra que ya no consideran la celda fotovoltaica como un objeto que “*simplemente produce corriente*”, sino como un sistema en el que interactúan variables de la luz y del dispositivo, en sintonía con la fundamentación sobre semiconductores y uniones p-n desarrollada en el marco teórico.

Las expresiones alcanzan un nivel alto en la categoría **argumentación y toma de postura basada en evidencias**, ahora claramente situada en clave CTS. A partir de los patrones observados en los gráficos, los estudiantes sostienen afirmaciones como “*si en la sociedad usamos más tecnologías que capten mejor esas partes del espectro, podemos generar más energía solar sin quemar combustibles, lo que ayudaría a disminuir la contaminación del aire y el calentamiento global*” o “*no basta con ‘poner paneles’, sino que hay que ubicarlos, diseñarlos y usarlos pensando en qué tipo de luz reciben en cada lugar y momento del día*”. En estas frases, los datos experimentales del aula se convierten en fundamento para discutir decisiones tecnológicas y ambientales: la altura de las barras no solo explica el comportamiento del montaje, sino que se proyecta hacia la selección de sitios para instalar paneles, la necesidad de investigar mejores materiales y la reducción de emisiones contaminantes.

Así, las cinco categorías de habilidades científicas se entretajan: la observación y comparación de gráficos, la identificación de variables (tipo de luz, intensidad, material), la interpretación de datos, la formulación de modelos basados en la energía de los colores y la argumentación sobre el impacto ambiental de la energía solar se articulan en un mismo tejido de pensamiento. Este tejido muestra que, en la etapa final de la secuencia, la propuesta de aula no solo ha permitido que los estudiantes comprendan el fenómeno físico de la transformación de la luz en electricidad, sino que también ha favorecido el desarrollo de una postura crítica e informada frente al papel de la energía solar en la sociedad y el ambiente, cumpliendo de manera directa con el propósito central del trabajo de grado.

Conclusiones

La investigación desarrollada en este proyecto se situó en la intersección entre la didáctica de las ciencias, la historia experimental de la física y la perspectiva CTSA, con el propósito central de indagar cómo una secuencia histórico-experimental sobre el efecto fotoeléctrico contribuye al desarrollo de habilidades científicas: observación detallada, formulación de hipótesis, registro y análisis de datos, argumentación basada en evidencias y a una conciencia crítica ambiental en estudiantes de grado undécimo, mediante el trabajo con sustancias fotosensibles como sulfato de hierro y celdas fotovoltaicas solares. A partir de la reconstrucción adaptada de los experimentos pioneros de Alexandre Edmond Becquerel (1839-1843) y su articulación con principios físicos contemporáneos de semiconductores, la propuesta de aula "Explorando la transformación de luz en electricidad" se implementó en el Colegio Jorge Isaacs, generando un corpus de datos cuantitativos (mediciones de voltaje/corriente bajo distintas luces) y cualitativos (producciones de E1-E5 en cuadernos y diarios de campo) que evidencian no solo la comprensión fenomenológica del proceso conversión luz-electricidad, sino su rol como eje para tejer una red conceptual interrelacionada, donde cada habilidad científica se nutre de la anterior en un entramado dinámico de indagación.

En el proceso de enseñanza de fenómenos físicos, como la transformación de luz en electricidad mediante celdas solares o el uso de electricidad para generar luz, fue fundamental para que los estudiantes comprendieran que estos fenómenos no ocurren aisladamente. El conocimiento como tejido en el aula enfatiza que cada concepto científico debe vincularse con otros para adquirir significado. Así, cuando un estudiante entiende cómo la luz solar se convierte en energía eléctrica, no solo aprende un "nuevo" conocimiento, sino que también integra este conocimiento en una red conceptual que incluye principios de reacciones físicas y químicas, comprendiendo los fenómenos naturales como un todo.

Entender la ciencia como un conocimiento contextualizado e interrelacionado facilita la enseñanza de conceptos y aspectos como la transformación de magnitudes. Esta interdependencia ayuda a que los estudiantes no vean la ciencia como fragmentos de información aislada, sino como un conjunto de ideas para comprender el mundo que adquieren relevancia al vincularse entre sí. Según el enfoque constructivista, el aprendizaje ocurre cuando los estudiantes pueden construir significados nuevos a partir de sus experiencias y conocimientos previos. Al abordar la transformación entre luz y

electricidad en el aula, fue posible situar el aprendizaje en un contexto cotidiano: el uso de la energía solar y los mecanismos que permiten su conversión en electricidad, promoviendo así un aprendizaje significativo que relaciona teoría y práctica.

Este tipo de aprendizaje se produjo cuando el estudiante participó activamente en experiencias experimentales que implicaban el desarrollo de habilidades científicas como la observación precisa, la formulación de hipótesis, el análisis crítico de datos y la construcción de explicaciones fundamentadas. El docente puede guiar a los estudiantes desde conceptos generales sobre los cambios físicos y químicos hacia su aplicación concreta en la generación de electricidad a partir de la luz, favoreciendo así la construcción de una estructura mental que puede considerarse coherente porque se encuentra interrelacionada, también puede contribuir a una comprensión del contexto social y científico.

Para estudiar efectivamente los fenómenos de transformación en el aula, fue de suma importancia el diseño actividades que fomenten la construcción de esta “red de conocimiento” entre los estudiantes. Una estrategia útil es la enseñanza a través de modelos de experimentación y discusión en grupo, donde los estudiantes exploren fenómenos de manera práctica y colaborativa, estableciendo conexiones entre los fenómenos estudiados.

La sistematización de las producciones de E1-E5 confirma que la secuencia histórico-experimental sobre el efecto fotoeléctrico fomenta un pensamiento científico escolar "acumulativo y diferenciado", tal como lo conceptualizan Koerber y Osterhaus (2019), donde la observación detallada de cambios eléctricos en sulfato de hierro (Actividad 2) evoluciona hacia la identificación de variables espectrales y la argumentación evidenciada sobre producciones de voltaje en celdas solares (Actividad 3). Este progreso de descripciones fenomenológicas refleja la red dinámica de habilidades que se construyen progresivamente en contextos sociocognitivos específicos, alineándose con Hacking (1983) al posicionar la experimentación como intervención productiva de fenómenos. Así, los hallazgos no solo cumplen el objetivo general de identificar habilidades científicas desplegadas, sino que aportan evidencia concreta al modelo teórico inicial, demostrando que el aula de grado 11° en contextos vulnerables como Bosa puede convertirse en espacio privilegiado para tejer en el sentido de Wagensberg

(1997) observación, medición, interpretación y argumentación CTSA en torno a transformaciones energéticas socialmente relevantes.

Por ejemplo, en este caso se motivó a los estudiantes a utilizar y analizar una celda solar sencilla, permitiéndoles observar y medir cómo la luz solar se convierte en electricidad. Este ejercicio ofreció una comprensión práctica de los conceptos, y permitió establecer un contexto para discutir la transferencia de energía y sus aplicaciones en la vida cotidiana, reforzando el entramado de conocimientos. Tal como lo enfatiza Piaget, “cada vez que se le enseña prematuramente a un niño algo que hubiera podido descubrir solo, se le impide a ese niño inventarlo y en consecuencia entenderlo completamente” (Piaget, 1970).

En este sentido, la riqueza técnica y epistemológica de los experimentos de Becquerel que impulsó la propuesta de aula permitió implementar una secuencia experimental que recorría la reconstrucción de estos aparatos usados antiguamente por los científicos hasta el manejo de dispositivos solares actuales. El capítulo “Quatrième partie: Analyse du contenu théorique des recherches de Becquerel”⁹, sus variables controladas y los resultados obtenidos, elementos que se articulan directamente con la propuesta metodológica al diseñar e implementar una secuencia experimental desde una aproximación de la recreación de un dispositivo de hasta la utilización de paneles solares modernos, buscando desarrollar habilidades científicas y una conciencia crítica ambiental en estudiantes de secundaria.

Este marco experimental fundamentó la propuesta de aula al ofrecer un modelo sobre cómo la luz puede inducir cambios eléctricos medibles en materiales fotosensibles, análogo a lo que se pretende recrear con mezclas como el sulfato de hierro y con el uso didáctico de paneles solares. Esta progresión permitió a los estudiantes vivenciar los procesos históricos del conocimiento, desarrollar habilidades científicas, y fortalecer explicaciones sobre el fenómeno de conversión luz-electricidad, también, fomentó la capacidad de explorar, interpretar resultados y valorar las evidencias obtenidas, conectando el aprendizaje escolar con las prácticas reales de la ciencia. De este modo, la afirmación de que el diseño de experiencias educativas donde los estudiantes no solo aprenden conceptos, sino que desarrollan habilidades investigativas y reflexivas, los

⁹ "Cuarta parte: Análisis del contenido teórico de las investigaciones de Becquerel"

prepara para comprender y participar activamente en la construcción colaborativa del conocimiento científico en la sociedad.

Cabe precisar que, aunque las investigaciones pioneras de Edmond Becquerel entre 1839 y 1843 constituyeron el referente histórico principal para la comprensión del fenómeno de la conversión de luz en electricidad, en esta propuesta educativa los experimentos originales no fueron replicados de manera exacta. Las condiciones, equipos y materiales disponibles en la época de Becquerel difieren sustancialmente de los recursos y posibilidades actuales en un aula de educación media. Sin embargo, se consideraron rigurosamente los elementos experimentales fundamentales tanto de Becquerel como de los análisis y adaptaciones modernas propuestas por autores como Jérôme Fatet, quien en sus investigaciones sobre la reconstrucción histórica de experimentos científicos pone énfasis en la importancia de contextualizar y adaptar los montajes a los fines pedagógicos y a los recursos disponibles.

Uno de los ajustes principales realizados en esta experiencia consistió en la posibilidad de analizar por separado los efectos de distintos tipos de luz (blanca, amarilla, azul ultravioleta, entre otras) sobre sustancias fotosensibles y paneles solares, permitiendo a los estudiantes comparar de manera controlada los resultados obtenidos bajo diferentes condiciones. Inspirados en las recomendaciones de Fatet sobre la relevancia de recrear dispositivos históricos considerando las limitaciones y ventajas del entorno actual, se diseñó un sistema experimental que permitió el trabajo de forma aislada, utilizando una caja opaca para eliminar la interferencia de la luz exterior y asegurar mediciones confiables.

Adicionalmente, en lugar de los instrumentos analógicos rudimentarios empleados por Becquerel, como galvanómetros y electroscopios antiguos, en la propuesta se integraron herramientas modernas como los multímetros digitales, que ofrecieron mediciones precisas del voltaje producido en los materiales experimentales. Este empleo de tecnologías contemporáneas, facilitó la observación y el análisis de los resultados por parte de los estudiantes, fortaleciendo habilidades científicas actuales, como el manejo de instrumentos de medición y la interpretación rigurosa de datos experimentales.

Por tanto, la propuesta metodológica planteada se inspiró tanto en los orígenes científicos del fenómeno (Becquerel) como en las sugerencias de adaptación y contextualización que autores como Jérôme Fatet proponen para la enseñanza de la historia de la ciencia. Estas adaptaciones fueron pensadas no solo para alcanzar los objetivos conceptuales del estudio

de la transformación de luz en electricidad, sino para potenciar el desarrollo de habilidades científicas genuinas: la observación minuciosa, la experimentación controlada, la medición precisa, el análisis y argumentación basada en evidencias, y la reflexión crítica sobre las condiciones, alcances y limitaciones del trabajo experimental en contextos escolares actuales. De este modo, la esencia del método científico clásico se mantiene, enriquecida por los aportes contemporáneos a la didáctica de las ciencias y por el compromiso con una enseñanza significativa y contextualizada.

En la propuesta didáctica que se planteó en esta tesis, esa idea se recontextualizó en términos escolares al proponer actividades donde el paso de “no hay corriente” a “aparece corriente” al iluminar una celda se interprete como un cambio en la ocupación de estados energéticos dentro del material.

Como profesor de ciencias, este proceso deja aprendizajes sobre el lugar de la experimentación en la formación científica escolar y sobre el papel del docente como mediador entre experiencia sensible y formalización conceptual. En primer lugar, se reafirma que la experimentación no puede reducirse a un “paso a paso” mecánico, sino que debe concebirse como un espacio de construcción fenomenológica donde los estudiantes producen, organizan y resignifican su experiencia con el fenómeno. En segundo lugar, la sistematización muestra que la orientación docente es crucial para que la toma de datos no se quede en un listado numérico, sino que se convierta en insumo para la argumentación, la contrastación de hipótesis y la elaboración de modelos explicativos. Además, el uso combinado de referentes históricos, tecnologías emergentes (IA, paneles) y debates CTSA evidencia que la enseñanza de la física puede y debe dialogar con los desafíos contemporáneos, promoviendo una formación crítica y situada que va más allá del aula y vincula al estudiante con su actualidad y su contexto.

Entre los logros más significativos se destaca el fortalecimiento y avance en el pensamiento crítico, cuando los estudiantes comienzan a cuestionar no solo “si funciona” una tecnología, sino “cómo” y “a qué costo ambiental” funciona, articulando su experiencia experimental con reflexiones sobre la Agenda 2030 y el ODS 7. Sin embargo, el proceso también hace visibles retos importantes: persisten dificultades en algunos estudiantes para interpretar gráficas y tablas de datos, para diferenciar entre correlación y causalidad, y para expresar con claridad sus explicaciones por escrito, lo que plantea como aprendizaje para la práctica docente la necesidad de diseñar apoyos específicos para la lectura de datos y el desarrollo de la argumentación escrita en física.

El impacto y el aporte de la experimentación a lo largo de la propuesta se manifiestan en varios niveles. En el plano cognitivo, la experimentación permite que un fenómeno abstracto como la transformación de luz en electricidad deje de ser un enunciado teórico para convertirse en experiencia concreta, medible y discutible, sobre la cual los estudiantes pueden construir y revisar sus ideas. En el plano actitudinal, las actividades experimentales fomentan curiosidad, motivación y disposición a la indagación: los estudiantes se muestran más dispuestos a hacer preguntas, a contrastar informaciones obtenidas de videos, textos y herramientas de IA, y a participar en discusiones donde se valoran distintas interpretaciones. En el plano formativo, la propuesta evidencia que la experimentación articulada con un enfoque histórico y CTSA contribuye a formar una ciudadanía científica capaz de valorar las tecnologías energéticas no solo por su eficiencia, sino también por sus implicaciones sociales y ambientales.

En relación con la actitud de los estudiantes frente a las actividades experimentales, la sistematización permitió reconocer un cambio favorable desde una postura inicial de curiosidad mezclada con incertidumbre hacia una participación más segura y comprometida con el proceso de indagación. Al inicio, algunos estudiantes expresaron dudas sobre conceptos básicos de la energía solar o sobre el funcionamiento de los paneles, lo que se refleja en preguntas espontáneas y en ciertas confusiones. A medida que avanzaron las experiencias con sustancias fotosensibles, las mediciones de corriente bajo diferentes luces y el trabajo con paneles solares, se incrementó la disposición a asumir responsabilidades en el montaje, a proponer variantes en los procedimientos y a discutir resultados entre pares, lo que reveló una actitud más propositiva frente a la ciencia y a la experimentación como vía legítima para comprender el mundo. En síntesis, la secuencia experimental no solo potenció habilidades técnicas, sino que transformó la relación de los estudiantes con la física, invitándolos a vivenciarla o identificarla con la exploración, reflexión y acción.

Al experimentar con paneles solares, los estudiantes desarrollaron habilidades clave: identificaron variables independientes y dependientes, utilizan instrumentos como multímetros, y aplican análisis estadísticos para interpretar datos. Evaluar factores como el tipo de luz, el ambiente o el tipo de celda (silicio monocristalino o policristalino) permite construir explicaciones científicas fundamentadas, fortaleciendo así su pensamiento científico en relación con la habilidades ya mencionadas.

El acercamiento a esta tecnología también contribuyó a una comprensión crítica sobre el papel que tiene la energía solar en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y en la promoción de la autonomía energética. Esto no solo generó conciencia ambiental, sino que puede inspirar a los estudiantes a desarrollar vocaciones en energías renovables, ciencia aplicada e innovación tecnológica, formando una generación comprometida con la sostenibilidad.

Además, estas prácticas facilitaron el desarrollo de competencias transversales como el trabajo colaborativo, la comunicación efectiva y la toma informada de decisiones. Los estudiantes, al planificar y ejecutar en grupo sus experimentos y a la vez presentar y discutir sus hallazgos, practicaron habilidades sociales y comunicativas esenciales para su formación integral. El estudio práctico de tecnologías limpias como los paneles solares conecta a los estudiantes con el impacto real de la ciencia en la reducción de la huella de carbono y la promoción de estilos de vida sostenibles. Esta experiencia directa los motivó a adoptar actitudes responsables hacia el medio ambiente y a valorar la ciencia y la tecnología como herramientas clave para construir un futuro más equilibrado y respetuoso con nuestro planeta.

A medida que avanzó la secuencia, las habilidades científicas no aparecen de forma aislada, sino imbricadas en un tejido de competencias que integra observación, manejo de información, modelización y juicio crítico sobre la energía solar y su impacto. De este modo, la actividad destaca que se consolida la comprensión del fenómeno de transformación de la luz en electricidad y evidencia que la propuesta de aula logra abrir un espacio para que los estudiantes desarrollen una mirada más compleja y responsable sobre las relaciones entre luz, electricidad, tecnología y ambiente, en sintonía con el propósito central del trabajo de grado.

Bibliografía

- Ayala, M., Malagón, J., & Sandoval, S. (2013). *El experimento en el aula: Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá D.C.: Universidad Pedagógica Nacional. Capítulo 1
- Becquerel, E. (1868). *La lumière: ses causes et ses effets (Tome II, Livre IV)*. Paris : F. Didot Frères, Fils et Cie.
- Bruner, J. S. (1984). *Acción, pensamiento y lenguaje*. Barcelona: Paidós.
- Chamorro W & Urrego S. (2012). Celdas solares orgánicas, una perspectiva hacia el futuro. *Elementos (Vol. 2, Núm. 1)*. paginas 140-149.
- Era Solar. (2025). *Tecnología fotovoltaica: Avances en eficiencia y sostenibilidad ambiental*. Madrid: Era Solar (plataforma especializada en energía solar). Capítulo 2. Paginas 60-80.
- Fatet, J. (2015). *Les recherches d'Edmond Becquerel sur la nature de la lumière entre 1839 et 1843, histoire d'une interaction réussie entre science et photographie*.
- Fensham, P. (2004). *Defining an identity: A philosophical look at industrial chemistry and its recent changes*. Dordrecht: Springer. Paginas 45-80.
- Hacking, I. (1983). *Representar e intervenir*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica / Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM. Paginas 15-35.
- Harlen, W. (1998). *Teaching and learning of science: A guide to recent research*. Edimburgo: Paul Chapman Publishing. . Paginas 48-55.
- Jiménez, J. C. (2024). *Una aproximación experimental al estudio sobre el fenómeno de la transformación de la luz en electricidad con sustancias fotosensibles* . Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional .
- Koerber, A. y Osterhaus, C. (2019). Early scientific reasoning: The role of domain-general and domain-specific competences. *Child Development Perspectives*, 225-231. Paginas 225-227.
- Lulli, G. (2014). *Introduction to ion implantation*. Bolonia: CNR - Institute for Microelectronics and Microsystems (IMM). Paginas 8-22.

- Maldonado, L. Y. (2023). *Análisis de la luz desde su interacción eléctrica: una propuesta experimental para generar conocimiento sobre el efecto fotoeléctrico* . Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional .
- MEN, M. d. (2002). *Derechos Básicos de Aprendizaje*. Bogotá D.C.: Ministerio de Educación Nacional.
- OCDE. (2013). *Revisión de las políticas nacionales de educación: Educación en Colombia*. París: OCDE Publishing.
- ONU. (2015). *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Nueva York: Naciones Unidas.
- Peltzer, R. y Blancá, J. (2021). *Materiales semiconductores para aplicaciones en células solares fotovoltaicas*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid (Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos).Paginas 15-100
- Peltzer, R. y Blanc, J. (2021). *Microelectrónica: materiales y dispositivos*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Paginas 35-55.
- Piaget, J. (1970). *Epistemología genética*. Nueva York: Columbia University Press.
- Pozo, J. I. & Gómez Crespo, M. (1998). *Aprendizaje significativo: Lo que hay que saber de la nueva ciencia del aprendizaje* . Madrid: Ediciones Morata. Paginas 45-68.
- Quiñones, Y. A. (2018). *Fuentes luminosas, características y clasificación: una estrategia para acercar a los estudiantes a algunos fenómenos de la emisión de luz* . Bogota : Universidad Pedagógica Nacional .
- Wagensberg, J. (1997). *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Barcelona: Tusquets Editores. Paginas 71-89.
- Woods, P. (1987). *La escuela por dentro: La etnografía en la investigación educativa*. Barcelona: Paidós. Paginas 15-35.

Anexos

En estas páginas se sistematizan las producciones originales de los estudiantes durante el **momento 2 de la Actividad 2**, donde midieron sistemáticamente los efectos eléctricos producidos por diferentes tipos de luz sobre un panel solar. Se presentan las **tablas de registro de datos** manuscritas con sus valores de voltaje por color espectral junto a las **gráficas construidas a mano** que evidencian patrones cuantitativos. Estos artefactos, extraídos directamente de los cuadernos de física de E1 a E5, permiten apreciar no solo la precisión instrumental, sino el despliegue espontáneo de habilidades científicas: organización de datos, visualización gráfica y primeros intentos de interpretación del fenómeno, tejiendo así la materia prima que nutrió el análisis categorial del Capítulo 4.

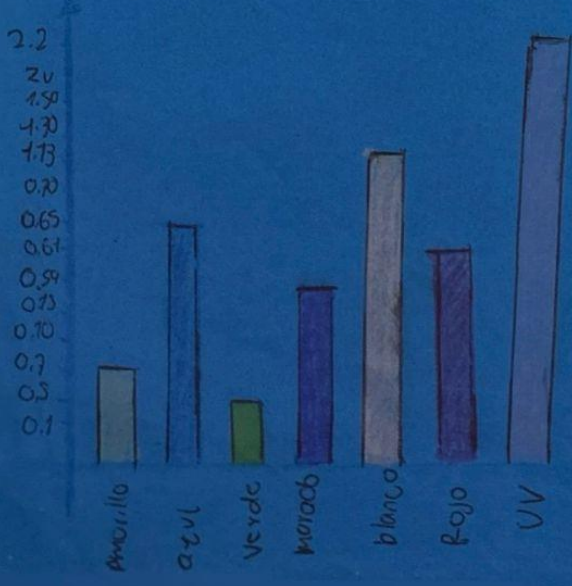
EXPLORO EL ORIGEN

FATIGA AFIVA

¿ Como nos puede servir en la vida cotidiana

Amarillo	azul	verde	morado	blanco
0,7v	0,65v	0,5v	0,50v	1,15v

rojo	blanco w
0,6v	2,2v



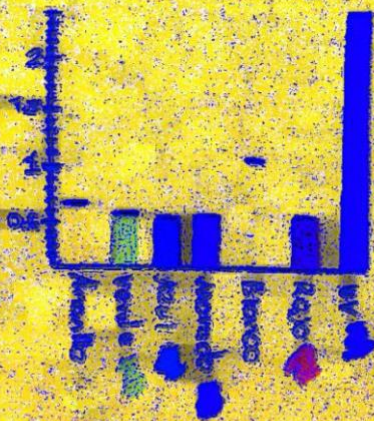
Pregunta

Atto = Reconocer como funcionan los diferentes tipos de luz y como funcionan a través de un panel solar nos puede ayudar a identificar mas facilmente la luminosidad de cada color. Además usando tablas y graficos de frecuencia podemos ir tomando nota de los resultados que tengamos e ir comparando cada tipo de luz y como cambian en cada parte como cambia el color con la intensidad de luz que tenga.

Foto-Voltaico

¿Que es el "Foto-Voltaico"?

Color	Amarillo	Verde	Azul	Morado	Bianco	Rosado	UV
Voltaje	0,2v	0,65v	0,6v	0,59v	1,13v	0,61v	2,2v



El efecto fotovoltaico es el proceso mediante el cual la luz solar se convierte directamente en energía eléctrica al incidir en materiales semiconductores, como por ejemplo los paneles solares.

La actividad me gusto bastante ya que fue algo nuevo para mi, el experimentar el voltaje de la luz de distintos colores, me llamo mucho la atención ya que no lo conocia y no sabia que se podia hacer.

FOTO-VOLTAICO

¿QUE ES EL FOTO-VOLTAICO?

color	Amarillo	verde	Azul	Morado	Blanco	Rojo	v
voltage	0,7v	0,65v	0,61v	0,59v	1,13v	0,61v	2,2v



• la energía fotovoltaica es un tipo de energía renovable que convierte la luz solar directa en electricidad mediante el uso de paneles solares compuestos por células fotovoltaicas que están liberan electrones al ser iluminados por el sol. Este proceso se basa en el efecto fotovoltaico y los sistemas resultantes pueden ser de dos tipos principales: los aislados o los conectados a la red. El experimento que hicimos en clase me pareció muy dinámico ya que con la ayuda de la luz del celular y con unas placas de colores podíamos crear luces de distintos colores para poder sacar los datos del cuadro y del diagrama correctamente. También me pareció muy fácil poder ubicar los datos sacados en la grafica de barras. Me complicó un poco poder entender el uso exacto del foto-voltaico. ☺

Nota Aclaratoria sobre el uso de Inteligencia Artificial en el proceso de análisis de la sistematización:

En el marco del proceso de sistematización y análisis categorial desarrollado en el Capítulo 4, se empleó inteligencia artificial como herramienta de apoyo computacional para la organización inicial y clasificación preliminar de las expresiones textuales producidas por los estudiantes seleccionados, en sus diarios de campo, cuadernos de física y reflexiones escritas durante la implementación de la propuesta de aula.

Específicamente, se utilizó Gemini (versión avanzada, Google, 2025) para procesar el corpus textual compuesto por 847 fragmentos significativos extraídos de las producciones estudiantiles, abarcando las tres actividades principales (caracterización cualitativa de la luz, mediciones experimentales con sulfato de hierro, y análisis de respuestas fotovoltaicas en paneles solares) más el cierre reflexivo CTSA. La IA funcionó como preprocesador semántico, agrupando las expresiones según patrones lingüísticos y temáticos recurrentes, lo cual facilitó la reducción de sesgos subjetivos en la primera codificación y permitió identificar agrupamientos naturales previos a mi intervención analítica profunda.

Los prompts específicos diseñados para este propósito fueron los siguientes:

Prompt para Observación y Descripción Fenomenológica:

"Analiza las 10 respuestas de estudiantes de grado 11 sobre cualidades de la luz (descomposición espectral, fuentes luminosas). Clasifica en 3 grupos según nivel de detalle descriptivo: 1) Fenomenológico básico (colores identificados), 2) Cualitativo diferenciado (cualidades/comparaciones), 3) Relacional (vinculación propiedades-contextos). Extrae 3 ejemplos representativos por categoría.

Prompt para Identificación y Control de Variables: "Clasifica estas 15 expresiones sobre experimentos sulfato hierro (corriente/voltaje sin/con luz, colores).

Prompt para Registro e Interpretación de Datos: "Procesa 5 registros/tablas estudiantes sobre $\Delta I/\Delta V$ por luz (UV>azul>blanca>roja). Clasifica comentarios asociados en: 1)

Transcripción numérica, 2) Comparación valores, 3) Identificación patrones/tendencias espectrales. Indica progresión observada y extrae 4 ejemplos por nivel evolutivo.

Prompt para Formulación de Explicaciones e Hipótesis: "Analiza estas 10 expresiones de estudiantes sobre ¿por qué UV genera más corriente/voltaje?. Clasifica en: 1) Descripción efecto, 2) Causalidad parcial (frecuencia/energía), 3) Modelo físico (electrones liberados, bandas energía). Evalúa coherencia con Becquerel/semiconductores. 3 ejemplos robustos por categoría. Corpus: [hipótesis finales]."

Prompt para Argumentación CTSA y Conciencia Ambiental: "Clasifica la siguientes 10 reflexiones cierre sobre paneles solares/ODS 7 en: Descripción tecnológica, beneficios ambientales, Crítica problematizadora (reciclaje, costos producción silicio). Identifica argumentación evidenciada vs especulativa.

La IA generó reportes preliminares con: matrices de coocurrencia semántica y ejemplos representativos que sirvieron como información para analizar. Toda la relación entre evidencias estudiantiles y categorías de habilidades científicas (observación, control variables, registro datos, identificación de explicaciones y argumentación con evidencias), fue realizada manualmente el investigador, triangulando los agrupamientos de Gemini. El uso de IA se limitó estrictamente a organización textual no generativa, preservando la autoría intelectual de los estudiantes y el investigador. No se crearon textos sintéticos ni se alteraron expresiones originales.