



VNiVERSIDAD  
D SALAMANCA

MEMORIA DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN Y MEJORA DOCENTE ID2021/084

Diseño e implementación de un prototipo de laboratorio para el refuerzo de competencias de carácter experimental en técnicas ópticas mediante gamificación y aprendizaje por descubrimiento

**Coordinador:**

Ignacio López Quintás

**Equipo:**

Benjamín Alonso Fernández  
Ana García Cabrera  
Miguel López Ripa  
Rodrigo Martín Hernández  
Javier Rodríguez Vázquez de Aldana  
Javier Serrano Rodríguez  
Íñigo Juan Sola Larrañaga



## 1. Introducción

En este proyecto titulado “*Diseño e implementación de un prototipo de laboratorio para el refuerzo de competencias de carácter experimental en técnicas ópticas mediante gamificación y aprendizaje por descubrimiento*” hemos desarrollado una serie de montajes experimentales que permiten trabajar distintas habilidades prácticas comunes en el ámbito de la Óptica desde un enfoque distinto al que tradicionalmente se emplea en las prácticas curriculares. Se han introducido elementos propios de la *gamificación* y del aprendizaje por descubrimiento y se ha evaluado su impacto en la docencia.

En algunos casos, como en el de los estudiantes del Grado en Física, muchas de esas habilidades se han trabajado en la docencia práctica de la titulación. A nivel de máster, y en concreto en el Máster en Física y Tecnología de los Láseres, impartido en el Área de Óptica, se puede dar el caso de tener alumnos matriculados que no poseen una formación extensiva en Óptica. En ambas situaciones, se ha llegado a la conclusión de que es conveniente reforzar ese trabajo práctico.

Asimismo, en muchas prácticas de Óptica, debido a la limitación de tiempo, usar los montajes propios de la práctica para trabajar estas habilidades más comunes de forma específica puede resultar poco conveniente debido a la posibilidad de desalinearse el montaje y tener que invertir demasiado tiempo en recuperar la situación original para poder desarrollar la práctica con normalidad. Además, en el caso de los láseres de alta energía que se emplean en las prácticas del Máster en Física y Tecnología de los Láseres, debido a los riesgos que entraña su manipulación, hay que ser más restrictivos en cuanto a las partes de los experimentos que pueden manipular los alumnos. Con el enfoque propuesto en este proyecto se pretende que los alumnos trabajen estas habilidades prácticas en un entorno más relajado, evitando la presión de trabajar con sistemas más complejos o que requieran precauciones especiales por cuestiones de seguridad. De esta forma se espera aumentar la motivación de los alumnos, fomentar la resolución de problemas de forma autónoma y, al mismo tiempo, reforzar las competencias prácticas adquiridas durante los estudios de grado o máster.

Se pretende que el presente proyecto sirva como semilla de una línea de trabajo docente a medio y largo plazo. Por ello, se ha construido un prototipo experimental formado por distintos módulos donde se trabajan habilidades concretas como el alineamiento o la manipulación de un haz láser. Este enfoque modular permite ir añadiendo nuevos módulos en el futuro para trabajar otras habilidades prácticas.

## 2. Objetivos

El objetivo último del proyecto es proporcionar a los estudiantes una herramienta que les permita aprender o reforzar habilidades prácticas que se usan de forma rutinaria en los laboratorios de Óptica.

Los objetivos específicos recogidos en la propuesta original son los siguientes:

- **01.** Desarrollo de módulos de experiencias prácticas en óptica.
- **02.** Aplicación de dichos módulos a través de diversas metodologías alternativas (*gamificación*, aprendizaje por descubrimiento...)
- **03.** Evaluación de la eficacia de la aplicación de los módulos en asignaturas a cargo del Área de Óptica.



### 3. Material y recursos empleados

En el presente proyecto se ha empleado el espacio disponible para la docencia T0332 del Área de Óptica en el Edificio Trilingüe de la Facultad de Ciencias.

Para este proyecto se han adquirido los siguientes componentes, financiados a cargo del Máster en Física y Tecnología de los Láseres:

- Tablero óptico
- Cámara CMOS
- 5 espejos
- 5 monturas de espejos
- 5 postes
- 5 soportes de poste

El resto del material empleado ha sido material previamente disponible en los laboratorios de docencia del Área de Óptica y en el laboratorio del grupo de investigación en Aplicaciones del Láser y Fotónica. Se han empleado los siguientes componentes:

- Fuente láser de diodo
- Etapa de traslación manual
- Espejo de tipo “*roof mirror*” y montura
- Tablero óptico
- Postes de tamaños variados
- Ordenador portátil
- Lentes y espejos varios
- *Pinhole*
- Raíles y carros

En cuanto a los recursos humanos destinados, cabe señalar que la composición del equipo que ha desarrollado el proyecto ha variado con respecto a la propuesta inicial, ya que dos de los participantes incluidos en dicha propuesta, Warein Holgado Lage y Ali Esquembre Kucukalic, han causado baja en la USAL durante el primer cuatrimestre del curso. Por otro lado, Roberto Galende Pérez, estudiante del Grado de Física, ha contribuido al diseño y montaje del módulo 1 como parte de su trabajo fin de grado y su contribución se agradece expresamente.

En cuanto a la justificación económica, no se aplica en este caso al no haber recibido financiación destinada a la realización del proyecto en la presente convocatoria. Sin embargo, como ya se explicaba en la propuesta inicial, el proyecto no era viable sin la adquisición de cierto material básico. Por lo tanto, a pesar de esta situación, se ha efectuado un esfuerzo especial para poder adquirir dicho material a cargo de otras fuentes de financiación, cuya compra será debidamente justificada siguiendo el procedimiento establecido en cada caso.



## 4. Metodología

El proyecto consiste en el diseño, montaje, prueba e implementación en la docencia de un prototipo que permita trabajar distintas habilidades comunes en un laboratorio de Óptica. El prototipo está organizado en distintos módulos en los que los alumnos trabajan una habilidad concreta. La idea es que estos módulos sean complementarios entre sí, es decir, que los alumnos tengan la posibilidad (o la obligación) de realizar las experiencias que se trabajan en cada uno de ellos de forma secuencial.

### **Organización de las tareas**

En la propuesta inicial las tareas a realizar estaban organizadas y se relacionaban con los objetivos propuestos de la siguiente manera:

- T1.** Diseño de los distintos módulos de experiencia (O1)
- T2.** Montaje e implementación de los módulos de experiencia en el prototipo experimental (O1)
- T3.** Aplicación de los módulos de experiencia en las distintas asignaturas implicadas (O2)
- T4.** Implementación de las metodologías de *gamificación* y aprendizaje basado en descubrimiento en el prototipo (O2)
- T5.** Evaluación cuatrimestral del impacto del nuevo material docente y de la nueva metodología en el aprendizaje (O3)
- T6.** Evaluación global final (O3)

Debido a las limitaciones descritas en la siguiente sección (Temporalización) las tareas realizadas se han limitado a T1, T2, T3 (parcialmente), T4 (parcialmente) y T6.

### **Temporalización**

En cuanto a la temporalización de las actividades propuestas, el proyecto ha abarcado los dos cuatrimestres del curso académico 2021-2022, si bien ha habido variaciones con respecto a la propuesta inicial. La principal de ellas relacionada con las tareas T3 y T5, ya que después de la fecha de concesión (26 de octubre de 2021) se invirtió tiempo y esfuerzo en la búsqueda de fuentes de financiación alternativas, así como, una vez solventado este problema, en la adquisición de nuevo material, recibirlo, montar los distintos módulos y probarlos, no siendo posible implementarlos en las asignaturas del primer cuatrimestre. Los mismos motivos afectaron a la evaluación propuesta en la T5 para el primer cuatrimestre.

Por lo tanto, durante el primer cuatrimestre se han llevado a cabo las tareas T1, T2 y T4, mientras que en el segundo cuatrimestre se han realizado las tareas T2, T3, T4 y T6.

Según se recoge en la propuesta inicial, aparte de las tareas descritas anteriormente, se han elaborado una serie de guiones describiendo cada una de las experiencias con el fin de que los alumnos conozcan de antemano las distintas reglas a seguir para realizarlas. Dichos guiones se recogen en el Anexo I de esta memoria.

## 5. Actividades desarrolladas

En este apartado se describen las actividades realizadas en el presente proyecto. A continuación se describen los distintos módulos realizados. Para cada módulo se proporciona una tabla donde se especifica el nivel de dificultad relativa de la experiencia realizada (teniendo en cuenta los conceptos teóricos manejados y la dificultad práctica), el tiempo aproximado que se necesita para realizarla, las habilidades técnicas trabajadas, así como otras habilidades transversales trabajadas al realizar la experiencia.

### Módulo 1. Alineamiento de un haz láser

Dificultad	Baja
Tiempo requerido	30'
Habilidades técnicas trabajadas	Alineamiento de haz láser Manejo de elementos optomecánicos
Otras habilidades trabajadas	Pensamiento lateral Visión espacial Resolución de problemas

El primer módulo en cuanto a complejidad que se ha realizado tiene como objetivo practicar el procedimiento de alineamiento de un haz láser. Este módulo se plantea como una adaptación de un juego de habilidad ya conocido, en el que los participantes deben unir los 9 puntos que forman una matriz 3x3 mediante sólo 4 líneas (por ejemplo, trazos sobre un papel).

En este caso, los participantes disponen de una matriz de 9 puntos sobre un tablero óptico (superficie con orificios roscados equiespaciados que se emplea para montar los componentes ópticos y optomecánicos en los experimentos). La matriz está formada por pequeños postes sobre los que se encajan las monturas que sujetan los espejos (Figura 1).

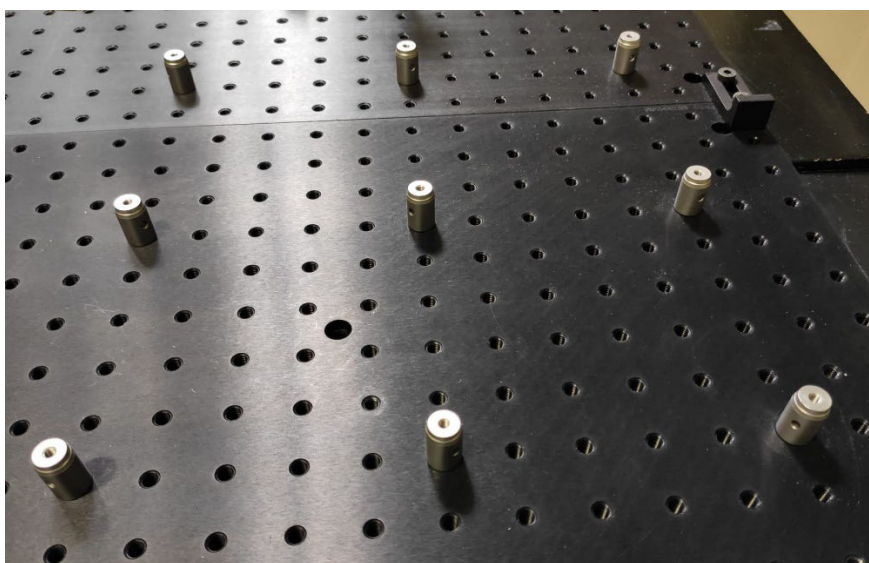


Figura 1. Matriz de posiciones por las que tiene que pasar el haz.

Además, se dispone de una fuente láser de baja potencia y cuatro espejos en monturas que permiten el ajuste de su inclinación horizontal y vertical para poder realizar el alineamiento del haz (Figura 2).

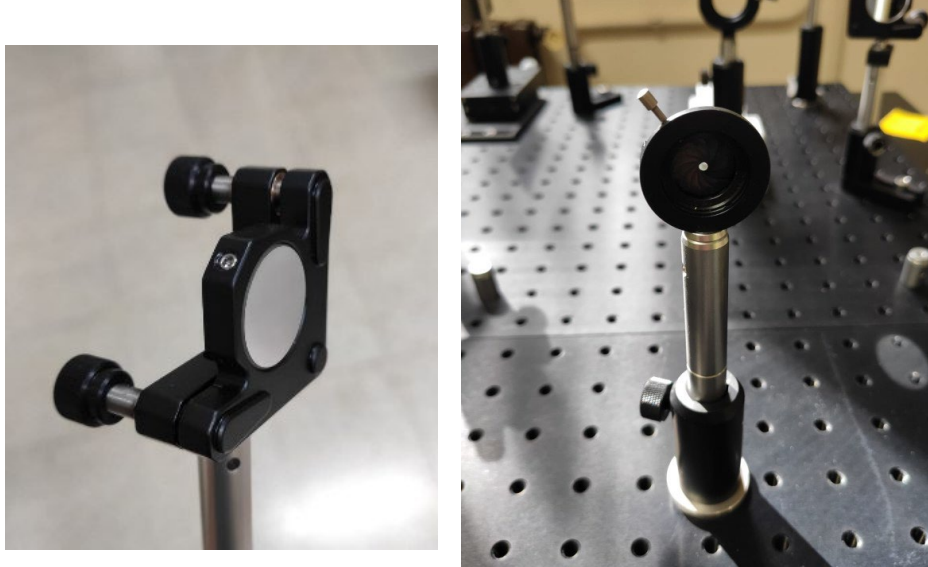


Figura 2. Izquierda: imagen de un espejo en una montura con dos grados de libertad: ajuste de la inclinación horizontal y vertical. Derecha: diafragma que sirve como referencia para alinear el haz láser en las distintas posiciones de la matriz.

El objetivo de la experiencia es que los participantes hagan pasar el haz por los 9 puntos de la matriz utilizando solamente cuatro espejos, que en principio pueden colocar en cualquier lugar del tablero óptico. De esta forma, aparte de fomentar la capacidad de visualizar el problema de forma espacial, se pretende que los alumnos tengan que manipular los espejos, de la misma forma que se haría para alinear un haz láser en un experimento real.

Como referencia, para comprobar que el haz pase por todos los puntos, se dispone de un diafragma (Figura 2) montado sobre un soporte que, al igual que los espejos, se encaja en los postes de la matriz. La altura de este diafragma puede darse prefijada con respecto a la altura del haz láser o puede dejarse que sea el participante el que tenga que ajustar dichas alturas, en función del grado de complejidad que se quiera introducir.

Tanto la posición de la fuente láser como la del primer espejo se pueden dar prefijadas para limitar la complejidad de la experiencia. En tal caso, la primera trayectoria que debe de seguir el haz viene dada, dejando a los participantes la tarea de decidir en qué posiciones deben colocar los otros tres espejos para hacer que el haz pase por las 6 posiciones restantes.

La resolución del problema viene dada por el esquema mostrado en la figura 3. Este “acertijo” fomenta el pensamiento lateral ya que los participantes tienden a usar solamente las posiciones de la matriz como posibles ubicaciones de los espejos, si bien deben darse cuenta de que el problema no se puede resolver si no se posicionan dos espejos fuera de ésta.

En el caso de que la posición del primer espejo esté prefijada, los alumnos deben alinear el haz haciendo que este pase por las tres posiciones de la diagonal mayor (trayectoria 1 en el esquema de la figura 3). Para ello deben usar los actuadores que controlan la inclinación vertical y horizontal tanto

del láser como del primer espejo. Con estos grados de libertad y siguiendo un proceso iterativo, es posible alinear el haz para que pase por los tres primeros puntos como se muestra en la figura 4.

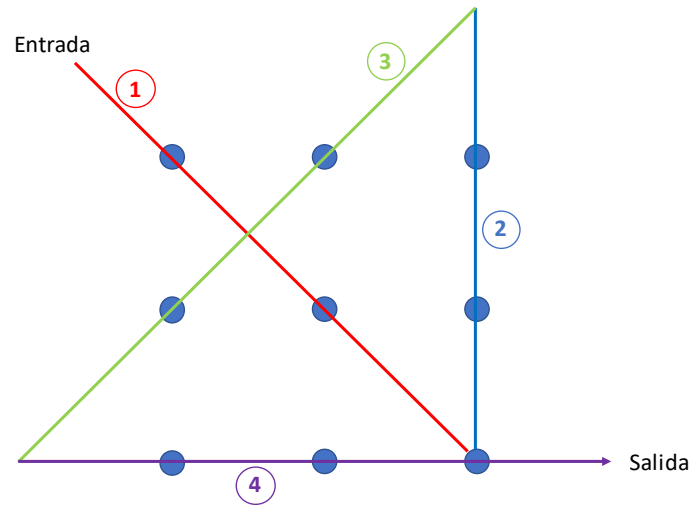


Figura 3. Esquema de la resolución del problema planteado.

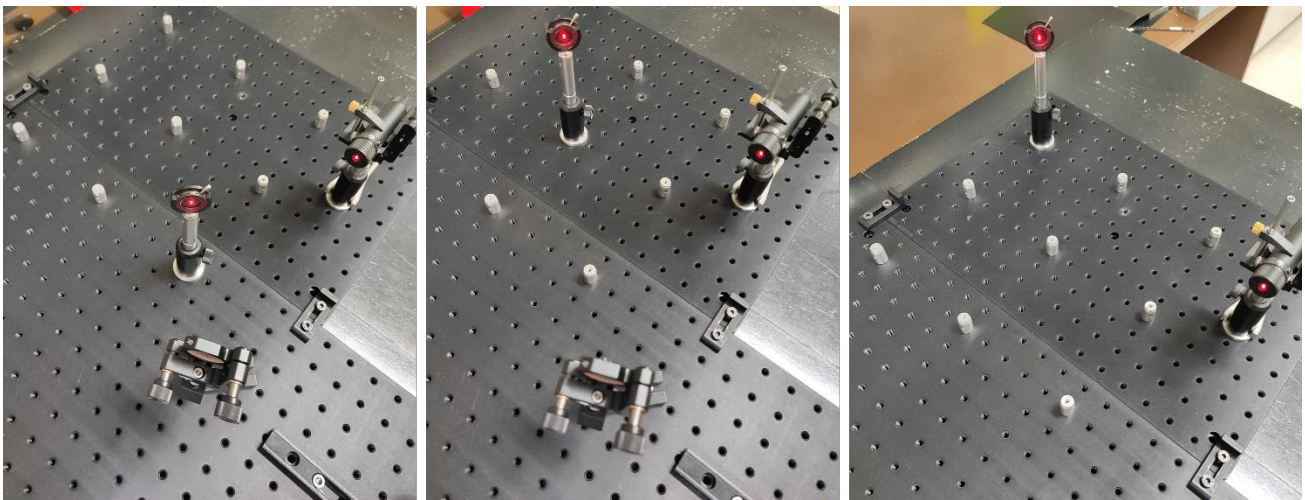


Figura 4. Secuencia de alineamiento de la primera trayectoria a resolver. Al proporcionar tanto la fuente láser como el primer espejo prefijados, la primera trayectoria que tiene que seguir el haz viene dada y solamente será necesario alinear el haz de forma iterativa mediante los actuadores del láser y del espejo para que pase por el iris situado en las tres primeras posiciones (diagonal mayor).

Una vez que los participantes resuelvan la trayectoria que debe de seguir el haz para pasar por el resto de los puntos de la matriz y, por lo tanto, decidir en qué posiciones del tablero tienen que colocar los otros tres espejos, la tarea consistirá en hacer que el haz pase por el diafragma en todos los puntos de la matriz, actuando sobre los espejos y usando el diafragma como referencia, del mismo modo que se haría en un experimento convencional.



Para cuantificar el resultado de la actividad y para incentivar a los participantes, el tiempo invertido desde que se dan las instrucciones de cómo se desarrollará la experiencia hasta que se consigue hacer pasar el haz por el último de los puntos de la matriz es cronometrado. De esta forma se puede establecer un *ranking* entre los participantes (ver apartado 6).

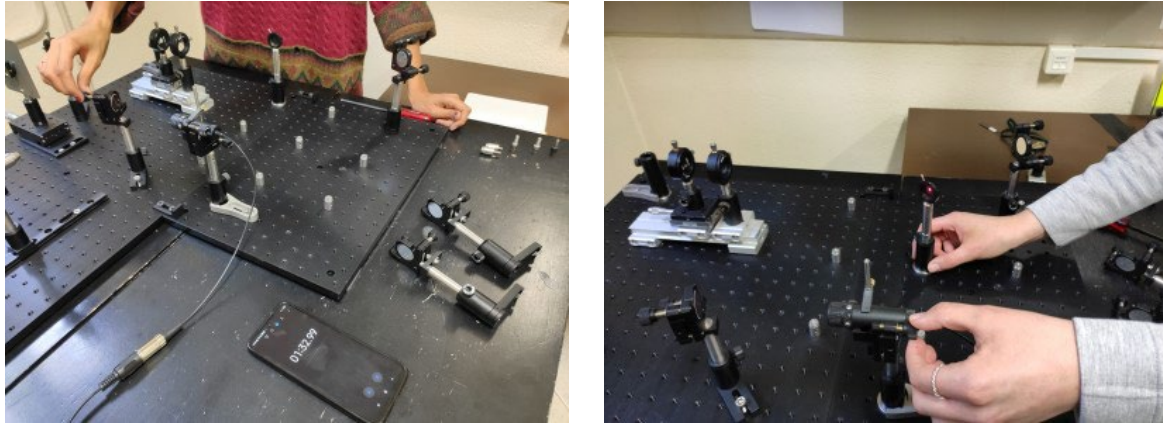


Figura 5. Alumnas de la asignatura Laboratorio de Láseres Intensos del Máster en Física y Tecnología de los Láseres realizando la experiencia de alineamiento de un haz láser en el módulo 1.

### Módulo 2. Alineamiento de una línea de retardo

Dificultad	Media-baja
Tiempo requerido	60'
Habilidades trabajadas	Alineamiento de haz láser Procedimiento específico para alinear línea de retardo Manejo de elementos optomecánicos Visualización de un haz láser con una cámara digital Atenuación de un haz láser
Otras habilidades trabajadas	Resolución de problemas de forma autónoma Visión espacial

En este módulo se pretende que los estudiantes se familiaricen y practiquen el procedimiento a seguir para alinear una “línea de retardo”. Una línea de retardo es un sistema formado por varios elementos ópticos y optomecánicos que permiten controlar la distancia que recorre un haz de luz (p.ej. un haz láser) con respecto a otro. Es un sistema de uso común, por ejemplo, en los dispositivos ópticos llamados *interferómetros* y es de especial utilidad cuando se trabaja con láseres pulsados para poder controlar el retardo relativo entre dos o más pulsos. Alinear un sistema de este tipo no es una tarea trivial y requiere seguir un procedimiento determinado, que puede resultar poco intuitivo, lo que hace especialmente importante su práctica.

La figura 6 muestra un esquema de una línea de retardo típica con la trayectoria que sigue un haz láser que se quiere controlar.

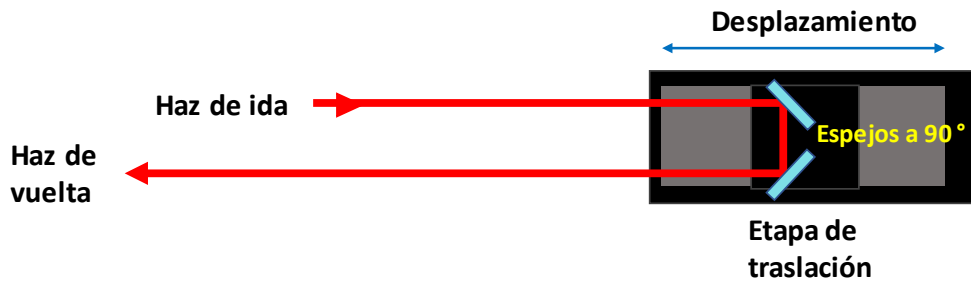


Figura 6. Esquema de una línea de retardo en la que al desplazar los espejos formando un ángulo de  $90^\circ$  se fuerza al haz a recorrer una distancia mayor o menor.

Mediante el desplazamiento de la etapa de traslación (ya sea manual o motorizada) se fuerza a este haz a recorrer una distancia menor o mayor con respecto a otro haz sin cambiar su alineamiento relativo. De esta forma se puede controlar el retraso entre dos pulsos láser. La etapa de traslación cuenta con dos espejos dispuestos a  $90^\circ$ , de forma que el haz de ida y el de vuelta sean paralelos.

El procedimiento a seguir para alinear la línea de retardo es el siguiente: los alumnos tienen que asegurarse de que el haz de ida es paralelo al eje de traslación de la etapa sobre la que se montan los espejos. Para conseguir esto, se les da tiempo para que piensen en la problemática de este alineamiento, dejándoles actuar de forma autónoma, manipular los elementos etc. Una vez que se han familiarizado con el problema, deben de buscar la mejor solución con los elementos de los que disponen: espejos y una cámara digital para visualizar el haz (Figura 7).

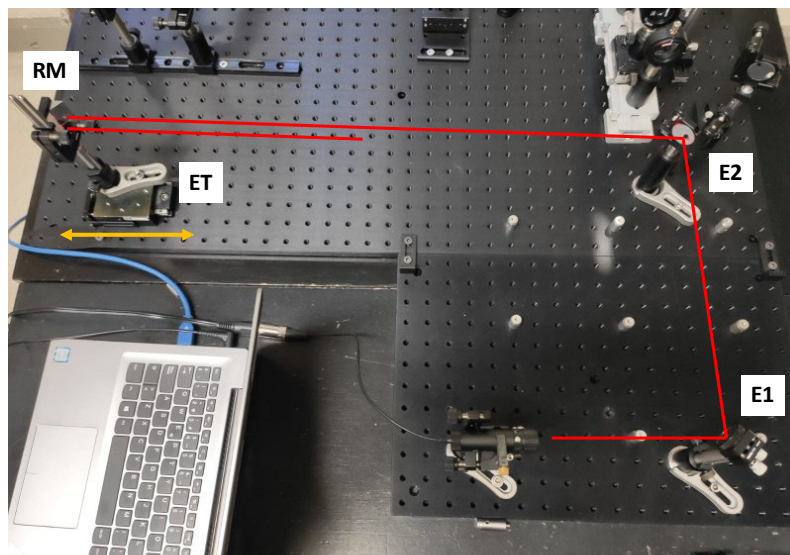


Figura 7. Imagen del montaje para trabajar el alineamiento de una línea de retardo implementado en el prototipo. La línea roja muestra la trayectoria del haz láser. Los dos espejos (E1 y E2) se emplean para modificar la trayectoria del haz que llega al *roof mirror* (RM) situado sobre la etapa de traslación lineal (ET).

Para simplificar el problema del alineamiento se empleó un elemento óptico comercial llamado “*roof mirror*”, consistente en una pieza con dos caras internas espejadas formando un ángulo fijo de  $90^\circ$  entre ellas. Este componente asegura el paralelismo entre el haz incidente y reflejado en la línea de retardo sin tener que modificar la posición de los dos espejos de forma individual (Figura 8).

Un nivel de mayor dificultad consistiría en emplear dos espejos independientes en lugar de del “roof mirror”, añadiendo más grados de libertad y la necesidad de garantizar un ángulo de  $90^\circ$  entre ambos.

Los alumnos tienen que darse cuenta de que la forma más eficaz de comprobar si el haz de ida es paralelo al eje de traslación de la etapa es montando la cámara en lugar de los espejos a  $90^\circ$ . Una vez montada (Figura 8), tendrán que visualizar el haz de ida y comprobar que al adelantar o retrasar la posición de la cámara mediante la etapa de traslación, el centro del haz sobre la imagen registrada no se desplaza ni lateral ni verticalmente. Al proporcionarles todo el sistema desalineado, la posición del haz sobre la cámara se desplazará y por lo tanto tendrán que corregir mediante dos espejos situados antes de la etapa de traslación, la inclinación del haz de ida de forma iterativa hasta que la posición no cambie con el desplazamiento de la línea de retardo.

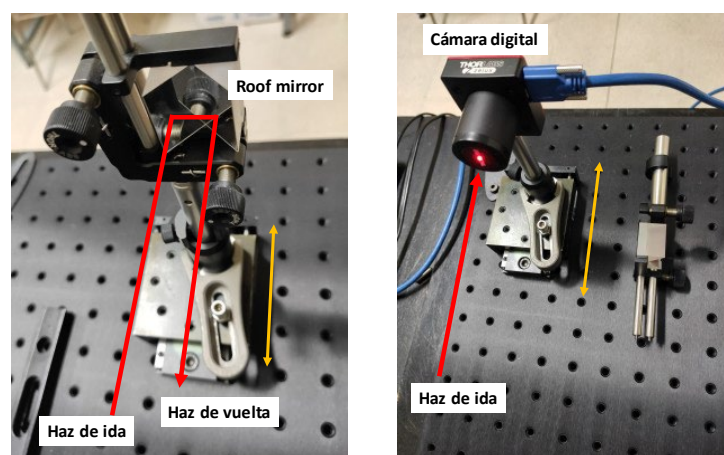


Figura 8. Detalle del “roof mirror” montado sobre una etapa de traslación de actuación manual (izquierda) y la cámara digital montada sobre la misma etapa de traslación (derecha).

Una vez que se han asegurado de que el haz de ida es paralelo al eje de traslación de la etapa, deben sustituir la cámara por los dos espejos (o en este caso por el *roof mirror*) y comprobar el haz de vuelta. Si bien el *roof mirror* asegura que el haz sea paralelo en el eje horizontal deben comprobar que éste es paralelo al plano de la mesa. Para esto deben observar el haz de vuelta colocando la cámara fija en el tablero (Figura 9) y desplazar la línea de retardo. Mediante la inclinación del *roof mirror* deben conseguir que el centro del haz no se desplace sobre la cámara.

Este procedimiento es relativamente laborioso y por lo tanto consume bastante tiempo. En una práctica convencional, al realizar los alumnos este procedimiento, se corre el riesgo de tener que realinear todo el sistema, agotando el tiempo disponible para realizar el resto de la práctica. Además, si se usa un láser pulsado e intenso, este procedimiento entraña un cierto riesgo, inherente a la manipulación de un haz de estas características. Realizar este entrenamiento en un montaje dedicado exclusivamente a esta tarea, con un láser mucho menos intenso, en un entorno más distendido, donde sean los propios alumnos los que tienen que descubrir los problemas característicos de este tipo de sistemas y buscar la solución más adecuada, resulta beneficioso para su aprendizaje.

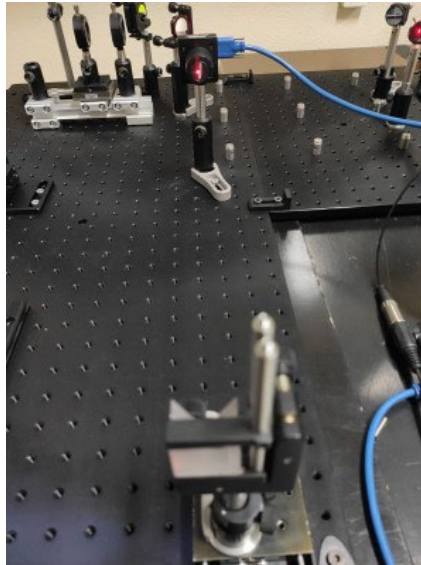


Figura 9. Cámara digital situada en el camino del haz después de pasar por la línea de retardo (haz de vuelta)

Esta experiencia se implementó en el contexto de la práctica 2 “Pump&Probe” de la asignatura Laboratorio de Láseres Intensos del Máster de Física y Tecnología de los Láseres, en donde se emplea un montaje con una línea de retardo y un láser de alta potencia. En esta práctica los alumnos realizan un experimento de tipo “bombeo y sonda” (pump&probe) en el que un primer pulso láser interactúa con una muestra y un segundo pulso láser se emplea para detectar los cambios inducidos en la muestra por el primer pulso. Para controlar el tiempo de retardo entre ambos pulsos se emplea una línea de retardo similar a la descrita previamente en esta sección.

La práctica se dividió en dos partes, una en la que durante una hora podían trabajar de forma autónoma con el montaje de alineamiento de la línea de retardo descrito en esta sección y, una vez que realizaban esa experiencia, continuaban con la práctica convencional en el montaje de la práctica de bombeo y sonda propiamente dicha, tomar las medidas etc.

### Módulo 3. Filtrado espacial de un haz láser

Dificultad	Media
Tiempo requerido	60'
Habilidades trabajadas	Alineamiento de haz láser Alineamiento fino de elementos ópticos Manejo de elementos optomecánicos Visualización de un haz láser con una cámara digital
Otras habilidades trabajadas	Visión espacial Manejo de software científico Procesado de imágenes

El tercer módulo consiste en un sistema denominado *filtro espacial*. Se trata de una serie de elementos que consiguen mejorar el perfil espacial (la forma) de un haz. Idealmente, la distribución espacial de un haz debería de ser de tipo gaussiano. La fuente de luz utilizada es un láser de diodo.

Este tipo de láseres, debido a su construcción, tienen un perfil espacial rectangular, muy alejado de esta distribución espacial ideal. Este hecho, que generalmente es un inconveniente, ayuda en este caso a que los estudiantes visualicen el efecto del filtrado espacial y entiendan su importancia.

El filtro espacial consta de una lente convergente de focal  $f=50$  mm seguida de una abertura circular o “*pinhole*” de 40 micrómetros de diámetro montado en un soporte con un ajuste fino de la posición vertical y horizontal (Figura 10).

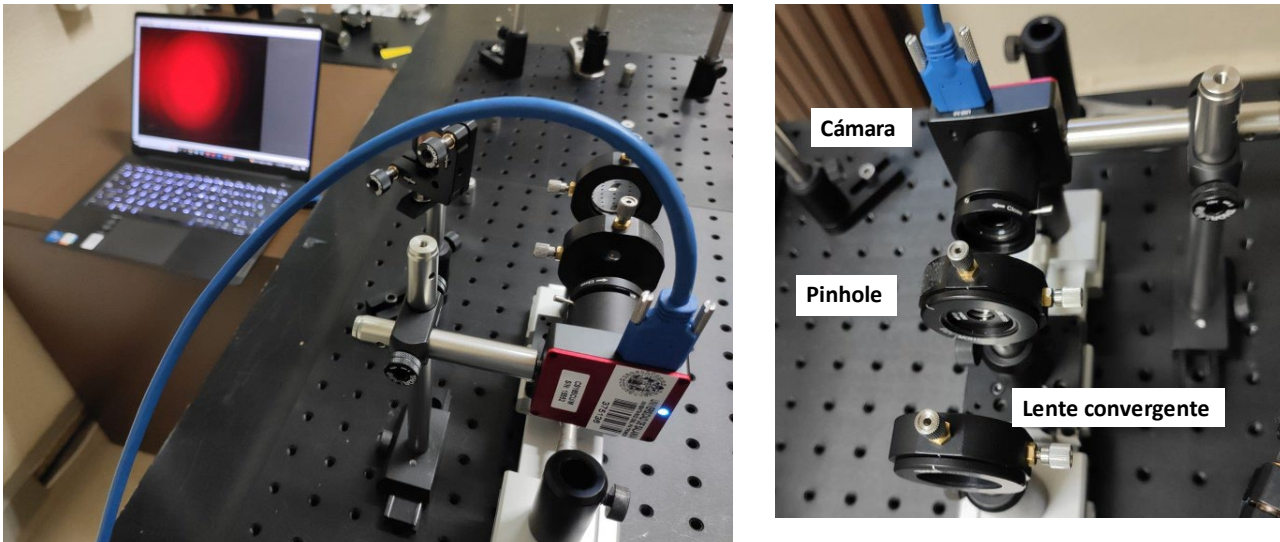


Figura 10. Detalle del filtro espacial compuesto de una lente convergente seguida de un orificio de 40 micrómetros de diámetro (*pinhole*) y una cámara digital para visualizar el perfil espacial del haz. En el panel de la izquierda se puede observar la imagen del haz registrada por la cámara digital después de pasar por el filtro espacial.

A la salida del filtro se coloca una cámara digital que permite obtener una imagen en tiempo real del perfil espacial del haz, así como registrarla (Figura 11).

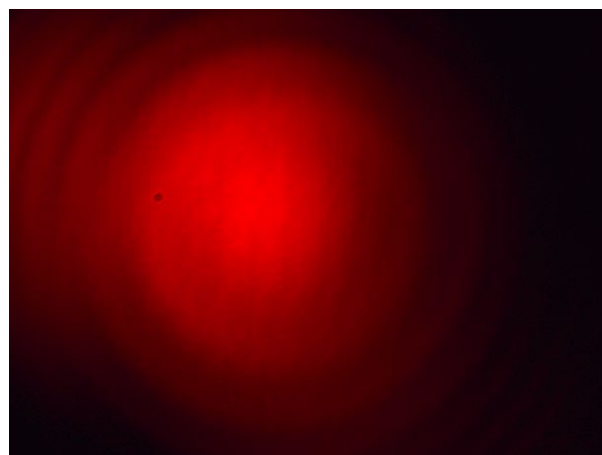


Figura 11. Ejemplo de una imagen del perfil espacial del haz láser obtenida a la salida del filtro espacial.

Mediante cambios en la inclinación del haz con respecto al filtro espacial, en la posición (vertical y horizontal) tanto de la lente como del *pinhole* y en la posición relativa de la lente con respecto a este

último, los participantes deben de conseguir que el haz presente una forma lo más circular posible en el plano de la cámara (lo que implicaría una distribución de energía más próxima a la ideal gaussiana).

Para cuantificar la bondad del filtrado espacial, los participantes deben de registrar una o varias imágenes con la cámara digital y mediante un código sencillo, desarrollado específicamente para este proyecto en el software científico Matlab (ver Anexo II), se analiza la imagen para obtener parámetros que permitan determinar cómo se compara la distribución espacial obtenida con la distribución ideal. De esta forma se puede establecer un *ranking* de “mejor alineamiento del filtro espacial”.

El código importa la imagen obtenida por la cámara en formato RGB y la transforma en una matriz en escala de grises para operar con ella. En primer lugar, normaliza la matriz de escala de grises para que el máximo valor sea igual a la unidad, de esta forma las diferentes medidas seguirán un criterio común y serán comparables. Después, calcula los marginales de X e Y, es decir, las integrales en la dirección horizontal y vertical de nuestro haz y busca la posición del máximo en cada caso. Puesto que en la imagen tomada por la cámara la dimensiones horizontal y vertical tienen distinto tamaño, el código selecciona un número de puntos común en torno a cada máximo para tener dos marginales con el mismo tamaño. Finalmente, calcula la desviación cuadrática media (también conocida como *RMS* o *root-mean-square*) y el parámetro conocido como anchura a media altura (*FWHM*, *full width at half maximum*) de cada marginal y los representa en una gráfica (Figura 12).

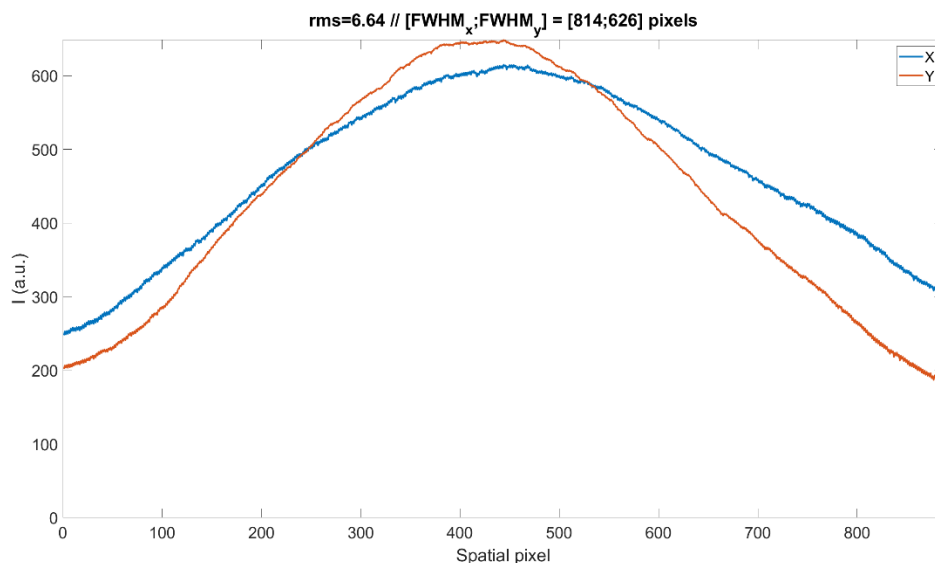


Figura 12. Representación de los marginales en los ejes X e Y de una de las imágenes obtenidas mediante la cámara digital. A partir de estos datos se calculan los parámetros RMS y FWHM que permiten la comparación entre los distintos filtrados espaciales.

Para una distribución ideal de tipo gaussiano estos marginales deben ser iguales entre sí, de tal forma que el valor ideal de *RMS* sea cero. Por lo tanto, podemos utilizar el valor de *RMS* obtenido por cada participante como figura de mérito para establecer un *ranking* (cuanto más bajo sea su valor mejor alineado estará el sistema) y usar el parámetro *FWHM* en caso de empate para poder determinar quien obtuvo mejor resultado. Si fuera necesario, el código permite filtrar la matriz en escala de grises de tal forma que todos los valores por debajo de un cierto umbral sean truncados a cero. Esto puede ser útil si la cámara introduce ruido al realizar la medida, en nuestro caso no necesitamos aplicarlo, pero puede ser útil en otras situaciones.



## 6. Resultados, mejoras obtenidas e impacto del proyecto

Se propuso realizar la experiencia del módulo de alineamiento de forma voluntaria entre alumnos a nivel de máster y doctorado, cronometrando el tiempo invertido en resolver el problema y alinear el haz láser, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 1. Resultados obtenidos por los alumnos que han realizado la experiencia de alineamiento de un haz láser.

Participante	Tiempo empleado
Estudiante 1	11' 16''
Estudiante 2	10' 10''
Estudiante 3	25' 11''
Estudiante 4	14' 02''
Estudiante 5	14' 22''

El tiempo promedio que han tardado los estudiantes desde que se les dan las instrucciones y consiguen llegar con el haz al último punto de la matriz es de 15 minutos. La mayor dificultad que han encontrado ha sido decidir la posición del primer espejo que debe colocarse fuera de la matriz (ver figura 3). Una vez que han colocado ese espejo, decidir la posición del siguiente, que también debe de ir fuera de la matriz, en general les ha resultado más fácil. Por otro lado, una vez resuelto el problema de la trayectoria que debe seguir el haz, el alineamiento en sí les ha resultado relativamente sencillo, de ahí que el tiempo invertido no sea demasiado elevado.

Como se ha descrito en el apartado 5 de esta memoria, el módulo 2 (alineamiento de una línea de retardo) fue incluido como parte de la docencia en la asignatura Laboratorio de Láseres Intensos del Máster en Física y Tecnología de los Láseres. Esta asignatura optativa cuenta con 9 alumnos matriculados en el presente curso. En la siguiente sección se describen los resultados sobre esta experiencia.

### **Evaluación del impacto y mejoras**

Como estaba previsto en la propuesta inicial, para evaluar el impacto del proyecto se elaboró una encuesta, disponible en la plataforma Studium para todos los alumnos matriculados en la asignatura de Laboratorio de Láseres Intensos del Máster en Física y Tecnología de los Láseres. La encuesta realizada consta de dos preguntas sobre la percepción de la utilidad de estas experiencias en su formación. Las respuestas a las preguntas eran anónimas y los resultados se muestran a continuación.

**Pregunta 1:** ¿Cómo de útil te ha resultado la práctica con un set-up paralelo destinado a trabajar una habilidad concreta del contexto de la asignatura? Número de respuestas: 8 (de 9 matriculados)

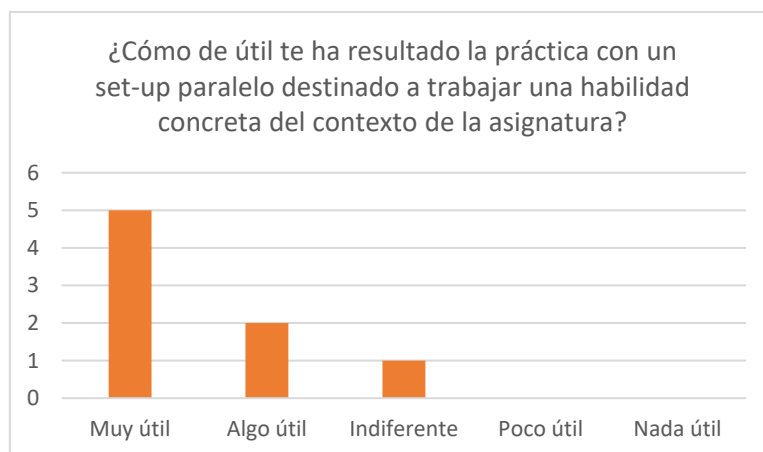


Figura 13. Respuestas a la pregunta 1 sobre la utilidad de la experiencia.

Como se deduce de la figura 13 el grado de utilidad percibido por los estudiantes es alto. La mayoría (5/8) encuentran muy útil haber practicado habilidades concretas de forma paralela al desarrollo de las prácticas de la asignatura.

**Pregunta 2:** ¿Consideras beneficioso para tu aprendizaje este tipo de experiencias en las que se trabaja en un ambiente más distendido y/o que introducen elementos de juegos? Número de respuestas: 8 (de 9 matriculados)

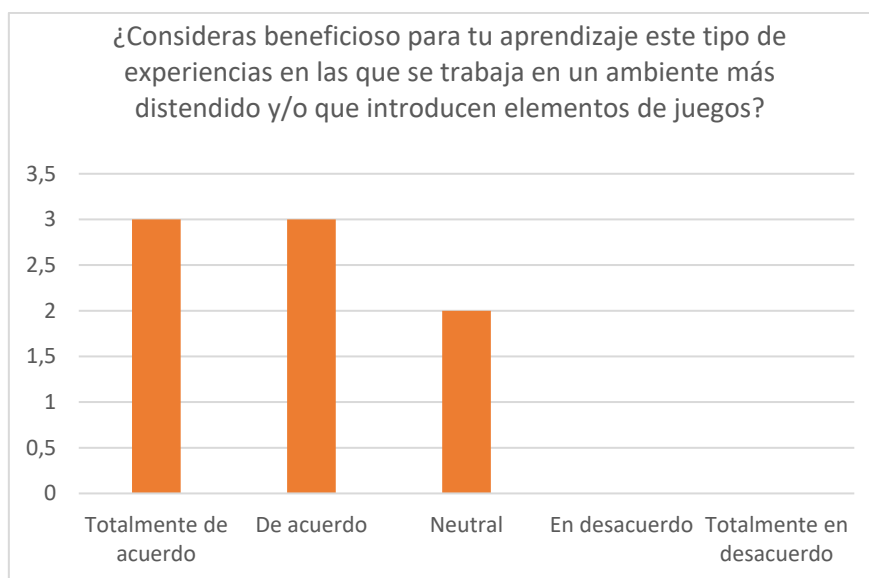


Figura 14. Respuestas a la pregunta 2 de la encuesta sobre el enfoque basado en la gamificación.

Comparando ambas respuestas, de la figura 14 se deduce que los alumnos no le dan tanta importancia al trabajo en un ambiente más distendido que incorpore elementos de *gamificación* como al hecho de trabajar de forma adicional ciertas habilidades prácticas concretas (pregunta 1).



## Sugerencias de mejora

Además de las preguntas descritas anteriormente, se habilitaron en la misma encuesta dos espacios para que los alumnos participantes pudieran plantear su opinión, puntos de mejora etc. a modo de “buzón de sugerencias”, como estaba previsto en la propuesta inicial. En el primer espacio habilitado se les planteaba la siguiente pregunta para recabar información relativa a qué otras habilidades necesarias para el trabajo en el laboratorio de Óptica consideran que se deberían trabajar (o trabajar más).

**Pregunta 3:** ¿Qué otras habilidades prácticas o conocimientos relacionados con el trabajo en un laboratorio de óptica te hubiese gustado trabajar más?

Se obtuvieron 7 respuestas válidas (ver Anexo III) en las que se mencionan varios aspectos sobre los que les hubiese gustado trabajar. Cabe destacar que varias respuestas inciden en un aspecto concreto: la realización de un montaje desde cero. Es decir, que dispongan de un “lienzo en blanco”, se les plantee o planteen ellos mismos una experiencia a realizar y tengan que buscar, montar y hacer funcionar un experimento. Varias respuestas mencionan el realizar experimentos propuestos por ellos mismos en vez de propuestos por los profesores.

Esta sugerencia seguramente esté relacionada con el hecho de que en todos los casos siempre se parte de algún elemento previamente dado, prealineado etc. A ese respecto hay que tener en cuenta dos aspectos: por un lado, la disponibilidad de tiempo en el marco de las distintas asignaturas y por otro lado la disponibilidad limitada de material. En todo caso, es sin duda una mejora a tener en cuenta y se puede adaptar la metodología para darles más libertad a los alumnos a la hora de elegir los aspectos a trabajar y más autonomía a la hora de tener que resolver los problemas planteados.

**Consulta:** Otras sugerencias para introducir este tipo de experiencias en la docencia práctica de la titulación

Sólo dos alumnos han contestado a esta consulta (que era de carácter voluntario). Han sugerido que este tipo de experiencias *gamificadas* o de aprendizaje por descubrimiento se plantee de forma que los alumnos puedan realizarlas durante todo el curso de forma voluntaria, autónoma y paralela a las asignaturas.

En este sentido cabe destacar que este es precisamente el planteamiento que se persigue con este proyecto a largo plazo. Se pretende que el montaje, con los módulos actuales o con nuevos módulos que se añadan, esté a disposición de los alumnos, en principio del Máster en Física y Tecnología de los Láseres durante todo el curso académico y que ellos puedan practicar de forma autónoma las distintas habilidades. Por otro lado, como se ha descrito en la propuesta inicial, está previsto poder ampliar su uso a otras titulaciones a nivel de grado (Grados en Física y en Química), si bien, en el contexto de este proyecto, no ha sido posible su implementación en este curso académico.

Por otro lado, uno de los alumnos ha sugerido que este tipo de actividad se desarrolle durante más horas, pero más repartidas a lo largo del curso. Esta sugerencia está directamente relacionada con lo expuesto anteriormente. Si bien es cierto que durante este curso el uso de esta metodología docente se implementó como parte de asignaturas concretas y esto pudo hacer que los alumnos lo percibieran como “trabajo extra”, la metodología está prevista para que los alumnos hagan uso de ella de forma autónoma y por lo tanto que sean ellos mismos los que decidan cuándo y durante cuánto tiempo quieren



practicar. Esto no excluye que, en casos concretos como los descritos previamente, donde en una práctica determinada sea conveniente no realizar grandes ajustes, y se requiera de un montaje paralelo para trabajar una cierta habilidad práctica, se pueda usar este montaje y esta metodología.

## 7. Conclusiones

En conclusión, se ha identificado la conveniencia de reforzar habilidades prácticas comunes en el trabajo cotidiano en un laboratorio de Óptica. Si bien estas habilidades se trabajan durante los estudios de grado o máster en las prácticas convencionales de estas titulaciones, debido a la limitación de tiempo y el empleo de láseres de alta potencia, se llegó a la conclusión de que era necesario dar un enfoque diferente para trabajar de forma específica este tipo de aspectos prácticos. Para lograr este objetivo se ha propuesto el empleo de un montaje experimental basado en distintos módulos en los que los estudiantes puedan trabajar dichas habilidades de forma segura y autónoma en un ambiente más relajado.

Se ha desarrollado un prototipo experimental compuesto por tres módulos complementarios, cada uno destinado a trabajar una habilidad concreta. El módulo 1 trabaja el alineamiento de un haz láser, el módulo 2 trabaja el alineamiento de una línea de retardo y el módulo 3 trabaja el filtrado espacial de un haz láser. Así mismo, con el fin de fomentar la motivación de los alumnos y reforzar los mecanismos de aprendizaje, en este proyecto se ha estudiado la posibilidad de introducir elementos de gamificación y aprendizaje por descubrimiento. Se han adaptado elementos de este tipo a las experiencias que se trabajan en cada uno de los módulos. Tras la evaluación realizada se llega a la conclusión de que en general el impacto sobre el aprendizaje de los alumnos que han realizado las distintas experiencias con el prototipo es positivo.

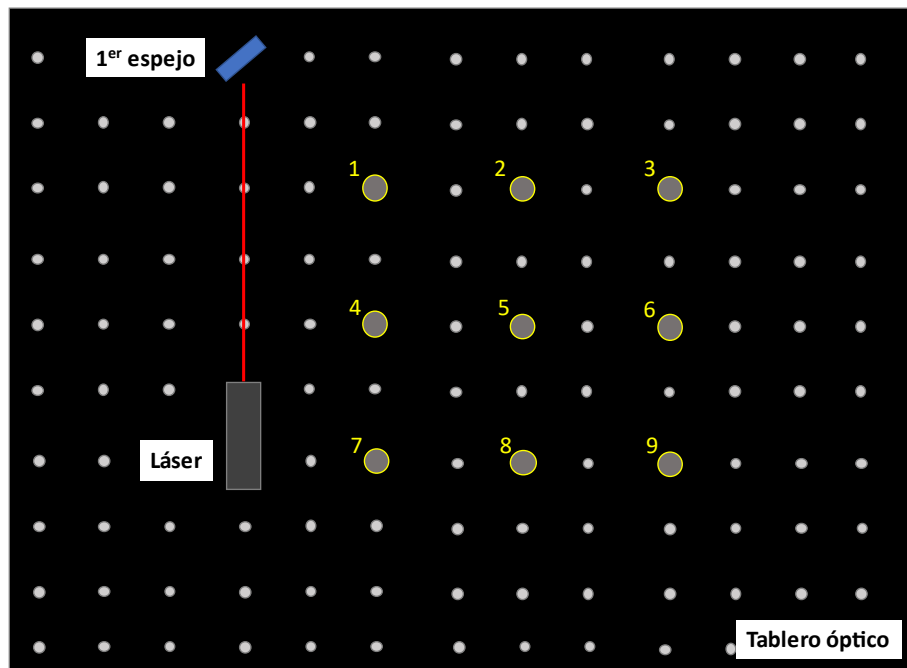
La principal dificultad encontrada a la hora de desarrollar el proyecto propuesto ha sido cumplir los plazos establecidos en la propuesta inicial. Por un lado, teniendo en cuenta la fecha de concesión y el tiempo dedicado buscar financiación alternativa, a diseñar, comprar y recibir el material, montar y probar los distintos módulos, no ha sido posible cumplir con el objetivo de implementar el prototipo en la docencia de las asignaturas del primer cuatrimestre. Por otro lado, tratándose de una experiencia piloto, se consideró más conveniente restringir la aplicación de esta nueva metodología al nivel de máster y en concreto aplicarlo solamente en determinadas asignaturas a fin de no sobrecargar a los alumnos. En todo caso, se entiende este proyecto como el primer paso para seguir trabajando en este tipo de actividades docentes alternativas dentro de la docencia del Área de Óptica. Por otro lado, como se ha explicado en la propuesta inicial, una de las premisas de este proyecto era fomentar que los alumnos se familiaricen con el uso de los materiales “reales” que se emplean en cualquier laboratorio de investigación (ya sea en el ámbito de la investigación académica como industrial) y estos materiales son necesariamente costosos. Por lo tanto, otra dificultad a la hora de realizar el proyecto viene derivada del hecho de no haber conseguido financiación en la presente convocatoria, lo que ha forzado a sustituir parte del material que se había solicitado en la propuesta por material de docencia y/o investigación, con los problemas de disponibilidad que eso conlleva.

En resumen, consideramos que el impacto global del proyecto es muy positivo. Por un lado, nos ha permitido realizar los distintos montajes, darnos cuenta de qué dificultades técnicas nos encontramos a la hora de realizarlos y aplicarlos y nos ha impulsado a buscar soluciones para superarlas. Por otro lado, nos ha permitido comprobar que la recepción de este tipo de actividades por parte del alumnado es positiva. Los resultados del proyecto nos sirven como guía para seguir aplicando esta metodología en el futuro, mejorarla y extender su aplicación a más asignaturas y titulaciones.

## Anexo I. Guiones descriptivos de los módulos

### Módulo 1

1. Dispones de un tablero óptico sobre el que hay 9 puntos señalados con un poste formando una matriz 3x3. Además, dispones de un láser y un espejo fijados en la disposición descrita en la figura:



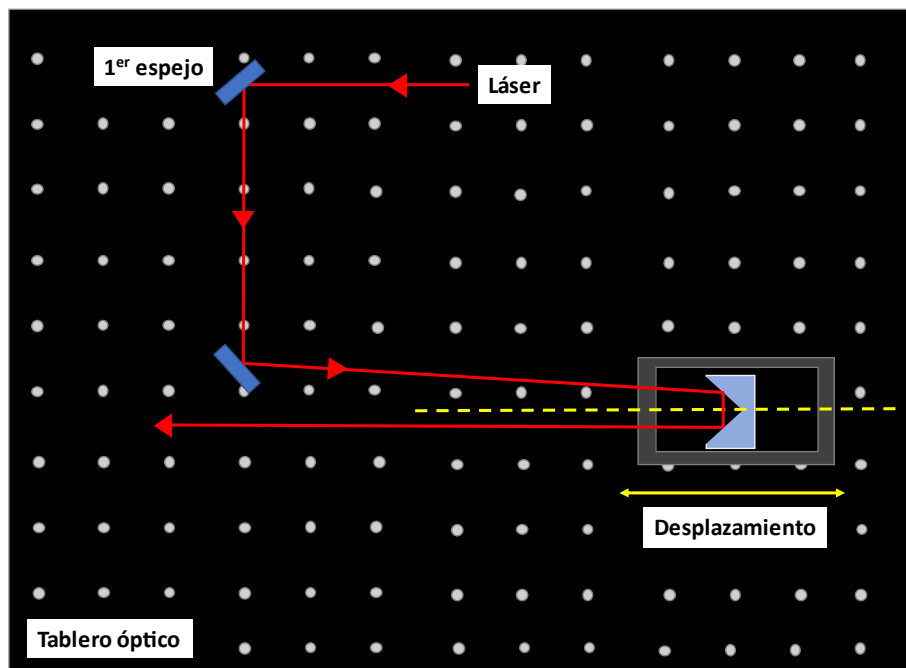
Disposición de partida.

2. Dispones además de 3 espejos adicionales y tornillos para fijarlos.
3. El objetivo es hacer pasar el haz láser por todas las posiciones de la matriz empleando solamente esos 4 espejos y un iris como referencia.
4. Puedes colocar los 3 espejos restantes en cualquier punto del tablero, ya sea sobre uno de los puntos de la matriz o sobre cualquiera de sus agujeros.
5. El tiempo empezará a contar una vez que hayas leído estas instrucciones y se parará cuando consigas que el haz láser llegue al último punto de la matriz.

**¡Mucha suerte!**

## Módulo 2

1. El objetivo es conseguir que el haz láser que viaja a través de la línea de retardo no varíe su posición al desplazar esta última.
2. Para conseguirlo tienes que hacer que el haz que llega a la línea de retardo sea perfectamente paralelo a su eje de desplazamiento (línea amarilla punteada en la figura).

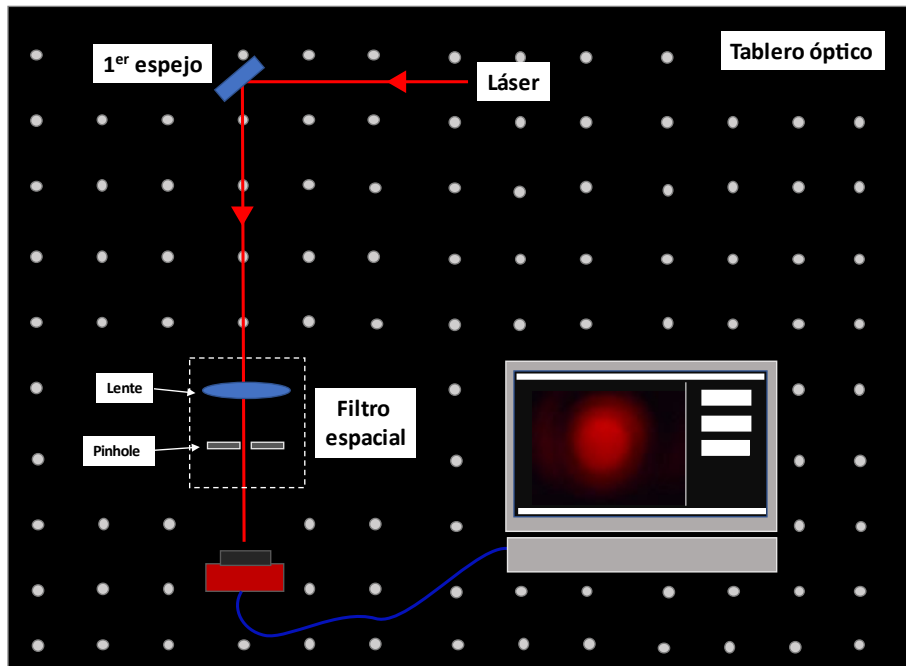


3. Para ello cuentas con dos espejos situados antes de la propia línea de retardo y de una cámara digital para visualizar el haz y que puedes colocar donde consideres oportuno.

**¡Mucha suerte!**

### Módulo 3

1. El objetivo es conseguir mejorar el perfil espacial de un haz láser (distribución de energía) mediante el uso un filtro espacial.



2. Para conseguir el mejor filtrado, debes ajustar la posición de la lente con respecto al haz y su inclinación. La posición horizontal y vertical del *pinhole* así como su posición a lo largo del eje óptico con respecto a la lente.
3. Cuando consideres que tienes la posición de todos los elementos optimizada, deberás adquirir una imagen mediante el software de la cámara digital.
4. Usando el código de Matlab, deberás calcular el valor del *RMS* y *FWHM* de tu haz.
5. El objetivo es obtener un *RMS* lo más bajo posible.

**¡Mucha suerte!**



## Anexo II. Código de análisis de las imágenes obtenidas en el módulo 3.

```
%%
clear all; close all; clc
MyFontSize=20;
%% Importamos y representamos la imagen para verificar que se carga bien:
%Import
% Name='Prueba1';
% Name='Prueba2';
% Name='Prueba3';
Name='Prueba4';
I = imread(strcat(Name, '.tif'));
% I = imread('prueba 1_2022-06-24T15-25-30.147.tif');

%%Pasamos a doubles:
I=im2double(I);

%%Representamos
figure
imshow(I)
%%To gray scale:
lg_1=rgb2gray(I);
%%Representamos
figure
imshow(lg_1)

%% Normalizamos la matriz roja a maximo unidad y aplicamos un filtro si se quisiera
[sz1, sz2] = size(lg_1);
%%Normalizacion
lg_1=lg_1/max(max(lg_1));

%%Filtro y visualizacion
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
subplot(1,2,1)
surf(lg_1, 'EdgeColor', 'none')
colorbar
view(2)
xlim([1, sz1])
ylim([1, sz2])
xlabel('X pixel')
ylabel('Y pixel')
title('RGB [1] original')
set(gca, 'FontSize', MyFontSize)

lg_1_Filt=lg_1;
Filtro=0.0; % Max 1
lg_1_Filt(lg_1 < (Filtro * max(max(lg_1))))=0;
subplot(1,2,2)
surf(lg_1_Filt, 'EdgeColor', 'none')
colorbar
view(2)
xlim([1, sz1])
ylim([1, sz2])
xlabel('X pixel')
ylabel('Y pixel')
title(strcat('RGB [2] - ', num2str(Filtro*100), '%'))
set(gca, 'FontSize', MyFontSize)
```



```
%% Sumamos en X e Y y hacemos comparativa en rms en rango comun
%Calculamos marginal en X e Y
lg_1_Sx=sum(lg_1_Filt,2).';
lg_1_Sy=sum(lg_1_Filt,1);

%Buscamos maximo y minima distancia posible a cada lado de ambos max:
[~,idmX]=max(lg_1_Sx);
[~,idmY]=max(lg_1_Sy);
idm=min([idmX, idmY, sz2-idmX, sz1-idmY]);

%Seleccionamos rango comun (se hace porque sz1 diferente a sz2)
lg_1_Sx_Select=lg_1_Sx((idmX-idm+1):(idmX+idm-1));
lg_1_Sy_Select=lg_1_Sy((idmY-idm+1):(idmY+idm-1));

%Calculamos rms:
Rms=1/length(lg_1_Sx_Select)*sqrt(sum(abs(lg_1_Sx_Select.^2-lg_1_Sy_Select.^2)));

%FWHM width:
FWHM_X=find(lg_1_Sx_Select>=0.5*max(lg_1_Sx_Select),1,'last') -
find(lg_1_Sx_Select>=0.5*max(lg_1_Sx_Select),1,'first');
FWHM_Y=find(lg_1_Sy_Select>=0.5*max(lg_1_Sy_Select),1,'last') -
find(lg_1_Sy_Select>=0.5*max(lg_1_Sy_Select),1,'first');

%Plot final
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(lg_1_Sx_Select,'LineWidth',2)
hold on
plot(lg_1_Sy_Select,'LineWidth',2)

ylim([0,max([max(lg_1_Sx_Select),max(lg_1_Sy_Select)])])
xlim([0,length(lg_1_Sx_Select)])
legend('X','Y')
xlabel('Spatial pixel')
ylabel('I (a.u.)')
title(strcat('rms=',num2str(Rms,'%2f'),' // [FWHM_x;FWHM_y] =
[,num2str(FWHM_X),',',num2str(FWHM_Y),] pixels'))
set(gca,'FontSize',MyFontSize)

%Exporta imagen con los resultados
saveas(gcf,strcat(Name,'_RmsFit_v2.png'))
```



Anexo III. Respuestas y sugerencias recibidas de los estudiantes en la consulta realizada

Pregunta	Respuestas
<p>Pregunta 3: ¿Qué otras habilidades prácticas o conocimientos relacionados con el trabajo en un laboratorio de óptica te hubiese gustado trabajar más?</p>	Montar un sistema desde cero, aunque fuese alguno muy básico
	Ninguno. Creo que la práctica es bastante completa. Se práctica una aplicación de los pulsos ultracortos que no se hace antes y a la vez se afianzan algunos conocimientos que se dan en el máster.
	El diseño de un experimento por ejemplo, plantear una idea de qué se quiere estudiar y qué pasos se han de seguir entre otros.
	Diseño de experimentos propios
	La idea era toquetear al máximo pero la realidad no deja de ser: guardar muchas medidas y dedicar mucho tiempo a realizar un informe en respecto al tiempo y a lo que se intenta realizar en la práctica.
	Diseñar montajes desde cero, para analizar qué ideas equivocadas tenemos de cada elemento óptico. Uso de más cristales no lineales para verificar diferencias. Hacer una práctica de procesado de materiales en volumen (p.ej. inscripción de guías de onda)
Práctica descubrimiento. Ver lo que va saliendo y en base a la teoría ir relacionando conceptos y pensar posibles explicaciones.	

Consulta	Respuestas
<p>Otras sugerencias para introducir este tipo de experiencias en la docencia práctica de la titulación</p>	Proponer prácticas de libre asistencia (optativas) más fundamentales para aquellas personas que no tengan manejo de los dispositivos ópticos (sobre todo para estos años próximos, que puede que venga gente que por culpa del CoVid no haya manejado muchos dispositivos ni asistido a muchos laboratorios en la carrera) y que la forma de plantear la práctica sea más atractiva para prestar atención, ya sea por juegos, por implementar una pequeña competición entre unos alumnos y otros...
	Más horas pero menos concentradas en el tiempo.