

Luz, ¿onda o partícula? Una propuesta didáctica para la enseñanza del efecto fotoeléctrico

Francisco Ivanildo de Sousa 

*Instituto de Educación Matemática y Científica (IEMCI), Universidad Federal de Pará.
Belém. Brasil. francisco.sousa@iemci.ufpa.br*

Terezinha Valim Oliver Gonçalves 

*Instituto de Educación Matemática y Científica (IEMCI), Universidad Federal de Pará.
Belém. Brasil. tvalim@ufpa.br*

Miguel Ángel Queiruga-Dios 

*Departamento de Didácticas Específicas, Área de Didáctica de las Ciencias
Experimentales, Universidad de Burgos. España. maqueiruga@ubu.es*

[Recibido: 27 mayo 2024, Revisado: 19 septiembre 2024, Aceptado: 17 marzo 2025]

Resumen: Este artículo presenta las etapas de desarrollo de una propuesta didáctica que tiene como objetivo aportar contribuciones a la enseñanza de la Física en un dominio epistemológico que enfatice la utilización de la Historia de la Ciencia, los contextos de producción del conocimiento, la participación del alumnado y la actuación del docente como problematizador y organizador de contextos de aprendizaje para compartir conocimiento. Las situaciones de aprendizaje plateadas tuvieron como propósito discutir la naturaleza dual de la luz desde un enfoque conceptual del efecto fotoeléctrico en una clase de educación secundaria. Las actividades propuestas se implementaron en seis sesiones de cincuenta minutos con las técnicas cooperativas *Jigsaw*, *Think-Pair-Share* y Cabezas Numeradas. La elección de estas técnicas, en consonancia con el aporte teórico del Aprendizaje Cooperativo, se sustenta en la consolidación de la cooperación como un enfoque que promueve prácticas activas de enseñanza, la creación de espacios de discusión e interacción entre estudiantes, la resolución de conflictos y la confrontación de ideas; aspectos fundamentales para la materialización de una concepción de enseñanza de la ciencia basada en la construcción del conocimiento.

Palabras clave: Enseñanza de la Física, Aprendizaje cooperativo, Efecto fotoeléctrico.

Light, wave, or particle? A proposal for a didactic sequence for the teaching of the Photoelectric Effect

Abstract: This article presents the development stages of a didactic sequence proposal that aims to provide contributions to the teaching of Physics in an epistemological domain that emphasizes the use of the History of Science, the contexts of knowledge production, student participation and, the teacher's performance as a problematizer and organizer of learning contexts to share knowledge. The purpose of the activities was to discuss the dual nature of light from a conceptual approach of the photoelectric effect in secondary education classes. The proposed activities were implemented in six fifty-minute sessions, using the cooperative methods *Jigsaw*, *Think-Pair-Share* and Numbered Heads. The choice of these methods in combination with the theoretical contribution of Cooperative Learning is justified by the consolidation of cooperation as an approach to foster active teaching practices, by promoting the creation of spaces for discussion and interaction among students, conflict resolution and confrontation of ideas; fundamental aspects for the materialization of a conception of science teaching based on the construction of knowledge.

Keywords: Physics teaching, Cooperative Learning, Photoelectric Effect.

Para citar este artículo: Sousa, F. I., Gonçalves, T. V. O. y Queiruga-Dios, M. A. (2025). Luz, ¿onda o partícula? Una propuesta didáctica para la enseñanza del Efecto Fotoeléctrico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 22(2), 2201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i2.2201

La enseñanza de las ciencias y la nueva cultura del aprendizaje

Desde la invención de la escritura por los sumerios, hace poco más de cinco mil años, hasta el surgimiento del texto digital a mediados del siglo pasado, la educación formal ha experimentado tres grandes revoluciones, todas vinculadas con las tecnologías dominantes de conservación y difusión de la palabra escrita (Pozo, 2016). La primera revolución surge de la necesidad de aprender la propia escritura y requirió de la escuela el organizar la instrucción para satisfacer una demanda contextual de aprendizaje (enseñar a leer y escribir a los futuros esribas) y nos legó una concepción de la enseñanza centrada en la repetición, la memorización y la reproducción del texto escrito, además de una comprensión del aprendizaje que se configuraba como la reproducción fiel y literal del objeto (Pozo, 2002; 2006).

La invención de la imprenta en el siglo XV y la consiguiente popularización del conocimiento a partir de la impresión del texto escrito proporcionó una nueva función epistemológica a la lectura, desde una lógica memorialista a una lectura crítica y analítica en la que el lector fue desafiado a establecer un diálogo continuo y sistemático con el autor y construir su propia comprensión del texto leído (Pozo, 2006). De la segunda revolución emergió una cultura del aprendizaje en la que aprender presuponía la construcción de significado sobre lo que se aprende y la transformación de lo que se aprende, pero sobre todo de quién se aprende (Pozo, 2002).

Finalmente, la tercera revolución, que ha comenzado hace poco más de medio siglo, resultado de la ascensión y democratización de las herramientas digitales de la información y comunicación, supone el inicio de una nueva cultura del aprendizaje cuyas demandas son generadas por una sociedad marcada por la fluidez de la información, la fugacidad del conocimiento y el imperativo de que sus ciudadanos necesitan aprender permanentemente (Pozo, 2002). En la nueva cultura del aprendizaje, el flujo informativo y la dinámica con que se genera y se difunde el conocimiento requiere de los aprendices habilidades que van más allá de la memorización, repetición y el aprendizaje como copia. Exige de ellos la capacidad de seleccionar, más que de copiar y repetir información; de analizar, más que de memorizar hechos y datos sin significado; y de dialogar con nuevos conceptos, más que de reproducirlos como conocimiento absoluto y verdadero (Pozo, 2002; 2006; Pozo y Gómez-Crespo, 2009).

A pesar de las demandas requeridas por la nueva cultura del aprendizaje, la enseñanza de la ciencia (en adelante, Física) en la mayoría de las escuelas brasileñas se basa, todavía, en el paradigma de la racionalidad técnica (Schön, 1982), asumiendo una perspectiva de transmisión de un conocimiento completo y acabado para que el alumnado lo reproduzca sin reflexionar sobre sus implicaciones éticas y prácticas y/o dialogar con él. La enseñanza de la Física desde esta perspectiva, la lógica positivista, se entrelaza con la concepción del conocimiento como una entidad objetiva, aislada de la realidad y accesible a la genialidad del científico.

Para la ciencia objetiva, el conocimiento está en la naturaleza, enterrado bajo la apariencia de la realidad, a la espera de que alguien lo desentierre (Pozo y Gómez-Crespo, 2009). La enseñanza-aprendizaje de la Física Moderna representa un reto particular. Conceptos irreconciliables desde la perspectiva de la Física Clásica, como es la dualidad onda corpúsculo, resultan complejos para el alumnado, que no encuentra un equivalente clásico de los conceptos y fenómenos asociados a la luz. Estos conceptos resultan alejados de su percepción cotidiana ya que no son ni ondas ni partículas en el sentido clásico (Escudero et al., 2016; Fernández et al., 2005; Solbes y Sinarcas, 2010). Así, los fenómenos ondulatorios clásicos resultan familiares para el alumnado, que vive inmerso en un mundo de fenómenos ondulatorios en los que los conceptos de reflexión, refracción, interferencias y disper-

sión pueden resultar intuitivos. Esta cotidianeidad facilita la construcción del conocimiento científico (Pozo y Gómez-Crespo, 2009), sin embargo, en el caso de la Física Moderna, es necesario recurrir a estrategias didácticas que permitan que el alumnado comprenda que determinados fenómenos, como el efecto fotoeléctrico y los espectros atómicos, no encuentran explicación desde la Física Clásica (Jones, 1991; Sinarcas y Solbes, 2013). En este contexto, resulta de especial relevancia comprender el efecto fotoeléctrico para la comprensión de la naturaleza corpuscular de la luz (McKagan et al., 2009).

Con vistas a una aproximación entre tales áreas de la Física, el propósito de este manuscrito es aportar contribuciones a la enseñanza de la Física en un dominio epistemológico que enfatice la utilización de la Historia de la Ciencia, los contextos de producción del conocimiento, la participación del alumnado y la actuación del docente como problematizador y organizador de contextos de aprendizaje para compartir conocimiento. Ante lo expuesto, desarrollamos y aplicamos una propuesta didáctica con el fin de abordar cualitativamente la naturaleza dual de la luz para una comprensión conceptual del Efecto Fotoeléctrico. En este sentido, dos aspectos fueron preponderantes: aportar contribuciones para la superación de la concepción de enseñanza basada en la comunicación vertical, unilateral y unidireccional (docente-estudiante); y reducir las aparentes contradicciones entre el mundo idealizado de la ciencia presentes en los libros de secundaria y la realidad vivenciada por el alumnado. Para tratar del primer aspecto recurrimos a los supuestos teóricos del Aprendizaje Cooperativo, mientras que, para el segundo, además de recurrir al contexto inmediato de los aprendices, utilizamos la Historia de la Ciencia y el Laboratorio Virtual PhET (<https://phet.colorado.edu/es/simulations/photoelectric>).

Según Sousa y Ataíde (2020, p. 398), el Aprendizaje Cooperativo se configura como un conjunto de métodos «que pueden ser utilizados por el docente para organizar, orientar y conducir el proceso de enseñanza y fomentar el aprendizaje». En este enfoque, el alumnado, en su grupo, trabaja para alcanzar un objetivo común (Lopes y Silva, 2009) consciente de que los objetivos individuales solo serán alcanzados si cada miembro del grupo logra los suyos (Coll, 1990).

Para ello, en el Aprendizaje Cooperativo, cada estudiante necesita desarrollar la conciencia de que los resultados individuales deben beneficiar a los miembros del grupo con los que trabajan cooperativamente (Coll, 1990). Para llevar a cabo el proceso de enseñanza con este enfoque, el profesorado necesita diseñar y fomentar (Kagan y Kagan, 2009), en cualquier actividad propuesta, la presencia de los elementos fundamentales de la cooperación (interdependencia positiva, responsabilidad individual, habilidades sociales, interacción promotora y procesamiento de grupo). Así pues, cada elemento esencial tiene como objetivo promover un entorno propicio para que el aprendizaje ocurra y para que el alumnado participe activamente en la construcción del conocimiento. Por lo tanto, cuando una clase se estructura siguiendo esta dinámica, se busca proporcionar al alumnado una mayor interacción, ya sea entre los miembros del grupo o con el objeto de estudio, para que puedan apropiarse efectivamente de los conocimientos planteados (Sousa y Gonçalves, 2024).

En este manuscrito se presenta una propuesta de enseñanza de la Física desde un enfoque dialógico que permite al alumnado construir el conocimiento científico huyendo del paradigma de la Física como un conocimiento cerrado. Para generar estas sesiones, se abordan los agrupamientos de estudiantes que permiten generar diversas vías de reflexión, comunicación y diálogo. Además, se incorpora la resolución de problemas como estrategia didáctica, apoyado por los laboratorios virtuales de PhET Colorado. Esto permite introducir en el aula de Física los conceptos de la Física Moderna sin necesidad de que los centros educativos dispongan de laboratorios sofisticados (Durán et al., 2017; Escudero et al., 2016). Por otro lado, las actividades diseñadas están orientadas a que el alumnado comprenda que

se produce una interacción entre la radiación y la materia, y que esta interacción se hace necesariamente a través de partículas, lo que justifica la existencia de espectros atómicos, y de este modo romper errores conceptuales habituales (Alemany et al., 2017; Torregrosa et al., 2016).

Método

Muestra

Además del primer autor de este texto, participaron en este estudio 38 estudiantes (con edades entre 16 y 18 años) y dos docentes de una escuela gestionada por la administración pública del estado de Ceará, Brasil. Este profesorado se encargó de diseñar las actividades y realizar su implementación sirviendo de guía al alumnado, mientras se recogía información para comentar cómo se habían ido desarrollando los procesos. La propuesta involucró una clase de tercer grado de educación secundaria, compuesta por estudiantes con desempeño académico diverso, lo que no se configuró como un problema, sino como una posibilidad de estructurar grupos heterogéneos. Esta diversidad permite a los miembros del grupo ampliar sus conocimientos desde diferentes puntos de vista o métodos de solución de un problema, promover discusiones profundas en torno a un tema, compartir explicaciones asertivas, adoptar una postura crítica durante el análisis de un hecho nuevo, desarrollar la competencia oral y escrita, y actuar a niveles cognitivos cada vez más altos (Cohen y Lotan, 2017).

Contexto de la investigación

Esta propuesta tuvo como punto de partida el cursar una asignatura obligatoria en el curso de Máster de Enseñanza de las Ciencias y Educación Matemática. Como uno de los requisitos para la superación de la disciplina se requería de los discentes la elaboración de una propuesta didáctica bajo la tutoría de un supervisor y su aplicación en la educación básica. Una vez validada la propuesta por el tutor, recurrimos a una escuela para solicitar a la dirección y al profesor titular de la asignatura de Física una autorización para que la propuesta fuese implementada en su clase.

Tres macro actividades conformaron la propuesta (Tabla 1) y fueron realizadas en tres encuentros con dos sesiones de 50 minutos cada una. Para el desarrollo de la propuesta recurrimos a los métodos cooperativos (*Jigsaw*, *Think-Pair-Share* y Cabezas Numeradas), a la Historia de la Ciencia (episodios históricos en torno de la construcción del concepto de la luz y del Efecto Fotoeléctrico) y al Laboratorio Virtual PhET. Los datos e informaciones acerca de las adquisiciones conceptuales del alumnado fueron obtenidos mediante grabación en audio de las discusiones generadas en los grupos. Estos datos fueron transcritos y analizados a la luz de los referenciales teóricos que envuelven esta investigación. A fin de preservar el anonimato de los sujetos utilizaremos nombres ficticios para designar a cada estudiante. Para la conclusión de las actividades, en el último encuentro aplicamos una encuesta final global con seis cuestiones conceptuales acerca de la comprensión del efecto fotoeléctrico. Para su validación, la encuesta fue aplicada en una clase de estudiantes de graduación de un curso para profesorado de una universidad pública brasileña. Las preguntas se mostraron consistentes y comprensibles y no favorecieron interpretaciones múltiples. La encuesta también fue aplicada a un grupo de prueba formado por estudiantes de tercer grado de secundaria que sirvieron como una aplicación previa de la propuesta. En ambos casos la encuesta se reveló de fácil compresión y adecuada a sus niveles académicos.

Tabla 1. Estructura de las actividades propuestas.

	Participantes: estudiantes de 3º grado de secundaria	
	Clases y duración: 6 sesiones de 50 minutos	
Temática		
1º Encuentro 100 min. Los modelos ondulatorio y corpuscular de la luz	<p>1. Vídeo introductorio – La saga del premio Nobel (10 min) 2. Mediación del profesorado – Conceptos básicos de luz y ondas (25 min)</p> <p style="text-align: center;">Actividad Cooperativa – <i>Jigsaw</i></p> <p>3. Contrato de cooperación y distribución de los textos (5 min) Texto 1 – Antecedentes: la naturaleza de la luz antes del siglo XVII Texto 2 – Cambio de escenario: revoluciones y polémicas Texto 3 – Resurgimiento de la teoría ondulatoria: experimento de Young</p> <p>4. Grupo base – Lectura de los textos (15 min) 5. Grupo de Expertos – Compartir la lectura (10 min) 6. Volver al grupo base – Compartir la lectura (10 min) 7. Compartir el consenso con la clase (20 min) 8. Procesamiento de grupo (5 min)</p>	2 Sesiones
2º Encuentro 100 min. Efecto Fotoeléctrico	<p>Contrato de cooperación y distribución de los textos (15 min) Texto 4: El efecto fotoeléctrico y la crisis del modelo ondulatorio de la luz</p> <p>1. <i>Think</i> – Lectura de los textos (10 min) 2. <i>Pair</i> – Compartir entre parejas (10 min) 3. <i>Share</i> – Compartir con la clase (15 min) 4. Problematización – Efecto Fotoeléctrico (45 min) 5. Procesamiento de grupo (5 min)</p>	2 Sesiones
3º Encuentro 100 min. Consolidando aprendizajes	<p>1. Mediación del profesorado – Reanudación de la discusión (30 min)</p> <p style="text-align: center;">Actividad Cooperativa – Cabezas Numeradas</p> <p>2. Serie con 4 problemas: contrato de cooperación (5 min). Problema 1 – resolución/exposición (10 min) Problema 2 – resolución/ exposición (10 min) Problema 3 – resolución/ exposición (10 min) Problema 4 – resolución/ exposición (10 min) 3. Encuesta final global (20 min) 4. Procesamiento de grupo (5 min)</p>	2 Sesiones
Recursos utilizados	Proyector multimedia, ordenador portátil, <i>PowerPoint</i> ; textos impresos, formulario <i>Think-Pair-Share</i> , rúbrica de evaluación, Laboratorio Virtual PhET y grabador de audio/móvil.	

A continuación se presentan los métodos cooperativos utilizados en las actividades.

Dividir para multiplicar: el método *Jigsaw*

El *Jigsaw* fue uno de los primeros métodos del Aprendizaje Cooperativo que se estructuró y aplicó en el aula (Slavin, 1985). A principios de la década de 1970, el psicólogo estadounidense Elliot Aronson, trabajando en una escuela segregada, percibió que eran constantes los conflictos entre estudiantes. Al discutir el problema con el alumnado, se dio cuenta de que los factores que potenciaban la crisis de convivencia consistían en la estructura del aula misma, el incentivo a la competencia y la búsqueda de las mejores calificaciones (Cochito, 2004). Como solución, Aronson reorganizó la estructura del aula para que el alumnado pudiera desarrollar un producto que se entrelazara con la participación individual. Para ello, reformuló el plan de estudios para que cada estudiante tuviera acceso solo a una parte de la información, aunque fuera evaluado en relación a todo el programa (Kagan, 2009). El rompecabezas solo se completaría cuando todas las piezas estuvieran bien ajustadas (Kagan, 2009; Teodoro et al., 2015). La Figura 1 ilustra la estructura básica del *Jigsaw*.

Método cooperativo *Jigsaw*: Se fragmenta la temática propuesta en tres subtemas distintos que serán explorados por cada estudiante individualmente. Cada miembro del grupo debe apropiarse de un subtema para compartirlo con el alumnado del grupo de expertos y, posteriormente, con los miembros de su grupo base.

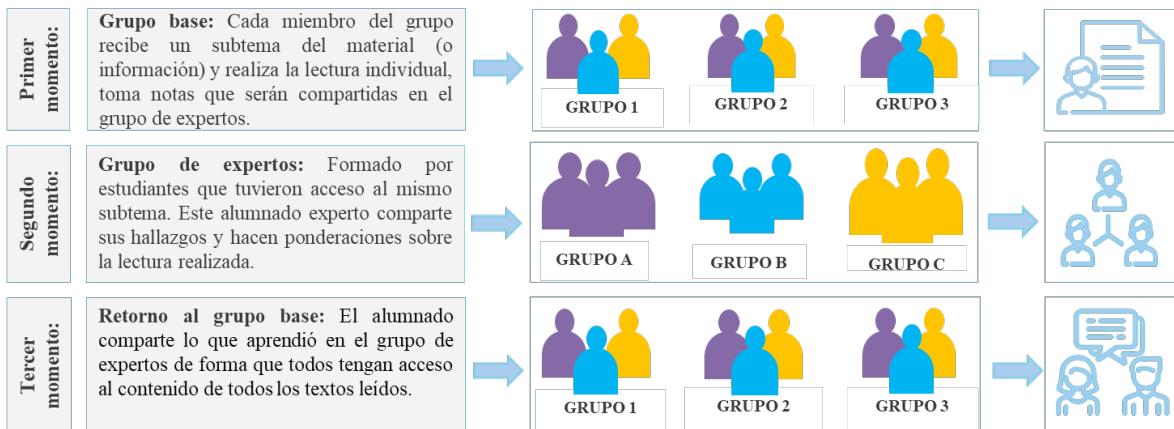


Figura 1. Estructura organizativa del *Jigsaw*. Elaboración propia.

El *Jigsaw* recibe esta designación en virtud de la forma en que se organiza una actividad cooperativa. De acuerdo con Slavin (1985), en el *Jigsaw*, una información o tema debe fragmentarse en diferentes partes de acuerdo con el número de estudiantes que componen cada grupo de tal manera que cada miembro de un equipo reciba un fragmento de la información. Cada estudiante, después de analizar la información recibida, deja su grupo base y se reúne en el grupo de expertos, compuesto por estudiantes que tienen la misma información. Tras discutir la información, «regresan a sus grupos y enseñan a sus colegas lo que han aprendido» (Slavin, 1985, p. 7). El profesorado puede poner en práctica el debate pidiendo a cada grupo base que resuma la información contenida en todo el material y la presente a la clase.

Pensamos, luego existimos: el método *Think-Pair-Share*

El *Think-Pair-Share* fue desarrollado por Frank Lyman, profesor de la Universidad de Maryland, en 1981 y desde entonces ha sido ampliamente utilizado en diferentes campos de la enseñanza (Kaddoura, 2013). El propósito del *Think-Pair-Share* es crear condiciones para que el alumnado piense en una pregunta o tópico, lo discuta en grupo y luego comparta sus impresiones sobre el tema. El *Think-Pair-Share* facilita al alumnado el reflexionar sobre «determinados asuntos, permitiéndoles formular ideas individuales y compartirlas con otro colega» (Lopes y Silva, 2009, p. 141).

El nombre *Think-Pair-Share* deriva de las tres etapas que componen esta estrategia (Carvalho, 2017). En la primera (*Think*), el alumnado es guiado por el profesorado para que piense sobre un problema o tema planteado de forma independiente. Este momento es fundamental para que cada estudiante forme sus propias ideas o encuentre posibles soluciones al problema planteado (Huyen y Lan, 2021). En la segunda etapa (*Pair*), se forman parejas de estudiantes que comparten sus opiniones. Finalmente, la última etapa (*Share*) consiste en fomentar que compartan sus comprensiones con el resto de la clase (Kaddoura, 2013). La Figura 2 ilustra la estructura básica del *Think-Pair-Share*.

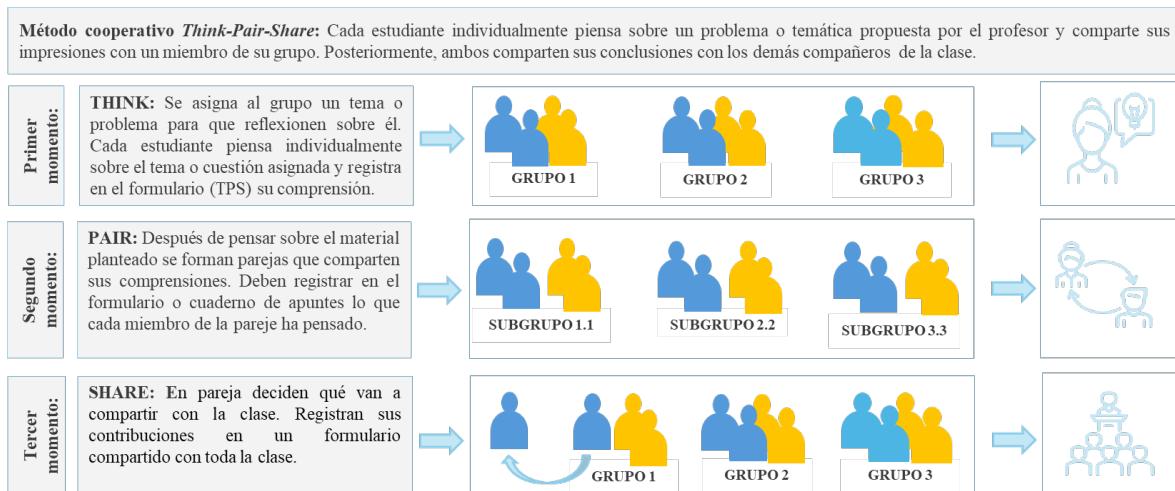


Figura 2. Estructura organizativa del *Think-Pair-Share*. Elaboración propia.

Para Lopes y Silva (2009) el *Think-Pair-Share* puede ser utilizado en todas las disciplinas, pues favorece el intercambio de información, la escucha activa y la profundización de ideas, desarrolla el pensamiento crítico y la autoestima (Sousa y Ataíde, 2020), siendo adecuado para la revisión de conceptos, resolución y discusión de temas o problemas, desarrollo de contenidos y cierre de una unidad didáctica (Sousa y Ataíde, 2020).

Cuatro cabezas piensan mejor: el método Cabezas Numeradas

El método de las Cabezas Numeradas fue desarrollado por Spencer Kagan en 1995 y se configura como una estrategia efectiva para organizar al alumnado en un grupo de cuatro miembros para profundizar en un problema o tema (Lopes y Silva, 2009). Cuando el alumnado se encuentra en una situación de estímulo, tiende a estar «más dispuesto a asumir riesgos y sugerir ideas a la clase porque ya han sido evaluadas en el grupo» (Lopes y Silva, 2009, p. 91). La Figura 3 muestra los pasos seguidos al llevar a cabo la tercera macro actividad.

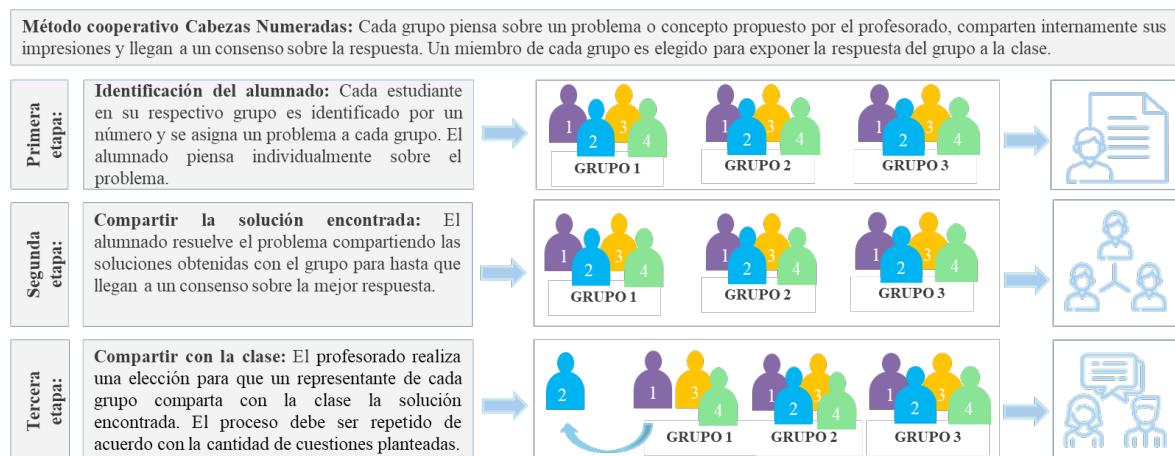


Figura 3. Estructura organizativa del método Cabezas Numeradas. Elaboración propia.

Lopes y Silva (2009) sugieren los siguientes pasos para la ejecución de una actividad con la estrategia Cabezas Numeradas: a) organizar grupos de cuatro miembros y enumerarlos de uno a cuatro; b) asignar, de acuerdo con el tema, una o más preguntas a cada grupo; c) orientar al alumnado para que busque la respuesta de manera cooperativa, fomentando la participación y sugiriendo estrategias para llegar a la solución; d) después de pensar en la pregunta, seleccionar, por sorteo, a un miembro que presentará la respuesta a la clase.

Desarrollo de la dinámica

A continuación, se describe la dinámica de implementación de las situaciones de aprendizaje con vista la construcción de un camino de diálogo entre la concepción de enseñanza en una perspectiva técnica y la perspectiva constructiva en la que los sujetos en interacción con el objeto de conocimiento afecten y sean afectados por él, desempeñando un papel activo en la construcción de su propio aprendizaje.

Luz, cámara, acción: hablando del primer encuentro

Con respecto al aprendizaje de conceptos, Cachapuz et al., (2000) afirman que existen tres instrumentos que pueden ser utilizados por el profesorado para favorecer la adquisición y/o cambio conceptual en el alumnado, los Mapas Conceptuales, la Historia de la Ciencia y el Trabajo Experimental. Desde esta perspectiva, iniciamos el primer encuentro comprometiendo al alumnado a reflexionar sobre la ciencia como una construcción humana, resultado de un largo y lento proceso de elaboración y perfeccionamiento de modelos o teorías científicas que nos permiten comprender los fenómenos naturales que nos rodean y el papel de la persona que se dedica a la ciencia en esta construcción (Pozo y Gómez-Crespo, 2009). El objetivo del primer encuentro fue discutir, a partir de episodios históricos, la construcción del concepto de luz y las múltiples idas y venidas entre el modelo ondulatorio y el corpuscular.

Con el fin de involucrar al alumnado y acercarlo a la discusión en torno a la construcción teórica de la naturaleza dual de la luz, realizamos una proyección del video *La Saga del Premio Nobel (parte 1)* (<https://www.youtube.com/watch?v=bsCvfiCEmvc&t=2s>), seguida de una etapa de problematización sobre los conocimientos básicos de onda y óptica con el apoyo del Laboratorio Virtual PhET. Para fomentar la participación del alumnado, propusimos algunas preguntas: *Cuando se toca una cuerda de guitarra, ¿por qué escuchamos el sonido causado por su vibración? ¿Por qué es necesario subir el volumen del sonido si queremos escucharlo a mayor distancia? ¿Por qué vemos los objetos? Para verlos, ¿basta con mirarlos?* En esta etapa enfatizamos que el conocimiento científico se configura como un producto de la acción del hombre sobre la naturaleza, que nada puede ser conocido directamente, sino por la interpretación del observador (Pozo, 2002). Posteriormente, se confrontó al alumnado con diferentes perspectivas históricas sobre la construcción del concepto de luz, buscando organizar las actividades de forma que se pudieran percibir y establecer paralelismos entre las ideas previas y el conocimiento científico, condición fundamental para la adquisición de nuevos conceptos (Cachapuz et al., 2000), específicamente, los diversos modelos y propuestas sobre la naturaleza de la luz.

En el tercer momento de la clase realizamos la primera actividad cooperativa con el método *Jigsaw*. Organizamos al alumnado en pequeños grupos con tres miembros, fragmentamos el material de estudio en tres subtemas (Slavin, 1985) y entregamos un subtema a cada miembro del grupo. Para el buen desarrollo de esta etapa (y las demás), es fundamental asignar papeles a los alumnos mediante la división del trabajo dentro de los equipos (Johnson y Johnson, 1989). Los roles utilizados fueron: redactor (toma notas de las discusiones), coordinador (responsable del trabajo del grupo) y portavoz (comparte las discusiones con la clase). A continuación, organizamos un momento de lectura individual e interacción con el material didáctico conforme a la Tabla 1. En el grupo base, el alumnado tuvo quince minutos para leer y producir un breve resumen del texto. En esta etapa, nuestro trabajo se centró (antes y durante la actividad) en promover una ecología de aula que permitiera al alumnado atribuir sentido a lo que estaban estudiando a través de la interacción, tanto con el objeto de estudio como con los miembros del grupo (Cachapuz et al., 2000), ya sea en sus propios grupos o en el aula misma, con las discusiones y presentaciones que siguieron.

Una vez concluida la lectura, la actividad continuó con la formación de los grupos de expertos, compuesto por estudiantes que leyeron el mismo texto. Para eso, cada estudiante tuvo tres minutos para compartir su comprensión del material con sus nuevos compañeros. Al final de la discusión, se les pidió que llegaran a un consenso sobre el tema central abordado. El grupo de expertos fue disuelto y los estudiantes regresaron al grupo base y cada miembro expuso el contenido de su material en tres minutos.

Es de suma importancia que el alumnado entienda que las piezas de información, como las piezas de un rompecabezas, deben juntarse «en un todo coherente para una presentación exitosa en equipo a toda la clase. Es en el proceso de interactuar con los compañeros sobre un tema de interés común que se pueden realizar algunos de los aprendizajes más importantes» (Kagan, 1985, p. 444). Para ello, hacemos hincapié en que se tenga el cuidado necesario a la hora de preparar el material a analizar por los miembros del grupo de expertos, para que no sea demasiado complicado, lo que provocaría que el alumnado se involucrase en análisis y discusiones complejas, que, a su vez, limitaría el papel de los expertos a la enumeración de hechos para compartirlos en sus grupos base (Kagan, 1985).

Por último, durante la preparación de las presentaciones a la clase, supervisamos el trabajo de los grupos, escuchando activamente las discusiones, indagando y ofreciendo apoyo al alumnado. Finalizamos el primer encuentro con el procesamiento de grupo, en el que el alumnado evaluó su participación como cooperador del aprendizaje y pudieron proponer estrategias y comportamientos para mejorar el trabajo en las siguientes clases (véase cuestionario de autoevaluación en el Anexo I).

Ábrete sésamo: aportaciones del segundo encuentro

La enseñanza tradicional de las ciencias y, por extensión, de la Física, concibe al profesorado como un mero proveedor de conocimientos previamente elaborados y listos para su consumo. En esta concepción, el alumnado es el consumidor de ese conocimiento acabado, que se presenta como «algo dado y aceptado por todos aquellos que se han molestado en pensar sobre el tema, sin dejar al estudiante otra opción que aceptar este conocimiento como algo que forma parte de una realidad imperceptible» (Pozo y Gómez-Crespo, 2009, p. 246). Para el segundo encuentro, definimos como objetivo didáctico profundizar en la comprensión del alumnado sobre la naturaleza dual de la luz a partir de las discusiones conceptuales generadas en torno al tema del efecto fotoeléctrico.

Como alternativa a las clases magistrales «basadas en las exposiciones del profesor a un público más o menos interesado que trata de tomar nota de lo que dice el docente» (Pozo y Gómez-Crespo, 2009, p. 250), proponemos iniciar las actividades partiendo de las apreciaciones realizadas en la clase anterior respecto a la naturaleza de la luz para, posteriormente, introducir el tema del efecto fotoeléctrico. Recurrimos a la Historia de la Ciencia centrando nuestra atención en los aspectos históricos y prácticos del efecto fotoeléctrico con el fin de construir un paralelismo entre la teoría clásica y la teoría propuesta por Einstein que sugiere un modelo corpuscular para la luz, asumiendo así su naturaleza dual (Cachapuz et al., 2000). Para la segunda actividad cooperativa se utilizó la técnica *Think-Pair-Share* a través de la lectura del texto 4. La clase se organizó en grupos con cuatro miembros subdivididos en dos parejas. Cada miembro del par recibió un texto y un formulario en forma de tabla con tres columnas (*Think, Pair y Share*) para sus apuntes. Durante la lectura, instruimos al alumnado para que identificase las partes del texto que no hubiera entendido o las palabras con significado desconocido para que pudiéramos discutirlas en la siguiente etapa de la clase.

Considerando que la interacción no se define solo por la comunicación profesorado-alumnado, ni exclusivamente entre estudiantes, sino que «el aprendiz también interactúa con los

problemas, los sujetos, la información y los valores culturales de los propios contenidos con los que estamos trabajando en la clase» (Carvalho, 2014, p. 5), organizamos el siguiente paso de la actividad cuidadosamente para que todos pudieran sumergirse en una red de interacciones, estudiante-estudiante, estudiante-contenido, estudiante-docente y estudiante-grupo. Así pues, después de completar la lectura individual, le pedimos a cada estudiante que usara el formulario de apuntes y registrara su comprensión del texto en la columna *Think*. Posteriormente, solicitamos a cada miembro que compartiera con su pareja lo que entendía sobre el material estudiado. Después de cada informe, hubo dos minutos para el registro en el formulario, en el campo (*Pair*).

Este ambiente de interacciones e intercambios mutuos converge en lo que proponen Oliveira et al. (2016, p. 965) cuando afirman que «el trabajo en grupo favorece la enseñanza de contenidos, la comunicación entre estudiantes y entre docente y estudiante, así como algunos aspectos subjetivos necesarios para vivir en sociedad». En el mismo sentido, Pozo (2002, p. 259) señala que en cooperación «a veces los aprendices pueden desarrollar mejor ayuda para sus compañeros que el maestro, porque conocen mejor este territorio, ya que acaban de pasar por él, haciendo las mismas preguntas y encontrando algunas soluciones para compartir».

Así, concluimos la actividad cooperativa con cada pareja preparando una breve presentación que se compartió con la clase (*Share*). De acuerdo con Pozo y Gómez-Crespo (2009), para que una explicación o exposición sea efectiva, es imprescindible establecer explícitamente las relaciones entre la nueva información y los conocimientos previos. De este modo, la interacción *a priori* con el material didáctico permitió la creación de las condiciones previas para la introducción de los conceptos fundamentales sobre el efecto fotoeléctrico. La clase continuó con una exposición dialógica, destacando los conceptos fundamentales inherentes a la formulación teórica del efecto fotoeléctrico. Enfatizamos que, cuando adoptamos el camino de la problematización, asumimos la perspectiva de Ricardo (2010), quien afirma que tal decisión debe basarse en la idea de construir situaciones-problema que estructuren los contextos de aprendizaje cuyo significado necesita ser percibido por el alumnado y definido, sobre todo, no por la situación misma, sino por la forma en que el docente explora el contexto creado. Con el recurso del Laboratorio Virtual PhET (Figura 4), buscamos problematizar el tema a partir de preguntas como: *Cuando iluminamos una superficie metálica con una luz de frecuencia f e intensidad i, ¿qué fenómeno se observa? ¿La emisión de electrones se produce instantáneamente?*

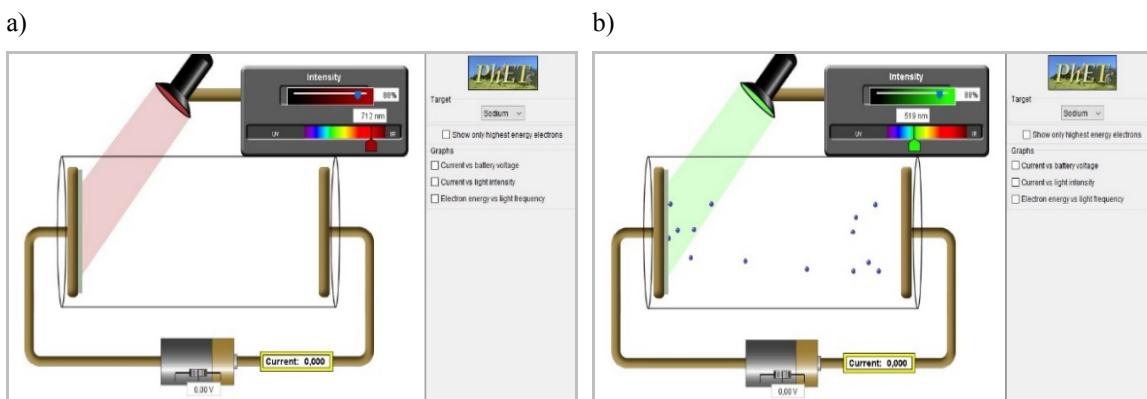


Figura 4. a) Placa emisora iluminada con luz roja. b) Placa emisora iluminada con luz verde.

Seguimos con la discusión profundizando la comprensión acerca del efecto fotoeléctrico y de la dualidad onda-partícula recurriendo, una vez más, al Laboratorio Virtual PhET con la siguiente pregunta: *¿Qué sucede cuando mantenemos la frecuencia constante (misma ra-*

diación) y aumentamos la intensidad de la luz? Se espera que el alumnado asocie la intensidad de la luz con el número de electrones emitidos, contrariamente al pensamiento clásico basado en la idea de que cuanto mayor sea la intensidad de la luz, mayor será la energía cinética (velocidad) de los electrones emitidos (Figura 5).

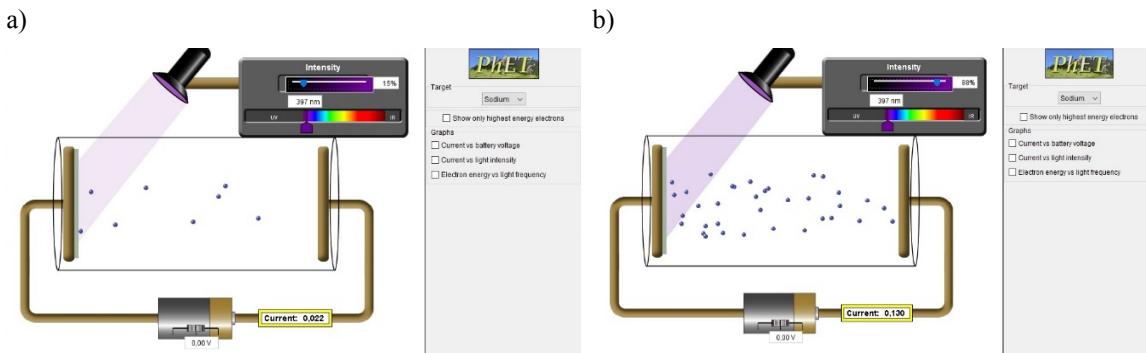


Figura 5. a) Radiación violeta de baja intensidad. b) Radiación violeta de alta intensidad.

El proceso de discusión continuó hasta que agotamos todas las posibilidades disponibles en PhET. Finalizamos el segundo encuentro con el procesamiento de grupo y la evaluación del progreso de la clase, donde los estudiantes pudieron autoevaluarse, así como reflexionar sobre posibles conductas inapropiadas durante el desarrollo de las actividades y qué conductas deberían mantener y reforzar y cuáles deberían abandonar.

Consolidando el aprendizaje: el tercer encuentro

Comprender, según Pozo (2016, p. 143), «es en cierto modo traducir algo a tus propias palabras, a tus propias ideas» y, el aprendizaje por comprensión un proceso en el que lo que aprendemos está condicionado por la interpretación de la nueva información a la luz de lo que ya sabemos sobre un determinado tema, asimilándolo o integrándolo a los conocimientos anteriores. Así pues, para el tercer encuentro, elegimos comenzar la clase retomando las discusiones presentadas en la clase anterior, enfatizando la necesidad de un modelo corpuscular de la luz para comprender el efecto fotoeléctrico.

Definimos como objetivo para el tercer encuentro profundizar en la discusión sobre el fenómeno del efecto fotoeléctrico como evidencia de la naturaleza corpuscular de la luz y su comportamiento dual. Utilizamos el Laboratorio Virtual PhET retomando las cuestiones abordadas en la clase anterior. Esta fue una etapa fundamental de la actividad en la que se buscó fomentar la participación e involucrar al alumnado, acercándolo al «mundo, indagando sobre su estructura y naturaleza» (Pozo y Gómez-Crespo, 2009, p. 43) y ayudándolo a descubrir el interés por hacer preguntas, además de ayudarles a encontrar sus propias respuestas.

La tercera actividad cooperativa se estructuró a partir del método Cabezas Numeradas. Para ello, dividimos al alumnado en equipos de cuatro componentes y los numeramos aleatoriamente del 1 al 4 (Figura 3). Cada equipo tendría que resolver de forma cooperativa una serie de cuatro cuestiones (a lo largo de cuatro sesiones) conceptuales diferentes para cada equipo, conforme al ejemplo que sigue: *La luz incide sobre un material fotoeléctrico y no se emiten electrones. Establezca la condición central para que se produzca la emisión de electrones considerando el mismo material.* Las otras cuestiones pueden verse en el Anexo II.

Después de la lectura cada estudiante tuvo cinco minutos para pensar individualmente en una posible solución para el problema. Enseguida se orientó a los grupos a que sus miembros discutieran entre ellos a fin de definir la mejor respuesta para el problema llegando a

un consenso sobre ella. Una vez hecho esto, se sorteó a un miembro de cada equipo para que presentara a toda la clase la solución y la justificación encontrada para el problema propuesto. El proceso se repitió hasta que se resolvieron todos los problemas.

Finalmente, con el fin de identificar la adquisición de aspectos conceptuales centrales que podrían haber sido pasados por alto durante la actividad con preguntas abiertas (Harlen, 2003), finalizamos esta etapa de la clase aplicando una encuesta final global con preguntas cerradas que fue resuelta por cada estudiante individualmente y sin la colaboración de los compañeros (véase cuestionario en Anexo III).

Discusión y conclusiones

Tras el primer encuentro, y una vez finalizada la discusión, el alumnado elaboró una síntesis que abarcaba los tres textos estudiados y lo presentaron a la clase. A modo de ejemplo se muestran los comentarios de uno de los estudiantes, *Einstein* (nombre ficticio):

... el texto 1 no afirma que la luz no sea ni onda ni partícula y no es material, pero solo por no ser material no puede ser partícula, entonces tiene que ser onda. El texto 2 lo mismo, aunque no lo entendí bien, él no me lo explicó. El texto 3 ya no está en desacuerdo con la ley de Newton de que es una partícula, la luz es una partícula, ya afirmando que se trata de una onda. Aquí afirma ser ya una vibración y sólo siendo una vibración afirma también ser una onda ...

De este fragmento de texto es posible inferir que las discusiones sostenidas en los grupos cooperativos favorecieron la adquisición de conceptos fundamentales relacionados con el tema abordado, ya que el alumnado presentó respuestas concisas y coherentes con el argumento científico. Según Oliveira et al. (2016, p. 965) «el trabajo en pequeños grupos en el aula, al proporcionar un proceso de argumentación y contacto con diferentes percepciones, puede conducir a una mejor comprensión de los contenidos tratados». Además, observamos que el alumnado se apropió de la idea central de los textos, pudiendo elaborar significados importantes respecto al tema abordado, según el relato del estudiante *Newton* durante la lectura del consenso de algunos de los grupos cooperativos:

Llegamos a la conclusión sobre la luz, que en el texto 1 dice que la luz no es un objeto material y en el texto 2 la luz se produce por vibraciones, un elemento ondulatorio no lo es. Y, en el texto 3 el fenómeno de interferencia es propiedad exclusiva de las ondas. Concluimos que la luz tiene un comportamiento dual, a veces onda y a veces partícula, eso es todo profesor.

Además de los aspectos relacionados con las verbalizaciones, verificamos un alto grado de cooperación entre estudiantes donde se superaron dudas, conflictos y dificultades, que según Queiroz et al. (2009, p. p15) «se presentan como un elemento esencial para la construcción de significados, ya que son las interacciones las que promueven el surgimiento de diferentes significados atribuidos a las definiciones estudiadas, creando posibilidades de discusión orientada al aprendizaje». Igualmente, pudimos ver en la elaboración del consenso general para el informe a la clase que se generó una interdependencia positiva entre los estudiantes, reduciendo considerablemente las interacciones individualistas, corroborando el pensamiento de Marques et al. (2015) de que es en el grupo de expertos donde se busca profundizar la discusión sobre un tema específico. Para ello, hacemos hincapié en que se tenga el cuidado necesario a la hora de preparar el material a analizar por el grupo de expertos (Kagan, 1985). Finalizamos el primer encuentro con el procesamiento de grupo, en el que los estudiantes evaluaron su participación como cooperadores del aprendizaje y pudieron proponer estrategias y comportamientos para mejorar el trabajo en las siguientes clases.

En el segundo encuentro, tras la puesta en común por pares, incorporamos los comentarios de otro estudiante, *Young*:

Bueno, entendí que la luz puede interferir con las propiedades eléctricas de los objetos, como ya había dicho Leo. También entendí que, con los resultados de experimentos con el efecto fotoeléctrico, sugirieron que la luz, que teníamos la idea de que se comportaba como una onda, pero con el tiempo Einstein afirmó que se comportaría como una partícula. Incluso dijo aquí, que Robert Millikan intentó, quiso decir de alguna manera que Einstein estaba mintiendo, trató de demostrar que así era. Pero al final él estaba más seguro de que Einstein estaba en lo cierto, que la luz no se comportaba como una onda sino más bien como una partícula.

Para Sousa y Gonçalves (2024), estos momentos de compartir saberes se configuran como la oportunidad para que el alumnado actúe como sujeto del aprendizaje y de este dependa del éxito de los demás, elaborando estrategias para asegurarse de que los demás miembros hayan aprendido el tema estudiado.

Igualmente en este encuentro, tras la fase *Share*, la estudiante *Èmile* comparte:

Lo leeré aquí... Me di cuenta de que la teoría de Einstein también predecía que el efecto fotoeléctrico ocurriría para valores de frecuencia de la luz siempre y cuando la energía de la onda electromagnética fuera lo suficientemente intensa como para que los electrones pudieran ser emitidos desde la superficie.

El efecto fotoeléctrico ocurriría para cualquier frecuencia de luz siempre y cuando la energía de la luz y la energía de la onda electromagnética fueran lo suficientemente intensas como para que se pudieran emitir electrones (el estudiante fue cuestionado por el profesor sobre esta afirmación. ¿Sería una afirmación basada en el modelo de la Física Clásica o Física Moderna?). Hemos comprendido que se trata de un modelo de la Física Clásica.

Ante lo expuesto, las discusiones sostenidas en grupos cooperativos basados en el uso del aprendizaje cooperativo permitieron la construcción cualitativa del concepto de efecto fotoeléctrico y la comprensión de un modelo corpuscular de la luz, así como favorecieron el desarrollo de habilidades sociales e interpersonales, garantizando al mismo tiempo la participación equitativa y el crecimiento académico y social de los estudiantes (Oliveira et al., 2016).

Aprender y enseñar son dos verbos que deben conjugarse juntos, es decir, docentes y aprendices deben moverse hacia el mismo lado en el proceso comprendido por estas dos acciones (Pozo, 2002). En este sentido las discusiones en los grupos cooperativos producen evidencias que corroboran lo que afirman Leão et al. (2018, p. 417) sobre el potencial de las metodologías activas para promover un aprendizaje más efectivo. Según este autor «la información memorizada mecánicamente para el momento de la prueba puede olvidarse fácilmente más adelante, ya que no hay participación directa de los estudiantes en la construcción del conocimiento durante las clases».

Tras el último encuentro fue posible construir una visión general de las adquisiciones del alumnado con respecto a los conceptos presentados, así como proporcionar una retroalimentación adecuada sobre su aprendizaje (Carvalho y Sasserón, 2018). La Figura 6, presenta los resultados obtenidos después de análisis de las respuestas individuales (véase cuestionario en Anexo III).

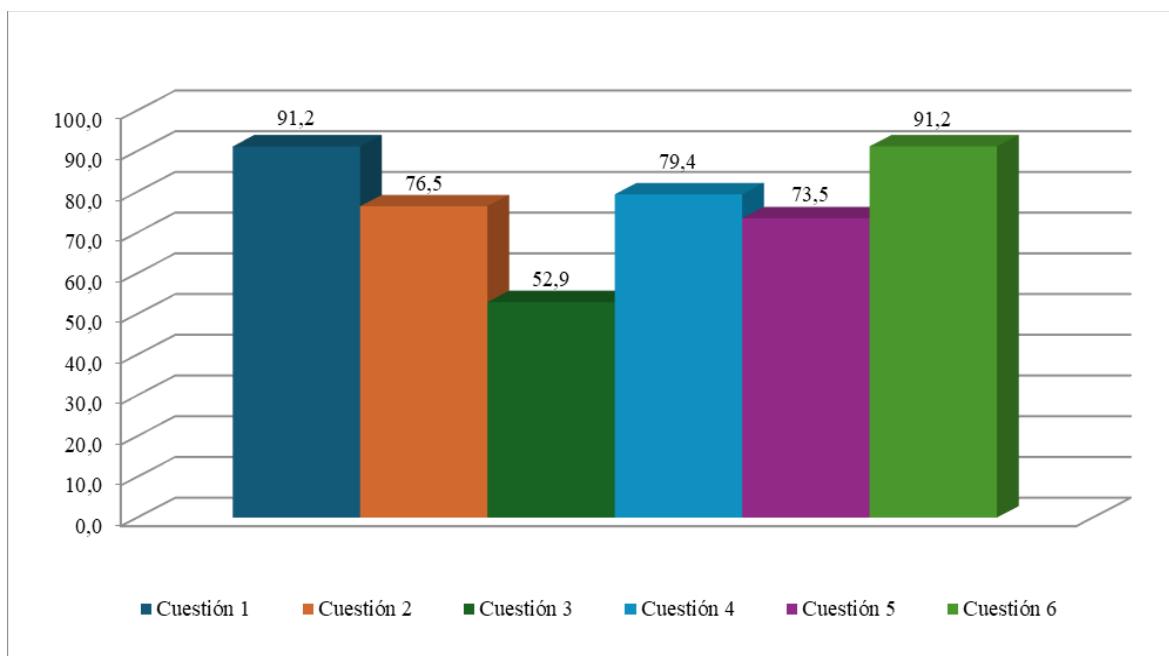


Figura 6. Gráfica porcentual de aciertos por ítem en la encuesta final global. Elaboración propia.

En relación a las cuestiones 1 y 3, estas abordaron aspectos relevantes acerca la naturaleza de la luz y con vistas a la comprensión el efecto fotoeléctrico. En estas cuestiones, se preguntó a los estudiantes sobre la dualidad onda-partícula y el concepto de fotón. Se puede observar en base a la Figura 6 que se ha consolidado el concepto propuesto, una vez que el 91,2% del alumnado admite un modelo corpuscular para la luz. Con relación al ítem 3, destacamos la necesidad de profundizar las discusiones sobre el concepto de fotón, como elemento esencial para que se produzca la fotoemisión.

En la cuestión 2, el alumnado se enfrentó a una situación-problema que involucraba la aplicación práctica del efecto fotoeléctrico en la automatización de puertas en establecimientos comerciales. Se puede observar en la Figura 6 que lograron relacionar el fenómeno involucrado y su aplicación en un contexto de la vida real, ya que el 76,5% obtuvo la respuesta deseada.

Respecto a la pregunta 4, el alumnado debería identificar el concepto de efecto fotoeléctrico. Desde la Figura 6 el porcentaje de 79,4% de aciertos presupone la consolidación o adquisición conceptual del alumnado. Las cuestiones 5 y 6 indagaron acerca de la relación entre la frecuencia y la energía con la que los electrones son expulsados de una placa metálica luego de la incidencia de radiación electromagnética de cualquier frecuencia, considerando la luz como una onda (modelo clásico – cuestión 5) y como una partícula (corpuscular – cuestión 6). Un análisis de la Figura 6 muestra que el alumnado comprendió que el efecto fotoeléctrico está intrínsecamente asociado a la frecuencia de la radiación incidente (91,2%) y no a la intensidad de la luz (73,5%).

El análisis de las respuestas a la encuesta final global permitió inferir que las lecturas individuales y las discusiones en los grupos cooperativos con la mediación de la metodología de aprendizaje cooperativo favorecieron significativamente la comprensión del fenómeno del efecto fotoeléctrico y la necesidad de un modelo corpuscular de luz para que se produzca.

Reflexiones finales

Las múltiples demandas de aprendizaje que requiere la nueva cultura del aprendizaje inherente a la sociedad de la información y la comunicación, del conocimiento múltiple y del aprendizaje constante, requieren de la escuela y del profesorado prácticas docentes que busquen la capacidad de crear estrategias pedagógicas. Además de promover la enseñanza más allá de la transmisión y/o adquisición de informaciones, como hechos y datos fragmentarios e inconexos, sin sentido para el alumnado, que permitan a los educandos seleccionar y organizar sistemáticamente el flujo de información con el que son bombardeados constantemente, para que puedan sintetizar estas informaciones y construir su propio conocimiento.

Considerando el objetivo general de la propuesta didáctica aquí presentada, dos cuestiones fueron preponderantes durante las actividades realizadas: la necesidad de superar la concepción de la enseñanza basada en la comunicación vertical, unilateral y unidireccional entre profesorado y alumnado, estableciendo el imperativo de fomentar el intercambio de conocimientos en el ámbito horizontal (docente-estudiante, y, especialmente, estudiante-estudiante) y, crear un entorno en que fuese posible acercar la Física de los modelos idealizados (visión de la ciencia que en general se ha destacado con mayor fuerza en la educación secundaria), a la Física cotidiana, más cercana a la realidad presentada.

Los resultados obtenidos de la implementación de la propuesta sugieren que las discusiones generadas en los grupos cooperativos favorecieron la construcción conceptual del efecto fotoeléctrico y la necesidad de establecerse un modelo corpuscular de la luz para su explicación. En este sentido las múltiples interacciones en los grupos aportaron contribuciones que apuntan para un aprendizaje más efectivo y duradero mediante la participación directa del alumnado en la construcción de su propio aprendizaje. Por otro lado, la propuesta se implementó sin dificultades más allá de cuestiones técnicas puntuales de conectividad.

Considerando los aportes *a priori* establecidos entendemos que la propuesta logró fomentar la dimensión activa del proceso de enseñanza, la creación de un entorno de aprendizaje participativo, envolvente e investigativo, la promoción de la interacción entre iguales, el conflicto de puntos de vista y la posibilidad de atender los diferentes estilos de aprendizaje y necesidades del alumnado. Además, la propuesta didáctica aquí presentada asumió, en cuanto propuesta alternativa a la enseñanza de la Física centrada en el alumnado como sujeto activo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, una doble perspectiva: conducir al propio alumnado en la compleja tarea de sistematizar y organizar la información que le posibilita la construcción de aprendizajes con sentido y significado, y acercar la enseñanza de la Física a una concepción docente constructiva en la que los sujetos involucrados en los contextos creados fuesen capaces de, al mismo tiempo que reciben una información, atribuirle significado, transformándola y siendo transformados por ella.

El estudio presenta varias limitaciones que deben señalarse. Por un lado, el pequeño tamaño de la muestra y el contexto específico en el que se ha realizado el estudio hace que los resultados no sean generalizables y directamente extrapolables a otros contextos y con otro alumnado. Además, la falta de un grupo de control no ha permitido aislar el efecto del aprendizaje cooperativo en el rendimiento académico del alumnado. Sin embargo, los resultados obtenidos pueden ser de interés para otras personas investigadoras y profesorado, que pueden utilizarlos como punto de partida para futuras investigaciones y diseño de experiencias.

Declaración de autoría

Conceptualización: F.I.S.; metodología: F.I.S., T.V.O.G.; validación: F.I.S., M.Á.Q.D. y T.V.O.G.; análisis formal: F.I.S.; investigación: F.I.S.; recursos: F.I.S. y M.Á.Q.D.; gestión de datos: F.I.S.; redacción - preparación del borrador original: F.I.S. y M.Á.Q.D.; redacción - revisión y edición: F.I.S., M.Á.Q.D. y T.V.O.G.; supervisión: T.V.O.G.; administración del proyecto: F.I.S. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Referencias

- Alemany, F. S., Blanco, J. L. D., Torregrosa, J. M., Cubero, A. R. y Cintas, S. R. (2017). La enseñanza problematizada de la física cuántica en el bachillerato y en los cursos introductorios de física. *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1), 199-220. <https://doi.org/10.4995/msel.2017.6675>
- Cachapuz, A., Praia, J. y Jorge, M. (2000). *Formação de professores – ciências*. Eduardo & Nogueira, Lda.
- Carvalho, A. M. P. (2014). O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. En A. M. P. Carvalho (Ed.), *Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula* (pp. 1-20). Cengage Learning.
- Carvalho, J. M. N. (2017). Uma nova experiência pedagógica: utilização da estratégia Think-Pair-Share em estudantes do curso de licenciatura em enfermagem. *Indagatio Didáctica*, 9(1), 63-74. <http://dx.doi.org/10.34624/id.v9i1.481>
- Carvalho, A. M. P. y Sasseron, L. H. (2018). Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. *Estudos Avançados*, 32(94), 43-55. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0004>
- Cochito, I. (2004). *Cooperação e aprendizagem*. ACIME.
- Cohen, E. G. y Lotan, R. A. (2017). *Planejando o trabalho em grupo: estratégias para salas de aula heterogêneas*. 3^a ed. Penso.
- Coll, C. (1990). *Aprendizaje escolar y construcción del conocimiento*. 1^a ed. Ediciones Paidós, S.A.
- Durán, R., Terán, J. C. y Gutiérrez, G. M. (2017). Implementación de un experimento cualitativo para la enseñanza del efecto fotoeléctrico a estudiantes de educación, mención física y matemática. *Latin-American Journal of Physics Education*, 11(1), 1-7.
- Escudero, C., Adrián Jaime, E. y González, S.B. (2016) Hacia la conciencia cuántica a partir del efecto fotoeléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 183-200. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1998>
- Fernández, P. E., González, E. M. y Solbes, J. (2005). De los corpúsculos de luz al efecto fotoeléctrico. Una propuesta didáctica con base en la discusión de modelos. *Revista de Enseñanza de la Física*, 18(1), 69-80
- Harlen, W. (2003). *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. 5^a ed. Ediciones Morata, S. L.
- Huyen, P. M. y Lan, D. T. M. (2021). Using Think-Pair-Share Strategy to Support Students in Speaking Lessons. *Journal of English Language Teaching and Applied Linguistics*, 3(4), 1-8. <https://doi.org/10.32996/jeltal.2021.3.4.1>
- Johnson, D. W y Johnson, R. T. (1989). *Cooperative and competition: theory and research*. Interaction Book Company.

- Jones, D. G. C. (1991). Teaching modern physics-misconceptions of the photon that can damage understanding. *Physics Education*, 26(2), 93-98. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/26/2/002>
- Kaddoura, M. (2013). Think Pair Share: A teaching Learning Strategy to Enhance Students' Critical Thinking Massachusetts College of Pharmacy and Health Sciences. *Educational Research Quarterly*, 3-22.
- Kagan, S. (1985). Dimensions of cooperative classroom structures. En R. Slavin *et al.* (Eds.), *Learning to cooperate, cooperating to learn* (pp. 67-96). Plenum Press.
- Kagan, S. y Kagan, M. (2009). *Kagan cooperative learning*. Kagan Publishing.
- Leão, G. M. C., Padial, A. A., & Randi, M. A. F. (2018). Representações não linguísticas e jogos cooperativos como estratégia de ensino e aprendizagem da biologia celular. *Investigações em Ensino de Ciências*, 23(2), 406. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n2p406>
- Lopes, J. y Silva, H. S. (2009). *Aprendizagem cooperativa da sala de aula: um guia prático para o professor*. Lidel.
- Marques, S. P. D., Ávila, F. N., Dias Filho, F. A. y Silva, M. G. V. (2015). Aprendizagem cooperativa como estratégia no aprendizado de química no ensino médio. *Conexões - Ciência e Tecnologia*, 9(4), 57-66. <https://doi.org/10.17533/udea.rc.n74a04>
- McKagan, S. B., Handley, W., Perkins, K. K. y Wieman, C. E. (2009). A research-based curriculum for teaching the photoelectric effect. *American Journal of Physics*, 77(1), 87-94. <https://doi.org/10.1119/1.2978181>
- Oliveira, T. E., Araújo, I. S. y Veit, E. A. (2016). Aprendizagem baseada em equipes (Team-Based Learning): um método ativo para o Ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(3), 962 - 986. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p962>
- Pozo, J. I. (2002). *Aprendizes e mestres: a nova cultura da aprendizagem*. Artmed.
- Pozo, J. I. (2006). La nueva cultura del aprendizaje en la sociedad del conocimiento. *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje. Las concepciones de profesores y alumnos*, 29-54. Graó.
- Pozo, J. I. (2016). *Aprender em tiempos revueltos: la nueva ciencia del aprendizaje*. Alianza editorial.
- Pozo, J. I. y Gómez-Crespo, M. A. (2009). *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Artmed.
- Queiroz, M. P., Barbosa, R. M. N. y Amaral, E. M. R. (2009). Uma análise de interações discursivas promovidas pela aplicação de métodos cooperativos em aulas de química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 9(3).
- Ricardo, E. C. (2010). Problematização e contextualização no ensino de Física en A. M. P. Carvalho (Ed.), *Ensino de Física* (pp. 29 – 47). Cengage Learning.
- Schön, D. A. (1982). *The reflective practitioner*. Basic Books.
- Sinarcas, V. y Solbes, J. (2013). Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(3), 9-25.

- Slavin, R. E. (1985). Cooperative learning: Applying contact theory in desegregated schools. *Journal of Social Issues*, 41(3), 45-62. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1985.tb01128.x>
- Solbes, J. y Sinarcas, V. (2010). Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la física cuántica basada en la investigación en didáctica de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 23(1-2), 57-84.
- Sousa, F. I. y Ataíde, A. R. P. (2020). O estudo do comportamento dual da luz com a mediação da aprendizagem cooperativa: uma análise qualitativa do efeito fotoelétrico. *Experiências em Ensino de Ciências*, 15(1), 395-410.
- Sousa, F. I. y Gonçalves, T. V. O. (2024). Uma proposta de ensino de termodinâmica à luz da aprendizagem cooperativa. *Revista docentes*, 9(25), 49-58.
- Teodoro, D. L., Cabral, P. F. O. y Queiroz, S. L. (2015). Atividade Cooperativa no Formato Jigsaw: Um estudo no ensino superior de Química. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 8(1), 21-51. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2015v8n1p21>
- Torregrosa, J. M., Alemany, F. S., Blanco, J. L. D., Cubero, A. R. y Cintas, S. R. (2016). La enseñanza problematizada de la física cuántica en el nivel introductorio. Una propuesta fundamentada. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28(2), 77-100. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v28.n2.15813>

Anexo I - Formulario de autoevaluación y evaluación grupal – procesamiento grupal

Autoevaluación	Sí	Podría mejorar	No
1. ¿Comprendí la tarea?			
2. ¿Mantuve la concentración durante la tarea?			
3. ¿Traté de comprender y aceptar las ideas y opiniones de mis colegas?			
4. ¿Participé con ideas y opiniones en la realización de la tarea?			
5. ¿Animé a mis colegas a participar?			
6. ¿Ofrecí ayuda cuando se necesitaba?			
7. ¿Pedí ayuda cuando la necesité?			
8. ¿Acepté ayuda de colegas?			
9. ¿Me entusiasmé en el trabajo?			
Evalúa el trabajo realizado por el grupo.			
	Muy bien	Bien	Satisfactorio
1. Todos entendimos y llevamos a cabo la tarea.			
2. Mantuvimos la atención y motivación en la realización de la tarea.			
3. Colaboramos con respeto, compartiendo ideas y opiniones.			
1. ¿Algún comentario que hacer sobre el trabajo en grupo?	<hr/> <hr/> <hr/>		
2. ¿Sugerencias para mejorar el trabajo del grupo?	<hr/> <hr/> <hr/>		

Fuente: adaptado de Simões (2012).

Simões, S. E. D. F. (2012). "Um por todos e todos por um": fomentar a aprendizagem cooperativa do inglês no 1º CEB. Doctoral dissertation. Universidade do Minho.

Anexo II - Cuestiones (Consolidando el aprendizaje)

01. El efecto fotoeléctrico demostró que la energía cinética máxima de los electrones emitidos por una superficie metálica, cuando se ilumina con luz, depende de la frecuencia de la luz incidente. ¿Por qué este punto de vista contradecía las predicciones de la Física Clásica?

02. Según el modelo propuesto por Max Planck en 1900, la emisión o absorción de energía se produce de forma discontinua y en pequeños paquetes de energía llamados cuantos. En 1905, Einstein amplió este concepto a otras radiaciones electromagnéticas, afirmando que estas estarían compuestas por pequeños paquetes de energía, a los que llamó fotones o “partículas de luz”, transportando cada uno de ellos una cantidad de energía. Dado que la función de trabajo es la cantidad mínima de energía necesaria para extraer un electrón de un metal, estableced la relación conceptual entre la energía de los fotones y la función de trabajo del metal.

03. Según la teoría propuesta por Einstein, cuando la frecuencia de la luz que incide sobre una superficie metálica supera un determinado valor de frecuencia mínima, esta superficie libera electrones. Por tanto, la frecuencia de corte representa la frecuencia límite para la cual no se detecta emisión de electrones. Para que se emitan electrones, explique por qué no basta simplemente con aumentar la intensidad de la luz incidente.

Anexo III - Encuesta final global

1. En la Física Clásica, la luz se describía principalmente como una onda electromagnética, lo que explicaba fenómenos como la interferencia y la difracción. Sin embargo, la Física Moderna ha introducido una comprensión más amplia y compleja de la luz, considerándola:
 - a) La luz exhibe propiedades tanto de onda como de partícula;
 - b) La luz simplemente se comporta como una onda;
 - c) La luz se comporta como partícula;
 - d) La luz se comporta únicamente como una onda, fenómeno que se evidencia mediante reflexión y refracción.
1. La apertura y cierre automático de puertas en centros comerciales es una de las aplicaciones prácticas que surgió del:
 - a) Efecto Joule;
 - b) Efecto Compton;
 - c) Efecto fotoeléctrico;
 - d) Efecto Hall.
1. Los fotones desempeñan un papel crucial en muchos fenómenos y tecnologías, desde el efecto fotoeléctrico hasta la comunicación por fibra óptica y el estudio de la física cuántica. A la luz de lo comentado, así como de las lecturas realizadas, ¿cuál es el concepto de fotón?
 - a) Partícula elemental de luz y otras formas de radiación electromagnética;
 - b) Partícula elemental similar a un electrón;
 - c) Partícula subatómica similar a un protón;
 - d) Partícula con carga eléctrica nula y masa igual a la del electrón.
1. Albert Einstein explicó el efecto fotoeléctrico sugiriendo que la luz está formada por partículas llamadas fotones. Indique a continuación la mejor definición conceptual del efecto fotoeléctrico.
 - a) Emisión de electrones desde una superficie iluminada con luz de cualquier frecuencia;
 - b) Emisión de electrones desde una superficie iluminada con luz de una frecuencia determinada;
 - c) Emisión de electrones desde una superficie iluminada con luz de una determinada frecuencia igual a la frecuencia de corte del material iluminado;
 - d) Desplazamiento de electrones tras colisionar con fotones de luz.
1. Según la Física Clásica, la energía cinética de los electrones emitidos por una superficie cuando se ilumina con luz de una frecuencia determinada está relacionada con:
 - a) Intensidad de la luz incidente;
 - b) Tipo de superficie iluminada;
 - c) Frecuencia de luz incidente;
 - d) Frecuencia de corte.
1. Según la Física Moderna, la energía cinética de los electrones emitidos por una superficie cuando es iluminada por luz de una frecuencia determinada está relacionada con:
 - a) La intensidad de la luz incidente;
 - b) La frecuencia de la luz incidente;
 - c) El tipo de superficie iluminada;
 - d) La frecuencia de corte.