

MANIPULANDO LA LUZ CON POLARIZADORES. REALIZACIÓN DE EXPERIENCIAS SENCILLAS QUE AYUDEN A COMPRENDER LA POLARIZACIÓN DE LA LUZ

MEMORIA DE CONSECUCIÓN DEL PROYECTO

MIEMBROS DEL EQUIPO

- Benjamín Alonso Fernández
- Cristian Barbero Pérez
- Enrique Conejero Jarque
- Aurora Crego García
- Marina Fernández Galán
- Ignacio López Quintás
- Sergio Martín Domene
- Javier Rodríguez Vázquez de Aldana
- Carolina Romero Vázquez (Coordinadora)
- Nuria Sevilla Sierra
- Víctor Arroyo Heras

INTRODUCCIÓN

Este proyecto surge de la necesidad observada de mejorar la comprensión de conceptos fundamentales de óptica, como la polarización de la luz, entre estudiantes de primer curso de titulaciones de la rama de Ciencias. A través de enfoques experimentales y participativos, se busca alcanzar un aprendizaje más profundo y significativo.

OBJETIVOS

Los objetivos generales y específicos previamente definidos en la memoria del proyecto se describen a continuación.

OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general de este proyecto consistía en proporcionar a los estudiantes de primer curso de titulaciones científicas diversos recursos didácticos de carácter experimental que les permitan comprender y manejar el concepto de polarización de la luz, fomentando un aprendizaje experiencial.

La propuesta partía de la constatación de que, si bien el alumnado es capaz de aplicar procedimientos de resolución de problemas, a menudo carece de una comprensión profunda de los conceptos clave y de su conexión con fenómenos observables, lo que limita un aprendizaje asociativo eficaz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos que se plantearon en la memoria del proyecto son los siguientes:

O1. Generación de material didáctico y de aprendizaje a través de la experimentación. Diseño y selección de un conjunto de experimentos, y del material didáctico correspondiente, para la realización de experiencias sencillas autoguiadas sobre polarización de la luz.

O2. Fomentar la curiosidad científica entre los estudiantes y estimular la búsqueda de respuestas con los recursos proporcionados. Proponemos que al plantear experiencias muy sencillas y “caseras”, les pueda motivar a intentar tener una comprensión más profunda de los fenómenos.

O3. Dar oportunidades y herramientas a los estudiantes para llevar a cabo aprendizaje por descubrimiento. Este tipo de aprendizaje, poco promovido en nuestras titulaciones, favorece el desarrollo de nuevas competencias.

O4. Promover la interacción entre estudiantes, y entre estudiantes y profesores. Se trata de suscitar el debate y la curiosidad, fomentando el aprendizaje participativo.

METODOLOGÍA

Con estas premisas, comenzamos la puesta en acción del proyecto. Podemos resumir las diferentes fases de implementación en los siguientes puntos, tal y como se contemplan en la memoria inicial.

T1. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE EXPERIENCIAS

Como primera fase del proyecto, se procedió a la selección y planificación del conjunto de experiencias que se propondrían a los estudiantes. Esta tarea incluyó la preparación y evaluación previa de distintas posibles actividades, con el objetivo de seleccionar aquellas que mejor se adaptaran a los objetivos del proyecto y a las condiciones prácticas de su implementación (disponibilidad de recursos, tiempo necesario para la explicación en el aula, nivel del alumnado, etc.).

El número de experiencias fue determinado en función de su relevancia conceptual, su simplicidad de ejecución (preferentemente con materiales de fácil acceso) y su potencial para favorecer la comprensión del fenómeno de la polarización de la luz y sus aplicaciones en diversas áreas como la Física o la Química.

La coordinadora del proyecto, con el apoyo de los demás integrantes, decidió proponer cuatro experimentos que se ajustaban adecuadamente a la temática de todas las asignaturas en las que se iba a implementar el proyecto. Las experiencias seleccionadas se describen brevemente a continuación, manteniendo tanto el orden en que fueron presentadas al alumnado como los títulos originales.

EXPERIMENTO 1: ELIMINAR REFLEJOS CON UN POLARIZADOR LINEAL

Verificar el fenómeno de la reflexión en el ángulo de Brewster. Cuando un haz de luz incide sobre una superficie dieléctrica bajo dicho ángulo, la luz reflejada se encuentra polarizada linealmente en el plano perpendicular al de incidencia. Esta polarización permite que, al colocar un polarizador lineal con el eje de transmisión con la orientación adecuada, se pueda eliminar prácticamente la componente reflejada.

EXPERIMENTO 2: FOTOELASTICIDAD

Analizar la distribución de tensiones en materiales transparentes mediante la técnica de fotoelasticidad. Al someter una muestra isotrópica a tensión mecánica y colocarla entre polarizadores cruzados, se genera un patrón de franjas isocromáticas que corresponde a las diferencias en los esfuerzos principales. Estas franjas permiten visualizar y cuantificar el estado tensional del material, ya que la birrefringencia inducida está directamente relacionada con la magnitud de los esfuerzos internos.

EXPERIMENTO 3: PANTALLAS LCD

Comprobar que la luz emitida por las pantallas LCD está polarizada linealmente. Para ello, se utilizó un polarizador lineal que, al girarse frente a la pantalla, permite observar variaciones en la intensidad de la luz transmitida. Esta variación periódica indica que la luz emitida presenta una polarización definida. En la posición en que el eje del polarizador es perpendicular a la dirección de polarización de la luz, la transmisión se anula casi por completo, lo que confirma la naturaleza lineal de la polarización generada por la pantalla.

EXPERIMENTO 4: COMPROBAR LA POLARIZACIÓN PARCIAL DEL CIELO

Comprobar que la luz del cielo está parcialmente polarizada debido a la dispersión de la luz en la atmósfera (dispersión de Rayleigh). Se utilizaron dos polarizadores con los ejes de transmisión perpendiculares: de forma que uno dejaba pasar la luz polarizada verticalmente y el otro, horizontalmente. Al observar una zona del cielo situada a 90° del Sol, la intensidad de luz transmitida por el polarizador con eje horizontal es menor que la transmitida por el de eje vertical, lo que indica que en esa dirección la luz está polarizada principalmente en dirección vertical. Esto confirma la existencia de polarización parcial en la luz celeste.

T2. ELABORACIÓN DE GUIONES Y MATERIAL DIDÁCTICO DE APOYO

Una vez seleccionadas las experiencias, se diseñaron materiales didácticos con una estructura común para acompañar cada una de ellas. Estos materiales adoptaban el formato de una diapositiva tipo tríptico, pensada para que el alumnado pudiera acceder de un vistazo a la información esencial. Cada guion incluía una breve introducción teórica, la descripción detallada del procedimiento experimental a seguir, el listado del material necesario y una sección dedicada a las aplicaciones del fenómeno en otros campos científicos. Para reforzar su carácter pedagógico, todas las infografías mantenían esta misma estructura, y en algunos casos se complementaron con

algún recurso disponible en internet donde también se mencionaba el fenómeno o la forma de realizar el experimento.

Experimento 2: Fotoelasticidad

Birrefringencia inducida

La mayoría de los plásticos transparentes sometidos a tensión presentan birrefringencia, esto implica que las componentes ortogonales de la luz se propagan a distinta velocidad dentro del material, generando una diferencia de fase (desfase) entre ellas a la salida.

Para observar este efecto necesitamos una fuente de luz blanca e interponer el material entre dos polarizadores lineales con sus ejes de transmisión perpendiculares.

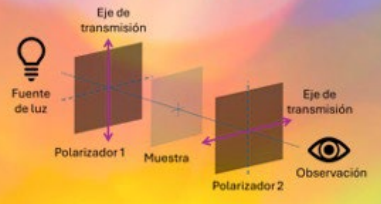
A la salida del primer polarizador, la luz entra linealmente polarizada en el material. La birrefringencia actúa como una lámina retardadora ($N/2$), girando el plano de polarización.

Al llegar al segundo polarizador, solo se transmite la componente paralela a su eje de transmisión. Como el desfase introducido varía según la tensión y la longitud de onda, el giro producido cambia punto a punto, y por eso se observan colores.

Aplicaciones

- Medida de esfuerzos y deformaciones

El mapa de colores observado nos da idea de las tensiones en el material, en las zonas más tensionadas las variaciones de color son más acusadas.



Material necesario

- Fuente de luz (cualquier fuente convencional, no láser)
- Dos polarizadores lineales
- Plástico transparente (Celo, cubiertos desechables, caja de CD/DVD, transportador de ángulos, regla, ...)

Procedimiento

- Coloca dos polarizadores lineales con sus ejes de transmisión perpendiculares delante de la fuente de luz.
- Introduce entre los polarizadores el objeto de plástico.

#PID2024/049
#Fotoelasticidad
#Polarización

Agradecimientos: OSAL, COMISION PERUANA, UNIVERSIDAD BRALAMANCA

Figura 1: Imagen de uno de los trípticos presentados a los alumnos

El objetivo de estos materiales fue facilitar la realización autónoma de las actividades por parte del alumnado, promoviendo un aprendizaje activo y por descubrimiento. Se prestó especial atención a la claridad, la secuenciación lógica y el uso de un lenguaje accesible para estudiantes de primer curso.

A través del siguiente enlace se puede acceder a una versión en *pdf* del material didáctico (infografías) que se puso a disposición de los estudiantes para la realización de los experimentos.

<https://drive.google.com/drive/folders/1RD1ehh68TrbK3mtOKnO2BiCPKV9HH1Rz?usp=sharing>

T3. TEMPORALIZACIÓN Y ADECUACIÓN A LA PROGRAMACIÓN DOCENTE

En esta fase del proyecto se procedió a integrar las experiencias seleccionadas dentro de la programación de cada asignatura. El profesor responsable asumió por completo esta tarea, identificando los momentos más adecuados del curso para introducir los conceptos relacionados con los experimentos, una vez presentado el fenómeno de la polarización. De este modo, su realización resultaba pedagógicamente relevante y complementaria al temario teórico.

La planificación temporal tuvo en cuenta tanto la distribución de contenidos a lo largo del semestre como la carga de trabajo del alumnado, de forma que las experiencias pudieran desarrollarse sin interferir negativamente en el ritmo general de la asignatura, y maximizando su impacto formativo.

T4. IMPLEMENTACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN EL AULA

Una vez diseñadas y programadas las experiencias, se procedió a su implementación en el aula. Tradicionalmente, la dinámica consistía en que el profesorado presentaba el experimento en clase mediante una breve demostración con el material, para después invitar al alumnado a replicarlo. Sin embargo, la experiencia de cursos anteriores evidenció que una parte significativa del estudiantado no prestaba suficiente atención a las explicaciones iniciales, lo que derivaba en

dificultades a la hora de ejecutar correctamente el experimento o de identificar qué debían observar.

Para paliar esta situación y fomentar una actitud más activa hacia la experimentación, se optó por permitir que los estudiantes se llevaran el material a casa, y posteriormente solicitar una evidencia (fotografía) demostrando su ejecución. Precisamente en esta posibilidad reside el elemento original del proyecto: ofrecer al alumnado la oportunidad de explorar fenómenos ópticos —como la polarización de la luz— fuera del aula, en su entorno cotidiano y a su propio ritmo. Dicho material consistía en dos polarizadores lineales, un elemento óptico de bajo coste y fácil adquisición. Para su preparación, se adquirieron láminas de polarizador disponibles en el mercado, con un espesor aproximado de 3 mm y dimensiones 20 cm x 30 cm, que fueron cortadas con una guillotina en cuadrados de 5 cm x 5 cm (ver Figura 2). Este tamaño se consideró manejable y adecuado para facilitar su uso, además de permitir que el mayor número posible de estudiantes pudiera participar en la actividad. Cada estudiante recibió un par de polarizadores para llevárselos a casa, como se ha mencionado ya, y poder realizar la experiencia de forma autónoma fuera del aula.



Figura 2: Fotografía de uno de los experimentos realizados por los alumnos (Experimento 3: Pantallas LCD), en el centro de la imagen se muestra el polarizador lineal. A la vez se observa que la luz de la pantalla no se transmite a través del elemento óptico, efecto que se pretende observar con el experimento.

Una vez repartido el material, se presentó al alumnado el experimento correspondiente, se explicaron brevemente los conceptos teóricos relacionados con el experimento y que forman parte del temario de la asignatura, y se habilitó el acceso en *Stodium* —el campus virtual de la Universidad de Salamanca— al material didáctico previamente elaborado. Este último, como se ha descrito anteriormente, servía como guía para los alumnos y no se utilizó directamente en clase. En los casos en los que fue posible, el profesor replicó los experimentos en el aula tal y como se les han propuesto a los estudiantes. El profesorado adoptó un rol de acompañamiento, fomentando que los estudiantes realizaran la experiencia de forma autónoma o en pequeños grupos, siguiendo el guion proporcionado. Se promovió la observación activa, la formulación de hipótesis y la discusión en el aula, con el objetivo de estimular la participación y el pensamiento crítico.

Para facilitar el acceso a la actividad al alumnado que no asiste regularmente a clase, se habilitó en *Stodium* una página con todas las infografías y vídeos explicativos necesarios para realizar la experiencia de forma independiente. De este modo, se pretendía que la actividad llegase al mayor número posible de estudiantes, y se notificó a todo el alumnado sobre su disponibilidad. Sin embargo, podemos afirmar que los alumnos que han participado en la actividad han sido principalmente los que asisten a clase. Si tomamos como muestra uno de los grupos participantes

en el proyecto, el porcentaje de alumnado que entregó un documento final como resultado de la actividad (30 %) fue muy similar al porcentaje que participa activamente en clase (34 %).

T5. SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS Y FOMENTO DE LA INTERACCIÓN

En coherencia con el objetivo O4 del proyecto, se animó a los estudiantes a compartir los resultados de las experiencias realizadas a través de plataformas digitales como *YouTube*, *Instagram* o *TikTok*. El propósito era fomentar la interacción entre iguales y reforzar el aprendizaje mediante la explicación del fenómeno observado con sus propias palabras.

Sin embargo, no se tiene constancia de que esta propuesta se haya materializado de forma significativa. Aunque algunos estudiantes entregaron materiales de alta calidad —incluyendo imágenes y descripciones muy elaboradas—, no se han encontrado evidencias claras de que estos contenidos se hayan compartido en redes sociales o en otros espacios de difusión entre compañeros.

Una posible causa de esta escasa participación en la socialización digital podría ser que, pese al interés del alumnado en realizar correctamente la experiencia, la idea de compartir los resultados con sus iguales no resultó lo suficientemente atractiva o motivadora. Esto sugiere que, para futuras ediciones del proyecto, sería conveniente replantear esta actividad, quizá vinculándola a una dinámica de aula más directa (como una exposición breve, una galería colaborativa, por ejemplo, en *Padlet*, o una pequeña evaluación entre pares), que potencie de forma más efectiva la interacción y el debate.

T6. CREACIÓN DE UN REPOSITORIO COMPARTIDO EN *STUDIUM*

Con el fin de reforzar tanto la curiosidad científica del alumnado (O2) como la interacción entre estudiantes y profesorado (O4), se habilitó en la página del curso en *Stodium* un espacio específico para compartir los resultados visuales de las experiencias realizadas. Esta sección se creó una vez que todos los estudiantes habían enviado sus trabajos, y antes de la prueba de evaluación final, de modo que sirviera como recurso de repaso y reflexión conjunta.

El profesorado organizó el material por temáticas, según las experiencias previamente planteadas, lo que facilitó su consulta. El carácter accesible y flexible del repositorio en *Stodium* lo convierte en una herramienta valiosa y fácilmente replicable en futuras ediciones del proyecto. Esta iniciativa no solo ofreció visibilidad al trabajo del alumnado, sino que también permitió observar enfoques diversos, promoviendo la reflexión, el aprendizaje entre pares y la consolidación de los conceptos clave antes de la evaluación final.

Las evidencias recogidas fueron muy diversas: algunas imágenes eran elaboradas y acompañadas por una breve descripción escrita por el estudiante, mientras que otras consistían en una simple colección de fotografías sin explicación.

A continuación, se reproducen algunas de las imágenes presentadas por los alumnos y que han sido incluidas en las páginas de *Stodium* de cada asignatura como recopilación de las evidencias enviadas.

Como es de esperar no todos los experimentos entrañaban la misma dificultad, aunque son todos muy sencillos. En concreto, realizar correctamente el Experimento 4 no era trivial, ya que la posición del sol con respecto a la dirección de observación del cielo era importante y determinaba la buena consecución del experimento. En la Figura 6 podemos ver un caso de una correcta realización del

experimento, en este caso el alumno ha añadido unas flechas indicando la orientación del eje de transmisión del polarizador, esta información, aunque se proporcionaba también en la guía no ha sido incluida en las imágenes por casi ningún estudiante. Lo que indica también, en este caso, el grado de interés por mostrar que ha comprendido el fenómeno.



Figura 3: Fotografías presentadas por uno de los estudiantes participantes en el proyecto para demostrar la realización del Experimento 1: Eliminar reflejos con un polarizador lineal. Se observa claramente que el alumno ha comprendido qué es lo que se le pedía ya que la imagen de la derecha muestra como el reflejo producido en el capó del coche se elimina por la acción del polarizador.

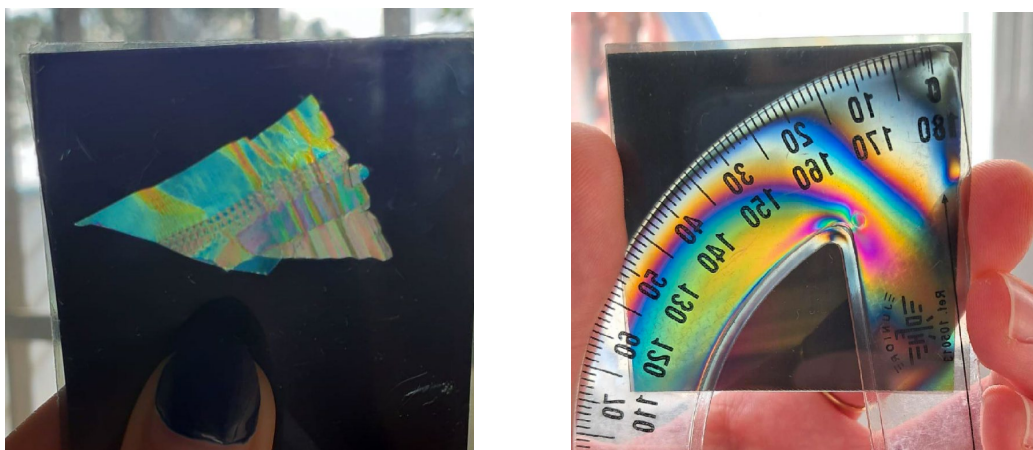


Figura 4: Imágenes presentadas por dos estudiantes para demostrar el fenómeno de la fotoelasticidad. En ambos casos, el experimento está correctamente realizado. La imagen de la derecha reproduce fielmente el montaje propuesto en el guion, mientras que en la imagen de la izquierda se emplea un material distinto al sugerido. Este tipo de iniciativas pone de manifiesto el interés que la experiencia ha suscitado en el alumnado, que en algunos casos opta por ir más allá del guion y experimentar por su cuenta.

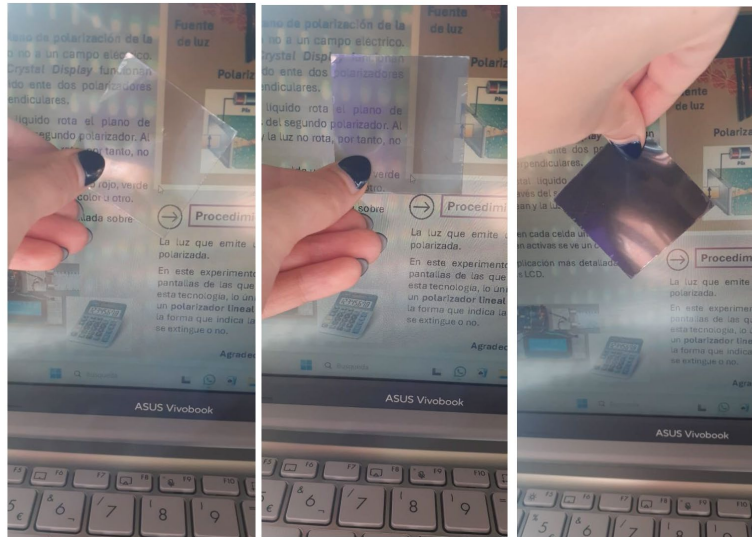


Figura 5: Secuencia de imágenes presentada por una alumna para ilustrar la realización del experimento sobre pantallas LCD. La forma en que ha decidido mostrar las imágenes revela un interés por demostrar que ha comprendido el concepto de polarización de la luz y el funcionamiento del polarizador lineal como analizador. Este conocimiento no solo se aplica a las pantallas LCD, sino que constituye un resultado de aprendizaje muy importante, sobre el que se insiste de forma destacada en la asignatura.

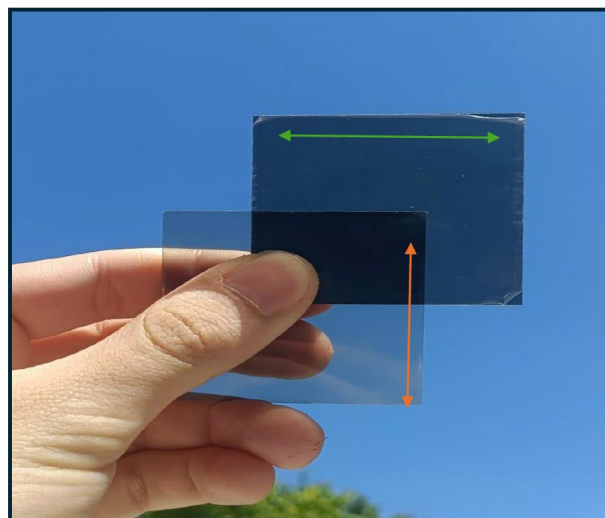


Figura 6: Imagen presentada por un alumno para demostrar el fenómeno de la polarización parcial de cielo, se puede observar que la intensidad de la luz que pasa a través del polarizador situado en la parte superior de la imagen es menor que la que pasa por el polarizador colocado en la parte inferior. En este caso el alumno ha añadido unas flechas sobre la imagen que indican los ejes de transmisión de ambos polarizadores, por tanto, es posible inferir el estado de polarización de la luz que pasa a través de cada uno de ellos.

T7. RETROALIMENTACIÓN A TRAVÉS DE CUESTIONARIOS BREVES

Con el objetivo de valorar el grado de comprensión alcanzado por los estudiantes tras la realización de las experiencias (O3), así como de fomentar la interacción pedagógica entre alumnado y profesorado (O4), se planteó inicialmente la realización de breves cuestionarios —de dos o tres preguntas— a través de la plataforma *Stodium*. Estos cuestionarios tenían como finalidad ofrecer una retroalimentación inmediata y formativa sobre los conceptos clave abordados en cada experiencia.

Sin embargo, en la práctica se optó por no implementar cuestionarios intermedios, y en su lugar se proporcionó una retroalimentación final conjunta, una vez concluido el conjunto de actividades. Esta decisión se tomó para no sobrecargar al alumnado en un periodo del curso especialmente denso en cuanto a entregas y evaluaciones, y para respetar el enfoque de aprendizaje por descubrimiento, permitiendo que los estudiantes exploraran libremente los fenómenos sin sentir que estaban siendo evaluados constantemente.

Se habilitó una entrega a través de *Stodium* y se pidió a los estudiantes que subieran en un solo documento *pdf* las imágenes de sus experimentos. Se dejó libertad en cuanto a la forma de presentar los resultados, algunas personas incluyeron títulos y una breve descripción del fenómeno observado en las imágenes, otros simplemente pegaron las fotos sin más.

La distribución de los polarizadores fue voluntaria, al igual que la entrega de una memoria posterior, pero sí contaba para la nota de la evaluación continua, y por tanto para la nota final de la asignatura. El peso de actividad variaba entre unas asignaturas y otras, pero aproximadamente contaba un 5% de la nota global del curso, un peso similar al de otras entregas.

En la valoración del documento por parte del profesorado se tuvo en cuenta el grado de consecución de cada uno de los experimentos, constatándose que el Experimento 4 fue el que entrañó una mayor dificultad. Como no se dieron instrucciones a los alumnos sobre cómo elaborar el documento *pdf* se le otorgó un peso relativamente bajo a aspectos formales de presentación, como el uso de títulos, la organización del contenido o el hecho de incluir una pequeña descripción de los experimentos.

La retroalimentación final, tal y como se ha descrito en la sección anterior, se centró en los conceptos fundamentales trabajados en las experiencias y permitió reforzar los aprendizajes de manera más global, integrando los distintos aspectos tratados a lo largo del proyecto.

T8. REFUERZO Y REPETICIÓN DE CONTENIDOS EN FUNCIÓN DE LA RETROALIMENTACIÓN

Esta tarea estaba planteada como una fase de refuerzo, en la que, a partir de los resultados obtenidos en los cuestionarios previstos en la T7, se valoraría la conveniencia de repetir o ampliar la explicación teórica asociada a las experiencias, en caso de detectarse dificultades de comprensión por parte del alumnado (O1 y O3).

Asimismo, se contemplaba la posibilidad de reformular las instrucciones de la experiencia en aquellos casos en que los errores observados se debieran a una interpretación incorrecta de la propuesta experimental.

Sin embargo, dado que no se llevaron a cabo los cuestionarios previstos en la T7, no fue posible disponer de una base objetiva para tomar decisiones en este sentido. Además, el enfoque adoptado, basado en el aprendizaje por descubrimiento, se consideró suficientemente sólido como

para no interferir con intervenciones adicionales que pudieran condicionar el proceso autónomo de exploración del alumnado.

No obstante, se mantuvo la disponibilidad del profesorado para resolver dudas puntuales durante las sesiones presenciales y a través de los canales de comunicación del aula virtual, lo que permitió atender individualmente a quienes manifestaron dificultades en la realización de las experiencias o en la interpretación de los fenómenos observados.

T9. ENCUESTA DE SATISFACCIÓN.

Siguiendo las directrices del objetivo (O4) se elaboró una breve encuesta que posteriormente se distribuyó entre los alumnos —de forma telemática a través de Studium—. A la encuesta podían acceder tanto los alumnos que han participado en el proyecto realizando las experiencias como los que no, aunque, a juzgar por las respuestas obtenidas, entendemos que los que no han participado no la han contestado. El objetivo de la encuesta era que los propios alumnos valoren si esta forma de acercarse al fenómeno de la polarización de la luz les ha resultado útil, y si consideran que les ha ayudado a comprender el concepto teórico, además se pretendía recoger impresiones que permitieran valorar la actividad y, en su caso, introducir mejoras en futuras ediciones.

La encuesta se distribuyó una vez que los alumnos habían entregado el trabajo, pero antes de recibir la calificación. Estaba disponible en la página de Studium de cada una de las asignaturas en las que se implantó el proyecto, como se ha mencionado previamente. Las respuestas eran anónimas y la encuesta incluía en total cinco preguntas: dos preguntas con escala de valoración del 1 al 5, una pregunta de selección múltiple y dos de respuesta abierta. El número total de respuestas ha sido de 23, lo que se corresponde con un 21% del total de personas que han participado en el proyecto.

RESULTADOS

En cuanto a las evidencias recogidas, como ya se ha mencionado anteriormente, únicamente se solicitó una fotografía del fenómeno observado. En este aspecto, los trabajos presentados por los alumnos fueron muy variados: algunos incluyeron evidencias elaboradas, mientras que otros aportaron lo mínimo indispensable. Lo mismo ocurrió con la presentación del documento: algunos alumnos añadieron un título e incluso una breve descripción del fenómeno con sus propias palabras, mientras que otros se limitaron a pegar una colección de imágenes sin mayor contextualización.

Tomando como muestra uno de los grupos donde se ha propuesto la actividad, en concreto uno de los grupos del grado en Química, 27 personas recibieron polarizadores. De ellas, un 70% (19 personas) presentaron la actividad. Por otro lado, un 30% de quienes tenían polarizador (8 personas) no la presentaron. Además, hubo 5 estudiantes que, sin haber recibido el material, decidieron igualmente participar, lo que representa un pequeño pero significativo 20% del total de participantes (24). Cabe destacar que solo 4 personas de las que presentan el trabajo suspenden la asignatura.

En cuanto a la encuesta que se distribuyó entre el alumnado, esta incluía, entre otras, una pregunta sobre si la realización del experimento les había ayudado a comprender el fenómeno de la polarización de la luz y el uso de polarizadores lineales, valorándolo en una escala del 1 al 5. El 60,9 % de los estudiantes otorgó la puntuación máxima (5), lo que indica una valoración muy positiva de la actividad. Un 21,7 % la valoró con un 4, y el 17,4 % restante con un 3. Estos resultados sugieren que, en general, los estudiantes consideraron que el experimento les ayudó a entender mejor el concepto trabajado.

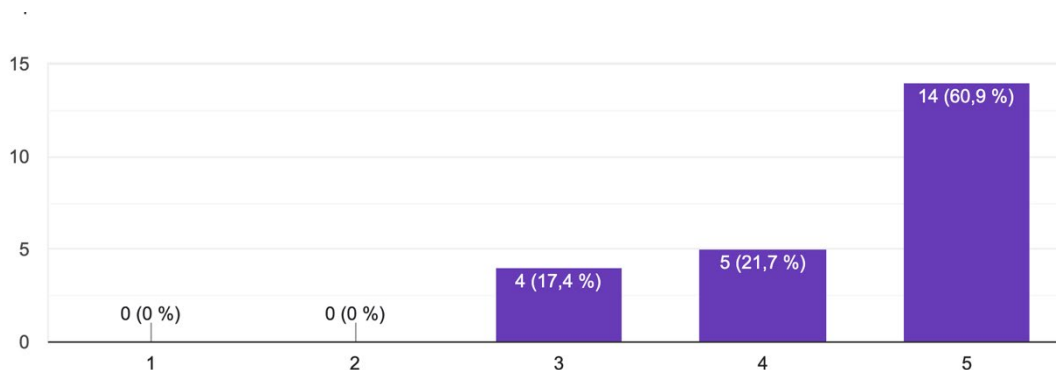


Figura 7: Respuestas de los alumnos a la pregunta: ¿Crees que el hecho de poder realizar los experimentos en casa y a tu ritmo te ha ayudado a comprender mejor el concepto de la polarización de la luz y el uso de polarizadores lineales? Valora del 1 al 5

En otra de las preguntas, se les pidió valorar si el material didáctico proporcionado había sido útil para realizar correctamente el experimento. Las respuestas coincidieron exactamente con las obtenidas en la pregunta anterior: el 60,9 % otorgó la puntuación máxima (5), el 21,7 % valoró con un 4 y el 17,4 % con un 3. Estos datos refuerzan la idea de que tanto el diseño del experimento como el material de apoyo resultaron adecuados para facilitar la comprensión del fenómeno físico.

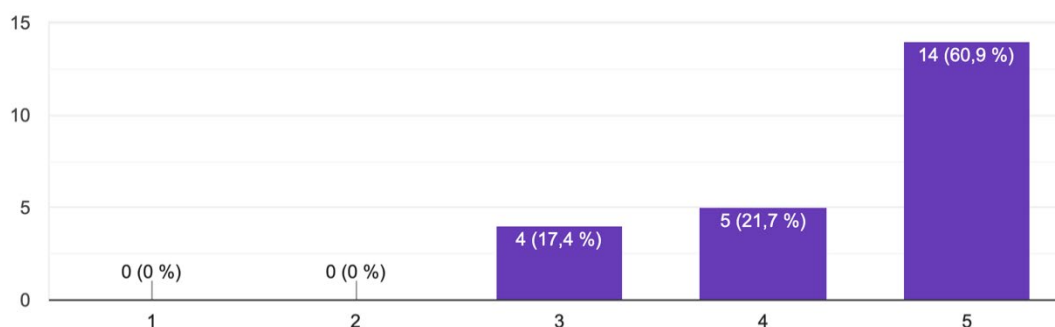


Figura 8: Respuestas de los estudiantes a la pregunta: ¿Crees que el material didáctico proporcionado en Studium era suficiente para poder realizar el experimento correctamente por tu cuenta? Valora del 1 al 5.

Por otro lado, se les preguntó si consideraban que sería posible realizar experimentos similares en otros temas del programa de la asignatura. Las respuestas reflejaron un notable interés por este tipo de actividades: 15 estudiantes señalaron que podrían llevarse a cabo experiencias en el ámbito de la óptica geométrica, 10 mencionaron la difracción y 6 las interferencias. Estos resultados sugieren que existe una buena disposición por parte del alumnado hacia la experimentación como herramienta de aprendizaje en física.

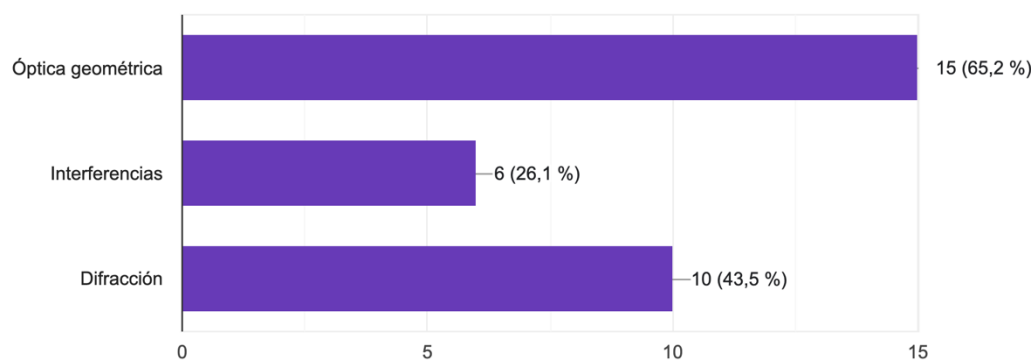


Figura 9: Respuestas de los estudiantes a la pregunta: ¿En qué otros temas que se estudian en la asignatura crees que se podrían realizar experimentos de este tipo?

A continuación, se invitó a los estudiantes a señalar algún aspecto positivo tras haber realizado la actividad. Para nuestra grata sorpresa, fueron varios los que se tomaron el tiempo de responder con comentarios abiertos, lo cual no siempre es habitual en este tipo de encuestas. Se reproducen a continuación los comentarios de los estudiantes en sus propios términos, sin modificaciones:

ASPECTOS POSITIVOS

- Considero que este tipo de actividades en las que el alumno tiene que experimentar por cuenta propia, pueden resultar muy enriquecedoras a todos los niveles; fomentando en su transcurso, la creatividad y el interés por lo estudiado.
- Gracias a los experimentos, quedan mucho mas claros los conceptos del tema de polarización
- Se aprende de una manera más dinámica
- me ha gustado porque he conocido más a fondo el concepto que se está estudiando en clase y la verdad que fue muy interesante ver como la luz no pasaba o se formaban arcoíris.
- Al realizar el documento y tener que revisar el fundamento teórico, ayuda a repasar y recapacitar los experimentos y a aprender de forma didáctica haciendo que no se olvide tan fácilmente las cosas.
- me divertí haciendo los experimentos
- Haber entendido mejor el funcionamiento de los polarizadores cruzados
- Gracias a la actividad he logrado comprender mejor en temario de la asignatura
- Poder llevar a la vida real lo que estudiamos, esto ayuda a la hora de entender mejor la materia. Da gusto ver que lo que se estudia se puede llevar a la práctica.
- El ver el temario de una manera práctica en cosas de la vida cotidiana
- Hemos observado en la práctica, lo que habíamos estudiado en la teoría

- Fue una gran forma de visualizar lo que en clase te repiten varias veces pero no puedes ver en efectos prácticos, creo que ayuda a percibir mejor la efectividad que tienen ciertos elementos en tu día a día
- Me gustó lo didáctico que fue
- Observar por ti mismo los efectos ópticos

La actividad ha sido valorada muy positivamente por el alumnado, destacando su carácter didáctico y experiencial. Los estudiantes señalan que la posibilidad de experimentar por sí mismos les ha permitido comprender con mayor claridad los conceptos teóricos, en especial los relacionados con la polarización de la luz. La realización práctica de los experimentos ha favorecido la asimilación de los conceptos al conectar la teoría con fenómenos observables en la vida cotidiana, lo que ha contribuido a consolidar el aprendizaje de forma más duradera.

Asimismo, los alumnos resaltan que la actividad ha fomentado la creatividad, el interés por la asignatura y la motivación general por el estudio, al ofrecer una forma de aprendizaje más dinámica y participativa. La elaboración del documento asociado a la práctica también ha resultado útil para reforzar el contenido teórico, ya que les ha obligado a revisar, reflexionar y comprender en profundidad lo trabajado durante la realización de los experimentos.

En conjunto, los comentarios reflejan que el enfoque práctico y activo de esta propuesta ha facilitado la comprensión de los contenidos, promovido el pensamiento crítico y generado una experiencia de aprendizaje significativa, que los estudiantes han percibido como enriquecedora, útil y motivadora.

Para finalizar también se dio la oportunidad a los encuestados de señalar aspectos negativos. Las respuestas de los estudiantes se recogen a continuación tal como fueron redactadas.

ASPECTOS NEGATIVOS

- No
- Ninguno.
- no encuentro aspectos negativos
- ninguno
- nada
- en algunos las indicaciones eran algo ambiguas pero se llegaban a entender
- El material usado debería haber sido videos
- Ninguno

La mayoría del alumnado no ha señalado aspectos negativos relevantes en relación con la actividad, manifestando de forma explícita que no han encontrado elementos a criticar o mejorar. No obstante, se han recogido un par de sugerencias puntuales que pueden ser tenidas en cuenta para futuras ediciones.

Por un lado, se menciona que algunas indicaciones podrían haber sido más claras, si bien se indica también que finalmente resultaron comprensibles. Este comentario apunta a la conveniencia de

revisar y afinar las instrucciones o materiales de apoyo, con el fin de facilitar aún más el desarrollo autónomo de la actividad.

Por otro lado, un estudiante sugiere que el uso de vídeos podría haber sido más adecuado como recurso, lo cual abre la posibilidad de complementar la actividad con material audiovisual que refuerce los conceptos clave o muestre el procedimiento experimental de forma previa o paralela a su realización práctica.

En conjunto, las observaciones críticas son escasas y de carácter constructivo, lo que refuerza la percepción globalmente positiva del proyecto y ofrece líneas de mejora realistas para su futura implementación.

EVALUACIÓN DEL ALCANCE DE OBJETIVOS

El objetivo O1 se considera completado al 100 %. El número de experimentos planteado ha resultado suficiente y, aunque el uso de los polarizadores permitía desarrollar otros adicionales, no se consideró necesario. En general, el material didáctico diseñado ha sido bien acogido por los estudiantes y, según las evidencias recogidas, ha sido adecuado para que pudieran realizar los experimentos de forma autónoma.

El grado de consecución del objetivo O2 se considera cercano al 100 %. Muchos estudiantes replicaron los experimentos de forma muy similar a como se presentaban en las infografías, pero, para nuestra grata sorpresa, la mayoría fue más allá y exploró otras opciones. Esto les permitió vivir una experiencia muy completa, buscando por un lado distintos materiales y, por otro, diferentes situaciones, como por ejemplo condiciones de iluminación variadas para poder realizar los experimentos.

El objetivo O3 se considera también completado al 100 %. No obstante, para futuras ediciones se podría ampliar la propuesta a otros temas, más allá de la polarización, dado que los estudiantes se han mostrado receptivos y dispuestos a ello. Esto permitiría, por supuesto, seguir fomentando un enfoque basado en el descubrimiento, ofreciendo al alumnado más oportunidades y herramientas para desarrollar su aprendizaje de forma activa.

En cuanto al O4 se considera completo a un 60% y se podría mejorar para sucesivas ediciones. Si bien nos consta que los estudiantes se han ayudado en la ejecución de los experimentos, el hecho de no haber realizado una retroalimentación en medio del proceso no ha favorecido la interacción del alumnado con el profesorado. Quizá para el futuro se podría suprimir otras actividades de evaluación continua, como por ejemplo cuestionarios que se realizan en el aula con otra temática, por cuestiones relativas a los experimentos o solicitar entregas parciales, tal y como se planteó en la memoria original, en lugar de la entrega final.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

La implementación del proyecto ha permitido constatar que el enfoque experimental y activo favorece una comprensión más profunda y significativa de conceptos complejos como la polarización de la luz. La propuesta ha sido bien acogida por el alumnado, sobre todo para el que asiste de forma habitual a clase, tal como reflejan tanto la elevada participación como los comentarios recogidos en la encuesta de satisfacción, en los que se destaca el carácter didáctico, motivador y aplicable de la experiencia. La posibilidad de experimentar fuera del aula, en un entorno cotidiano y a su propio ritmo, ha facilitado un aprendizaje autónomo y personalizado, conectando la teoría con fenómenos observables de forma efectiva.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que los objetivos fundamentales del proyecto — generación de material didáctico accesible, fomento del interés científico, promoción del aprendizaje por descubrimiento y estímulo de la interacción— han sido alcanzados en un grado elevado. Además, se ha observado que una parte del alumnado ha optado por ir más allá del guion previsto, explorando materiales alternativos y mostrando una actitud activa hacia la experimentación. Esta iniciativa no solo ha consolidado conocimientos teóricos, sino que ha favorecido el desarrollo de competencias transversales como la curiosidad, la creatividad o la capacidad de observación crítica.

De cara a futuras ediciones del proyecto, se plantea ampliar la propuesta a otros bloques temáticos de la asignatura, como la óptica geométrica, la difracción o las interferencias, áreas en las que también pueden diseñarse experiencias sencillas con alto valor didáctico. Asimismo, sería conveniente reforzar los mecanismos de interacción entre estudiantes y profesorado durante el proceso, a través de entregas intermedias, pequeñas actividades de seguimiento o dinámicas de exposición y debate en el aula.

En definitiva, el proyecto ha demostrado su eficacia como herramienta de innovación docente y ofrece una base sólida para su consolidación y evolución en próximos cursos. La experiencia acumulada, junto con las aportaciones del alumnado, permite perfilar estrategias de mejora realistas y sostenibles que sigan promoviendo una enseñanza activa, participativa y centrada en el estudiante.

En Salamanca, a 30 de junio de 2025