



Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Física

Impacto de la Lightboard en la enseñanza de la Física

Trabajo de fin de estudio presentado por:	Alberto Calatayud y Jorge Martínez
Director/a:	Alberto Corbi
Fecha:	2025-07-16

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Alberto Corbi, director de este trabajo y del grado, por su orientación, disponibilidad infinita y paciencia durante todo el proceso. También a Noelia y Marina, nuestras respectivas compañeras de vida, por su apoyo constante, su comprensión en los días de estrés y por no tirar el router cuando más lo necesitábamos.

Agradecemos de corazón la participación de los alumnos del colegio Nuestra Señora de Lourdes y del Centre d'Estudis en Acció, cuya colaboración fue esencial para completar esta investigación.

Y, cómo no, a nuestros más fieles compañeros de estudio: Tala, Thor, Odín, Freya, Manila y Koda. Cinco pomeranias y un chucho que, entre siestas y ladridos, nos han dado apoyo emocional, calor en los pies y alguna que otra distracción terapéutica. Este TFG también es suyo.

Resumen

En un contexto educativo cada vez más digitalizado, la Lightboard, pizarra transparente y luminosa que permite mantener el contacto visual mientras se escribe, representa una herramienta innovadora para la enseñanza de la Física. Este trabajo evalúa su efectividad frente a métodos tradicionales, identifica sus ventajas y limitaciones, y propone recomendaciones para su implementación. La metodología combina el análisis de métricas de canales de YouTube que hacen uso de una Lightboard para la enseñanza de Física, la producción de vídeos propios con este dispositivo y encuestas a estudiantes de esta disciplina sobre la idoneidad del mismo. Además, se incluye una sucinta revisión del estado del arte sobre su uso educativo. Los resultados reflejan un mayor nivel de atención, un aprendizaje más significativo y una mayor interacción en los vídeos con este formato. Las encuestas reflejan una clara preferencia estudiantil en términos de comprensión y motivación. Se concluye que la Lightboard es una herramienta eficaz, especialmente en entornos virtuales.

Palabras clave: Lightboard, tecnologías educativas, docencia virtual.

Abstract

In an increasingly digitalized educational context, the Lightboard, a transparent and illuminated board that allows maintaining eye contact while writing, emerges as an innovative tool for teaching Physics. This study evaluates its effectiveness compared to traditional methods, identifies its advantages and limitations, and proposes recommendations for its implementation. The methodology combines the analysis of video metrics on YouTube, the production of original videos, and a student survey. Additionally, a review of the state of the art on the educational use of the Lightboard is included. The results show higher levels of attention, improved perception of clarity, and greater interaction in videos using this format. The surveys reveal a clear student preference for this format in terms of understanding and motivation. It is concluded that the Lightboard is an effective tool, particularly in virtual learning environments.

Keywords: Lightboard, educational technologies, virtual teaching.

Índice de contenidos

1.	Introducción.	1
2.	Breve historia de las superficies de escritura.	4
2.1.	Piedra.	5
2.2.	Tablillas de cera	5
2.3.	Papiro	6
2.4.	Pergamino	6
2.5.	Papel	7
2.6.	Pizarra	8
2.7.	Pizarra blanca y rotuladores	8
2.8.	Pizarra Digital Interactiva (PDI)	9
2.9.	Lightboard	9
3.	Pizarra Digital Interactiva	11
3.1.	Origen y evolución de la PDI	11
3.2.	Componentes y funcionamiento	12
3.3.	Aplicaciones didácticas en Física	13
3.4.	Ventajas y beneficios	14
3.5.	Limitaciones y desafíos	15
3.6.	Comparativa con la Lightboard	16
4.	Lightboard	18
4.1.	Historia de la Lightboard	18
4.2.	La Lightboard actual	20
5.	Estado del arte	22
6.	Objetivos	32
7.	Fundamentos físicos de la Lightboard	33

7.1.	Superficie de escritura y sistema de iluminación	35
7.2.	Herramientas de escritura	36
7.3.	Estructura de soporte	36
7.4.	Equipamiento de grabación	36
7.5.	Software y herramientas digitales	37
8.	Material y Métodos	38
8.1.	Análisis de contenidos en YouTube	38
8.2.	Elaboración de material didáctico propio.	39
9.	Resultados y discusión	42
9.1.	Resultados análisis contenidos de YouTube	42
9.2.	Resultados de la encuesta entre alumnos ESO	48
10.	Recomendaciones	51
10.1.	Elección del vestuario	51
10.2.	Elección de colores de rotulador	52
10.3.	Iluminación LED	53
10.4.	Luz ambiental	53
10.5.	Limpieza, mantenimiento y estabilidad de la estructura	54
10.6.	Calidad audiovisual	55
11.	Conclusiones	56
	Bibliografía	57

1. Introducción.

La enseñanza de la Física plantea desafíos únicos, tanto para el alumnado como para el profesorado. A diferencia de otras disciplinas, la Física exige una comprensión profunda de conceptos abstractos, como el campo eléctrico o la conservación del momento, así como la capacidad de aplicar estos principios a situaciones dinámicas y problemáticas del mundo real. Esta complejidad conceptual, unida a la necesidad de visualizar procesos matemáticos y relaciones causales entre variables, hace que el componente visual y explicativo de la enseñanza sea fundamental. Tradicionalmente, la pizarra ha sido el medio preferente para facilitar esta transmisión, permitiendo desarrollar ecuaciones paso a paso, dibujar esquemas y representar gráficamente ideas complejas. Sin embargo, los cambios recientes en los entornos educativos han puesto de manifiesto ciertas limitaciones de esta herramienta.

La transformación digital en la educación, acelerada por la pandemia de COVID-19, ha intensificado la necesidad de producir contenidos audiovisuales de calidad que mantengan la atención del alumnado y reproduzcan, en la medida de lo posible, la experiencia de la enseñanza presencial. La generalización de las clases en línea, los modelos híbridos y las metodologías como el aula invertida (*Flipped Classroom*) han convertido los vídeos educativos en una herramienta didáctica clave. En este nuevo escenario, el docente ya no solo transmite conocimientos de forma sincrónica, sino que también actúa como creador de contenidos que deben ser claros, atractivos y eficaces para públicos diversos y dispersos geográficamente.

Dentro de este contexto, han emergido nuevas soluciones técnicas que buscan mejorar la calidad de la comunicación en el entorno virtual. Una de las más innovadoras es la *Lightboard*, una pizarra transparente iluminada que permite al profesor escribir con rotuladores

fluorescentes mientras mantiene el contacto visual con la cámara. Esto permite una experiencia más inmersiva y cercana, en la que se recupera la presencia del docente y se mejora la comprensión del contenido. A diferencia de otros formatos (como las presentaciones narradas o las grabaciones de pantalla) la Lightboard ofrece la posibilidad de explicar conceptos paso a paso de forma visible, sin obstrucciones, y con una expresividad gestual que facilita la atención sostenida y la interpretación emocional de los mensajes.

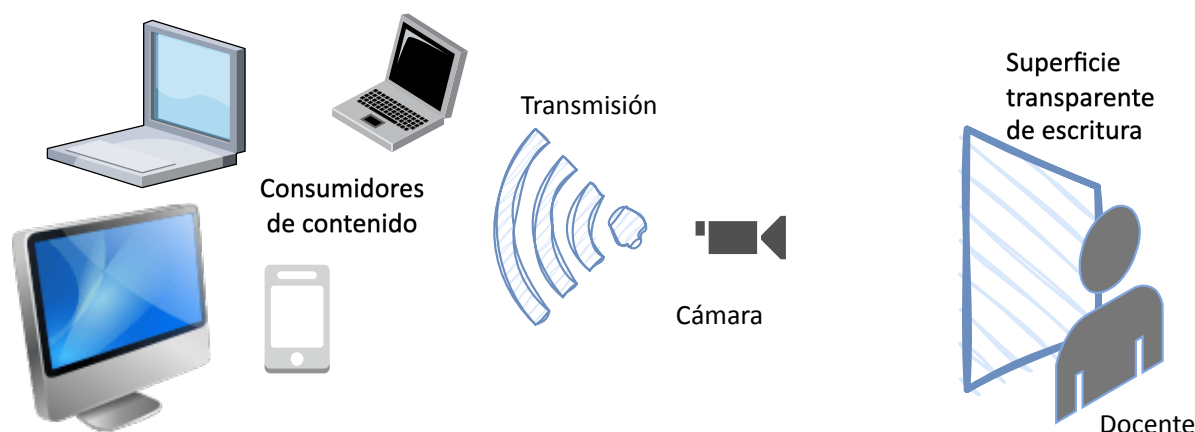


Figura 1: Esquema simple de una sesión basada en Lightboard.

Numerosos estudios recientes han destacado las ventajas del uso de la Lightboard en entornos universitarios y técnicos, especialmente en áreas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). Sin embargo, su implementación en niveles preuniversitarios, como la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato, sigue siendo escasa. Esta brecha representa una oportunidad relevante para explorar nuevas metodologías que puedan mejorar la experiencia del alumnado en asignaturas tradicionalmente consideradas difíciles, como la Física.

Este trabajo surge, por tanto, de una doble motivación. Por un lado, se plantea evaluar empíricamente la eficacia del uso de la Lightboard en la enseñanza de la Física en el contexto preuniversitario, mediante un análisis comparativo entre vídeos grabados con esta tecnología y vídeos tradicionales. Por otro lado, busca profundizar en la percepción que tienen los estudiantes sobre este tipo de recursos, con el fin de comprender hasta qué punto influyen en su motivación, comprensión y atención.

Para abordar estas cuestiones, se ha diseñado una investigación con tres ejes principales: la revisión de la literatura científica sobre el uso de la Lightboard, el análisis de métricas

de interacción y alcance de vídeos en plataformas digitales como YouTube y un estudio experimental con estudiantes de Secundaria y Bachillerato, a quienes se les presentaron vídeos en ambos formatos y se les pidió valorar su experiencia mediante una encuesta. Este enfoque múltiple permite no solo aportar datos cuantitativos sobre la eficacia del formato, sino también recoger matices cualitativos sobre cómo es percibido por los usuarios finales: los estudiantes.

Este trabajo no parte de la idea de que la Lightboard sea una solución mágica, ni pretende sustituir al profesor ni a los métodos tradicionales. Más bien, se plantea como una herramienta complementaria, especialmente útil para determinados tipos de contenidos (como la resolución de problemas, la exposición de fórmulas o la construcción de esquemas conceptuales) que requieren claridad visual y un desarrollo secuencial. Asimismo, se valora su potencial en contextos en los que la presencialidad está limitada o en los que se desea ofrecer materiales de consulta accesibles y atractivos.

En definitiva, este estudio busca aportar evidencia rigurosa y aplicable sobre el valor pedagógico de la Lightboard en la enseñanza de la Física, y ofrecer al profesorado una base empírica para decidir cuándo y cómo utilizar esta tecnología de forma eficaz. Los resultados obtenidos, tanto en términos de interacción digital como de percepción estudiantil, permiten extraer conclusiones relevantes y formular recomendaciones prácticas para su implementación en contextos educativos reales.

2. Breve historia de las superficies de escritura.

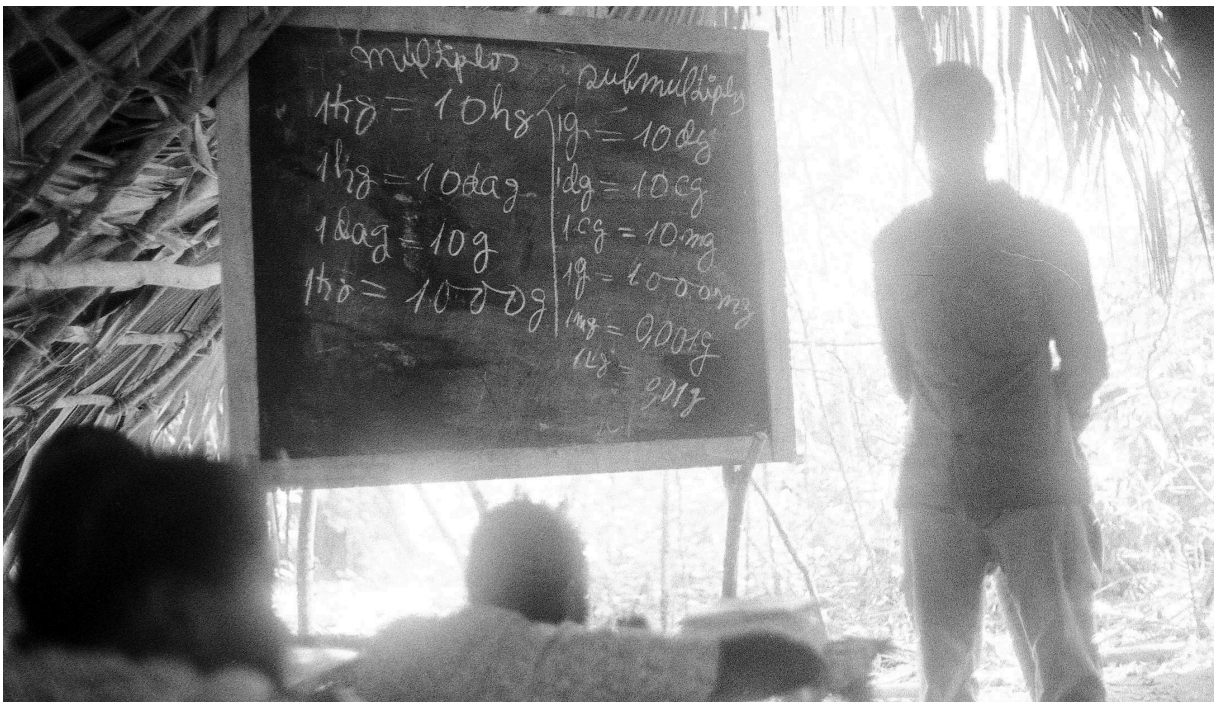


Figura 2: Profesor explicando el sistema decimal de pesos con una pizarra en Guinea-Bissau en 1974 (Fuente: Roel Coutinho).

Desde la antigüedad, las superficies de escritura han sido fundamentales para la transmisión de conocimientos y la enseñanza. La evolución de estas superficies refleja no solo avances tecnológicos, sino también cambios en las metodologías educativas y en las formas de comunicación entre maestros y alumnos. A continuación, se presenta una breve historia centrada en el uso de estos soportes en el ámbito educativo [1].

2.1. Piedra.

Las primeras superficies de escritura fueron las piedras, utilizadas principalmente para inscripciones monumentales y textos públicos. En la enseñanza, la piedra era empleada para fijar textos educativos o religiosos que se mostraban en lugares públicos. Un ejemplo conservado hasta día de hoy se puede ver en la Figura 3:



Figura 3: Tablilla de barro de Babilonia conocida como Plimpton 322 que contiene un ejemplo de las matemáticas babilónicas [2]. Esta tabla muestra lo que ahora se llaman *ternas pitagóricas*, es decir números enteros a, b, c que satisfacen $a^2 + b^2 = c^2$.

En la antigua Grecia y Roma, se grababan textos en piedra para que los alumnos pudieran estudiarlos y memorizarlos. Las inscripciones en piedra ofrecían una forma permanente de preservar el conocimiento, aunque su uso era limitado debido a su peso y dificultad para transportarlas. Desde el punto de vista físico, la piedra es un material extremadamente duradero y estable, capaz de conservar inscripciones durante milenios. Su dureza permite ser grabada con herramientas más resistentes, generando surcos permanentes que sobreviven a la erosión.

2.2. Tablillas de cera

Las tablillas de cera fueron una innovación significativa en el ámbito educativo. Se trataba de tablillas de madera recubiertas con una capa de cera, sobre las que se escribía con un

estilo (punzón). Estas tablillas permitían a los estudiantes practicar la escritura y realizar ejercicios, ya que la cera podía borrarse y reutilizarse fácilmente. En la antigua Roma, los profesores las utilizaban para escribir ejemplos y correcciones, y los alumnos podían copiar directamente sobre ellas.

2.3. Papiro

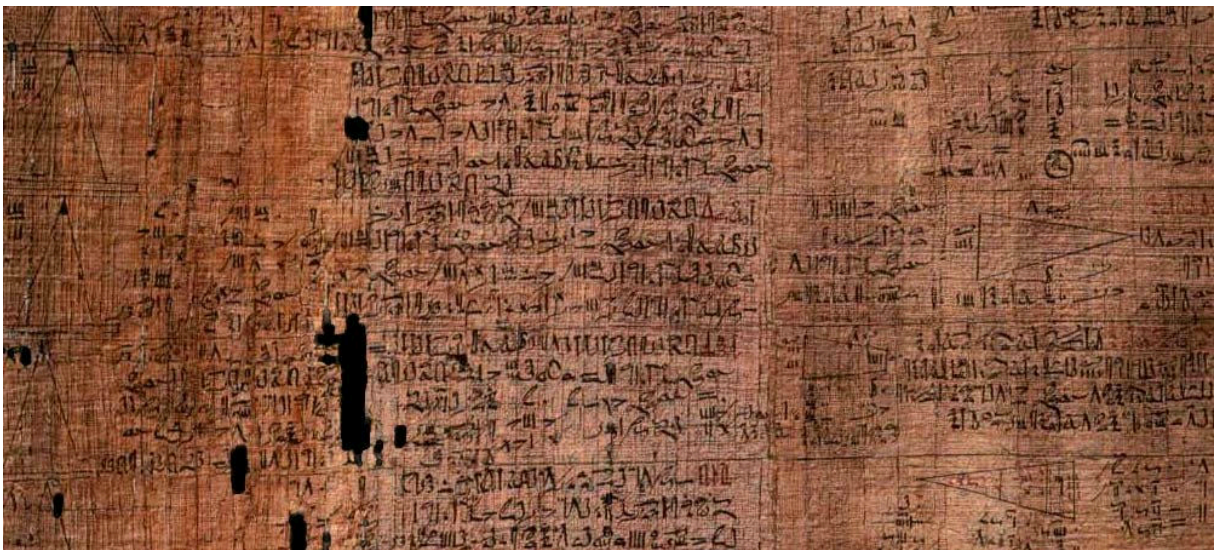


Figura 4: Papiro matemático Rhind [3], escrito por el escriba Ahmes en el siglo XVI a.C. Documento de carácter didáctico que contiene diversos problemas matemáticos.

El papiro, compuesto por fibras vegetales prensadas y secadas, presenta una estructura porosa y flexible que facilita la absorción de tinta líquida. Esta propiedad capilar permitía que los trazos se fijaran rápidamente sin requerir grabado físico. El papiro comenzó a utilizarse alrededor del siglo III a.C. en Egipto y se convirtió en el soporte más utilizado para textos educativos y religiosos. Los profesores copiaban textos educativos en rollos de papiro, que los alumnos utilizaban para estudiar. Su fragilidad y su coste elevado limitaban su uso en las escuelas, aunque en centros de mayor prestigio era común su utilización.

2.4. Pergamino

El pergamino, al estar hecho de piel tratada, combina flexibilidad con una superficie lisa y resistente. Su textura permite una buena adhesión de pigmentos y tintas, y su opacidad y

durabilidad lo hicieron ideal para escritura en ambas caras, haciéndolo superior al pergamino. La Figura 5 nos muestra un ejemplo:



Figura 5: Página del Palimpsesto de Arquímedes [4]. Contiene diversas obras del matemático griego.

En las escuelas medievales, los manuscritos en pergamino eran utilizados para copiar textos sagrados y educativos. Los profesores solían emplear pergaminos en forma de códices para transmitir conocimientos religiosos y literarios a sus alumnos.

2.5. Papel



El papel de origen vegetal, posee una estructura fibrosa que absorbe la tinta por capilaridad. Su ligereza, uniformidad y facilidad de producción lo convirtieron en un soporte ideal para escritura rápida y copia masiva de textos. El papel llegó a Europa en la Edad Media desde China y se convirtió rápidamente en el material dominante para la enseñanza. En las universidades medievales y renacentistas, el papel permitió la creación de libros y cuadernos de estudio. Los profesores comenzaron a emplear papel para redactar lecciones y distribuir copias entre los alumnos, lo que

facilitó una enseñanza más estructurada y sistemática.

2.6. Pizarra

La pizarra fue una de las grandes innovaciones en la enseñanza moderna. Desde el punto de vista físico, la pizarra negra está hecha de pizarra natural, que presenta una superficie opaca, lisa y no porosa. Esto permite que la tiza, compuesta principalmente por carbonato cálcico, se adhiera de forma temporal sin penetrar en el sustrato. La tiza es elegida por su friabilidad: al aplicarla con presión leve, deja partículas finas adheridas por fricción electrostática y mecánica, lo que genera trazos visibles.

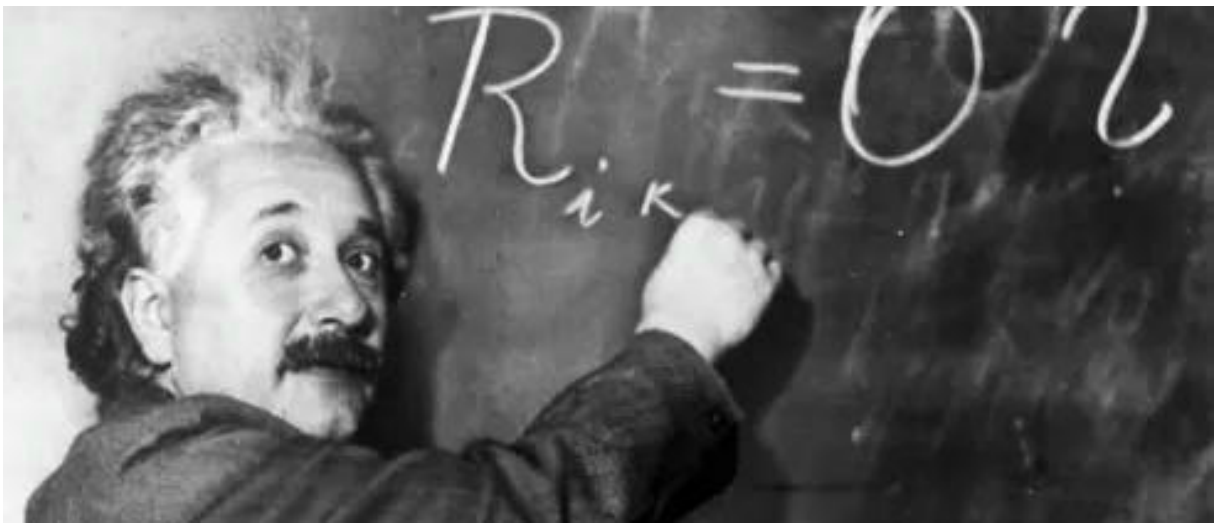


Figura 6: Albert Einstein escribiendo el tensor de Riemann.

Las pizarras individuales comenzaron a utilizarse en las escuelas a partir del siglo XVIII. Sin embargo, la verdadera revolución fue la introducción de la pizarra negra en las aulas, que, hablando ya de una superficie no sólo de escritura, sino de presentación, permitió a los profesores escribir frente a todos los alumnos, realizar ejercicios en grupo y borrar fácilmente los errores. Al no haber absorción, la escritura puede borrarse fácilmente con un paño seco que remueve el polvo superficial. Esta metodología facilitó la interacción directa entre profesor y alumno, haciendo que las clases fueran más dinámicas y participativas.

2.7. Pizarra blanca y rotuladores

La pizarra blanca sustituyó progresivamente a la pizarra negra en la segunda mitad del siglo XX debido a su facilidad de uso y limpieza. En las pizarras blancas, la superficie debe ser lisa, dura y completamente no porosa, esta superficie evita la absorción de la tinta, permitiendo

que esta forme una película superficial fácilmente borrable. Los rotuladores utilizados son de borrado en seco, con una tinta especial compuesta por un colorante, un solvente volátil y una resina oleosa no adhesiva. Al escribir, la tinta se deposita como una capa sólida que se adhiere solo por tensión superficial, sin fijarse químicamente. Por ello, puede borrarse sin dejar marcas si se usa sobre la superficie adecuada. En otros materiales porosos o rugosos, la tinta se absorbe o se fija, volviéndose indeleble. Los rotuladores de borrado en seco facilitaron la escritura y corrección, permitiendo a los profesores realizar esquemas complejos y explicaciones detalladas. Esta innovación hizo posible una enseñanza más visual y dinámica.

2.8. Pizarra Digital Interactiva (PDI)

La Pizarra Digital Interactiva (PDI) representa un paso importante en la integración de la tecnología en el aula. Este dispositivo combina proyector, ordenador y una superficie sensible al tacto o al puntero, permitiendo mostrar e interactuar con contenidos digitales en tiempo real. En el contexto educativo, su principal valor radica en facilitar explicaciones más visuales y dinámicas, integrando textos, imágenes, vídeos y simulaciones.

Aunque supuso una mejora significativa respecto a las pizarras tradicionales, también presenta limitaciones: la proyección frontal genera sombras y la superficie puede resultar frágil o poco precisa según el modelo. A pesar de ello, la PDI fue una herramienta clave en la transición hacia metodologías activas y digitales, y puede considerarse un antecedente directo de tecnologías más recientes como la Lightboard, que resuelven algunos de sus inconvenientes sin renunciar a la interacción visual y escrita.

2.9. Lightboard

En los últimos años, la Lightboard ha representado un avance en la manera en que los profesores presentan y explican contenidos. La pandemia de COVID-19 aceleró adopción de la Lightboard en la enseñanza a distancia. Con el cierre de escuelas y universidades, los profesores tuvieron que adaptar rápidamente sus métodos de enseñanza al formato

virtual. La Lightboard ofrecía una solución práctica para mantener la interacción y el contacto visual con los alumnos durante las clases en línea. La capacidad de escribir mientras se mantiene el contacto directo con la cámara permitió que las explicaciones fueran más claras y efectivas, ayudando a reducir la brecha en la comprensión de conceptos complejos que se generaba en las clases virtuales tradicionales. Su uso se extendió rápidamente en universidades y centros educativos de todo el mundo como una herramienta clave para mejorar la calidad de la enseñanza virtual y el aprendizaje remoto.

El desarrollo de la Lightboard ha abierto nuevas posibilidades en la enseñanza de materias complejas, especialmente en el ámbito de la ciencia y la ingeniería. Su implementación en entornos educativos ha facilitado la grabación de vídeos educativos y Flipped Classroom [5].

3. Pizarra Digital Interactiva

Antes de la llegada de tecnologías emergentes como la Lightboard, la Pizarra Digital Interactiva (PDI) representó una de las innovaciones más significativas en el aula. Su capacidad para combinar proyección, escritura digital e interactividad transformó la manera en que se presentaban los contenidos y se estructuraban las clases. En esta sección se analiza el papel de la PDI como herramienta educativa, con especial atención a sus aplicaciones en la enseñanza de la Física [6].

3.1. Origen y evolución de la PDI

La Pizarra Digital Interactiva (PDI) apareció en el contexto de la digitalización educativa como una evolución de los sistemas tradicionales de proyección. A diferencia de las primeras pizarras digitales (que solo permitían mostrar contenidos del ordenador mediante un proyector) la PDI incorporó una superficie interactiva que permite controlar el equipo directamente desde la pizarra, ya sea con un puntero o con los dedos.

Su desarrollo se consolidó a partir de los años 2000, cuando comenzaron a implantarse en escuelas y centros de formación como parte de programas para integrar las TIC en el aula. Diversos fabricantes (como Smart, Promethean o Mimio) ofrecieron modelos basados en tecnologías táctiles, electromagnéticas o infrarrojas, adaptándose a distintos entornos y presupuestos.

Esta tecnología permitió un uso más dinámico de recursos multimedia, facilitando la interacción con gráficos, vídeos y textos en tiempo real. Aunque con el tiempo han surgido alternativas más avanzadas (como las pantallas táctiles o las pizarras portátiles) la PDI

marcó un punto de inflexión en la forma de enseñar, abriendo paso a metodologías más participativas y visuales.

3.2. Componentes y funcionamiento

Una Pizarra Digital Interactiva (PDI) es un sistema compuesto por varios elementos que trabajan de forma coordinada:

- Ordenador: centraliza la gestión de contenidos y ejecuta el software asociado a la pizarra. Puede ser portátil o de sobremesa.
- Proyector: reproduce en la superficie de la pizarra la imagen generada por el ordenador. Suele colocarse en el techo o integrado en el marco de la PDI.
- Superficie interactiva: permite escribir, mover objetos o controlar el ordenador directamente, ya sea mediante punteros especiales o con los dedos.
- Software específico: proporciona herramientas didácticas como plantillas, bibliotecas de imágenes, reconocimiento de escritura, grabación de clases o exportación de contenidos.

En función de la tecnología utilizada, las PDIs pueden ser:

- Táctiles resistivas o capacitivas, que responden al contacto físico.
- Electromagnéticas, que requieren un puntero especial.
- Infrarrojas o ultrasónicas, que detectan el movimiento mediante sensores externos.

Estas tecnologías ofrecen diferentes niveles de precisión, durabilidad y coste. Algunas PDIs permiten escribir directamente con rotuladores sobre la superficie, mientras que otras funcionan únicamente mediante dispositivos digitales. En todos los casos, el funcionamiento se basa en la proyección frontal, lo que puede provocar la aparición de sombras si no se posicionan adecuadamente los equipos.

3.3. Aplicaciones didácticas en Física

La Pizarra Digital Interactiva (PDI) ha demostrado ser una herramienta útil en la enseñanza de la Física, especialmente por su capacidad para integrar elementos visuales, interactivos y multimedia en el desarrollo de los contenidos. Su uso permite representar conceptos abstractos de forma más accesible, lo que favorece la comprensión y retención por parte del alumnado.

Entre sus principales aplicaciones didácticas en esta materia destacan:

- Representación de gráficos y esquemas: permite dibujar en tiempo real diagramas de fuerzas, trayectorias, circuitos eléctricos o estructuras moleculares, facilitando el análisis visual de los fenómenos físicos.
- Visualización de simulaciones y vídeos: se pueden proyectar animaciones interactivas para ilustrar conceptos como el movimiento rectilíneo, la ley de Hooke o la interferencia de ondas, favoreciendo un aprendizaje más dinámico y contextualizado.
- Anotación sobre materiales digitales: el docente puede subrayar, escribir fórmulas o resolver ejercicios directamente sobre imágenes, textos o presentaciones proyectadas, integrando explicaciones y recursos en un único soporte.
- Resolución de problemas paso a paso: la PDI permite mostrar y construir soluciones de forma secuencial y ordenada, haciendo visibles todos los pasos intermedios y fomentando la participación del alumnado.
- Acceso a recursos externos: durante la clase, se puede consultar páginas web, bases de datos científicas o plataformas educativas, ampliando los contenidos con ejemplos reales, gráficos interactivos o herramientas de cálculo.

Además, el hecho de poder guardar, reutilizar y compartir las sesiones en formato digital (como imagen, vídeo o archivo interactivo) permite reforzar el aprendizaje fuera del aula, lo que resulta especialmente útil en entornos híbridos o en el modelo de aula invertida.

3.4. Ventajas y beneficios

La Pizarra Digital Interactiva (PDI) ha sido valorada como una herramienta eficaz para mejorar la experiencia de enseñanza-aprendizaje, especialmente en asignaturas como la Física, donde la representación visual y la interacción con los contenidos desempeñan un papel fundamental. Sus principales beneficios se reflejan tanto en la práctica docente como en estudios empíricos realizados en contextos reales de aula.

Desde el punto de vista pedagógico, la PDI permite:

- Representar esquemas, fórmulas y procesos físicos de forma clara y visual.
- Integrar recursos multimedia (vídeos, simulaciones, gráficos interactivos) que favorecen la comprensión de conceptos abstractos.
- Escribir y anotar sobre contenidos proyectados, resolviendo problemas paso a paso.
- Promover la participación activa del alumnado mediante el trabajo colaborativo en la propia pizarra.
- Adaptar las explicaciones a distintos estilos de aprendizaje, facilitando la atención a la diversidad.
- Guardar y reutilizar las sesiones, lo que resulta útil para el repaso o el trabajo en modelos híbridos y aula invertida.

Estos beneficios se ven respaldados por estudios como [7], desarrollado en el marco del Iberian Research Project, en el que participaron más de 120 docentes de distintos niveles educativos. Según los resultados obtenidos:

- La motivación del profesorado se valoró con una media de 8.9 sobre 10, y la del alumnado alcanzó un 9.25.
- El aprendizaje del alumnado se situó en una media de 8.3, con un 76 % de las sesiones valoradas entre 8 y 10.
- La participación estudiantil también mejoró notablemente (media de 8.6).

- La comodidad de uso (9.2) y la utilidad para el docente (8.7) fueron especialmente destacadas.

Además, el 91.8 % del alumnado manifestó haber aprendido más y mejor gracias al uso de la PDI. Estos datos confirman que, cuando se implementa adecuadamente y con una mínima formación, la PDI puede convertirse en un recurso altamente motivador y eficaz para la enseñanza, no solo por su componente tecnológico, sino por su capacidad para dinamizar el aula y mejorar la interacción entre contenidos, docentes y estudiantes.

3.5. Limitaciones y desafíos

A pesar de sus múltiples beneficios, el uso de la Pizarra Digital Interactiva (PDI) en el aula no está exento de dificultades. Algunas de ellas están relacionadas con aspectos técnicos, mientras que otras tienen que ver con la formación docente, la infraestructura o el enfoque metodológico.

Entre las principales limitaciones destacan:

- Dependencia tecnológica: la PDI requiere el funcionamiento simultáneo de varios dispositivos (ordenador, proyector, software específico), lo que puede generar problemas técnicos frecuentes (fallos de calibración, incompatibilidades, pérdida de conectividad, etc.).
- Proyección frontal y sombras: la necesidad de proyectar la imagen sobre la superficie desde una posición frontal puede generar sombras cuando el docente se interpone entre el proyector y la pizarra, dificultando la visibilidad del contenido.
- Coste de adquisición y mantenimiento: la instalación de una PDI supone una inversión considerable, tanto en el equipo como en su mantenimiento, lo que puede limitar su implementación en centros con recursos escasos.
- Formación docente insuficiente: aunque muchas PDIs son intuitivas, su aprovechamiento pedagógico requiere una formación específica. Cuando esta no se da, la PDI tiende a usarse como una simple pizarra digital sin explotar su potencial interactivo.

- Curva de aprendizaje inicial: el uso fluido de sus herramientas (anotaciones, simulaciones, capturas, grabaciones, etc.) puede resultar complejo al principio, lo que genera cierta resistencia en algunos docentes.
- Problemas de visibilidad y espacio: en aulas con mucha luz natural o disposición poco adecuada del mobiliario, la proyección puede perder nitidez y dificultar la lectura desde ciertas posiciones.

Esto nos viene a decir que una PDI solo es verdaderamente eficaz cuando va acompañada de una estrategia metodológica adecuada, soporte técnico mínimo y formación docente que permita aprovechar todo su potencial.

3.6. Comparativa con la Lightboard

Tanto la Pizarra Digital Interactiva (PDI) como la Lightboard representan avances significativos en el uso de tecnologías aplicadas a la enseñanza visual. Ambas permiten explicar conceptos paso a paso, integrar elementos visuales y mantener un registro digital de las sesiones. Sin embargo, su diseño, contexto de uso y características técnicas las hacen más adecuadas para situaciones distintas.

A continuación, se resumen las principales diferencias:

Característica	PDI	Lightboard
Interacción docente	Interactúa con el contenido proyectado	Escribe sobre una superficie transparente
Posición del docente	Normalmente de espaldas al alumnado	Siempre de frente, con contacto visual
Proyección	Externa, mediante proyector	No requiere proyector
Sombras sobre la superficie	Frecuentes	No existen
Integración de multimedia	Alta (software, enlaces, vídeos)	Limitada, centrada en la escritura manual
Ideal para...	Clases presenciales interactivas	Grabación de vídeos explicativos

Característica	PDI	Lightboard
Requiere formación técnica	Moderada	Baja (uso más intuitivo)
Instalación	Fija, en aula equipada	Móvil o fija, requiere espacio y cámara

Mientras que la PDI resulta especialmente útil en contextos presenciales por su carácter interactivo y su capacidad para integrar múltiples recursos digitales, la Lightboard destaca en la producción de contenidos audiovisuales, especialmente en vídeos educativos en los que se quiere preservar la claridad de la escritura y el contacto visual con el espectador.

En realidad, ambas tecnologías no son excluyentes, sino complementarias. La PDI es más adecuada para el trabajo diario en el aula, mientras que la Lightboard permite elaborar materiales de apoyo visualmente atractivos para consulta asincrónica. La elección entre una u otra depende del contexto, los objetivos pedagógicos y los recursos disponibles.

4. Lightboard

En el proceso de evolución de las superficies de escritura hacia entornos más visuales y digitales, la Lightboard representa un punto de inflexión. Se trata de una pizarra física que se usa para el mundo online, diseñada específicamente para la creación de contenidos audiovisuales educativos. Esta tecnología permite al docente escribir de forma natural mientras mantiene el contacto visual con el espectador, combinando la claridad de la explicación tradicional con las ventajas de la enseñanza en vídeo. A diferencia de otras herramientas como la PDI, la Lightboard está pensada principalmente para la grabación de contenidos audiovisuales, y ha demostrado ser especialmente eficaz en entornos como la enseñanza invertida, la educación en línea y la divulgación científica. En esta sección se analiza su origen, evolución, funcionamiento y aplicaciones actuales, con especial atención a su impacto en la enseñanza de la Física.

4.1. Historia de la Lightboard

La Lightboard fue desarrollada en 2011 por el profesor Michael Peshkin [8] de la Universidad Northwestern (Illinois, EE.UU.) como respuesta a los desafíos que enfrentaban los docentes al grabar vídeos educativos y conferencias técnicas. Hasta ese momento, los métodos tradicionales de enseñanza y grabación de lecciones mediante pizarras blancas o de tiza presentaban varios inconvenientes: El profesor debía escribir de espaldas a la cámara, lo que generaba una pérdida de conexión visual con los alumnos. Además, el cuerpo del instructor frecuentemente tapaba el contenido escrito en la pizarra y tanto la calidad de las grabaciones como la claridad de las explicaciones quedaban limitadas por la falta de interactividad y contacto visual.

Michael Peshkin, que ya había explorado métodos para mejorar la enseñanza en línea y las clases invertidas [9], diseñó la Lightboard para superar estas limitaciones. La idea surgió mientras impartía un curso de diseño de electrónica para estudiantes de ingeniería mecánica. Peshkin buscaba una forma de explicar problemas técnicos complejos mientras mantenía la atención visual de los estudiantes.

Los principios técnicos del diseño inicial desarrollado por Peshkin condujeron al diseño de una pizarra de vidrio iluminada internamente por tiras de luces LED situadas en los bordes de la superficie. La idea era que el profesor escribiera con rotuladores fluorescentes directamente sobre el vidrio, y que la iluminación LED hiciera que la escritura brillara y destacara sobre un fondo oscuro. Los componentes principales del diseño inicial incluían:

- Vidrio o metacrilato de alta transparencia para evitar reflejos y garantizar una visibilidad óptima.
- Luces LED en los bordes para iluminar el contenido escrito y crear el efecto de «texto flotante».
- Cámara de vídeo colocada directamente frente a la pizarra para capturar tanto al profesor como al contenido escrito.
- Software de inversión de imagen para que el texto apareciera correctamente orientando para los espectadores.

Los primeros vídeos grabados con la Lightboard mostraron un éxito inmediato en la enseñanza de conceptos técnicos complejos. Los estudiantes valoraron positivamente la posibilidad de ver al instructor directamente y seguir las explicaciones sin que el contenido escrito quedara oculto.

El diseño de Peshkin fue rápidamente adoptado por otros departamentos de la Universidad Northwestern, especialmente en el ámbito de las ciencias e ingeniería. A partir de 2013, Peshkin comenzó a ofrecer los planos y especificaciones de la Lightboard como proyecto de código abierto en el sitio web <https://www.lightboard.info> para que otras instituciones pudieran construir sus propias versiones de la Lightboard. Esta apertura permitió que la metodología didáctica fuera adoptada por universidades de todo el mundo, y hacia 2015

ya había más de 60 instituciones que habían implementado sus propias versiones de la Lightboard.

4.2. La Lightboard actual

Desde su desarrollo inicial, la Lightboard ha evolucionado para adaptarse a nuevas necesidades tecnológicas. Actualmente, la metodología de la Lightboard ha trascendido el ámbito de la enseñanza técnica y científica para convertirse en una herramienta pedagógica ampliamente utilizada en diversas áreas del conocimiento, desde las humanidades hasta la formación profesional.

La adopción de la Lightboard ha sido facilitada por la sencillez de su diseño y la accesibilidad de sus componentes. Muchas universidades y centros educativos han construido sus propias Lightboards siguiendo las instrucciones originales de Peshkin, a menudo realizando mejoras y adaptaciones específicas:

- Uso de cristal templado para mayor seguridad y durabilidad.
- Implementación de sistemas de sonido mejorados mediante micrófonos externos de alta fidelidad.
- Incorporación de software de edición en tiempo real para añadir gráficos, presentaciones y vídeos auxiliares durante la grabación.
- Uso de cámaras HD y sistemas de grabación profesional para mejorar la calidad de la imagen y el sonido.

Un ejemplo es la implementación realizada en la Universidad de Valparaíso en 2016 [10], donde se adaptó el diseño original de Northwestern para incluir mejoras en el sistema de iluminación y grabación. En esta implementación, se añadió un sistema de grabación Extron SMP 351 para permitir la transmisión en tiempo real y la integración con plataformas de enseñanza virtual.

La Lightboard ha encontrado un uso especialmente efectivo en modelos de enseñanza como:

- Aulas invertidas (Flipped Classroom): los profesores graban vídeos explicativos que los estudiantes visualizan antes de la clase, lo que permite dedicar las sesiones presenciales a la resolución de problemas y la discusión.
- Cursos en línea (MOOCs) [11]: plataformas como Coursera y edX [12] han incorporado vídeos grabados con Lightboard para mejorar la experiencia de aprendizaje.
- Tutorías y sesiones de preguntas y respuestas: los profesores pueden grabar respuestas en vídeo a preguntas específicas de los estudiantes, manteniendo una conexión personal directa.
- Demostraciones técnicas: las clases de ciencias e ingeniería utilizan la Lightboard para explicar diagramas, ecuaciones y problemas complejos de manera interactiva.

Aunque la Lightboard fue inicialmente diseñada para entornos STEM, su uso se ha extendido a otras disciplinas:

- Bibliotecas: en la Universidad Grand Valley State, los bibliotecarios utilizan la Lightboard para grabar vídeos tutoriales sobre la búsqueda de información y la alfabetización informacional.
- Idiomas y comunicación: los profesores de idiomas han adoptado la Lightboard para enseñar vocabulario, gramática y conversación mediante explicaciones visuales y gestuales.
- Formación profesional y empresarial: empresas y organizaciones utilizan la Lightboard para crear materiales de formación interna, presentaciones de productos y comunicación corporativa.

Las investigaciones realizadas (como, por ejemplo, el estudio llevado a cabo por [13]) sobre la efectividad de la Lightboard han mostrado resultados positivos en términos de:

- Mayor atención y retención de información debido a la combinación de contacto visual directo y explicaciones visuales.
- Mejora en la comprensión de conceptos complejos gracias a la posibilidad de ver los gestos y las expresiones faciales del instructor.
- Mayor satisfacción de los estudiantes con los vídeos educativos en comparación con formatos tradicionales como presentaciones de PowerPoint o vídeos de pantalla compartida.

5. Estado del arte

En este apartado se recoge una revisión de la literatura científica reciente sobre el uso de la Lightboard en el ámbito educativo. Se analizan estudios que exploran su efectividad en distintos niveles y contextos, así como sus ventajas, limitaciones y aplicaciones didácticas. Esta revisión proporciona el marco teórico necesario para contextualizar el uso de la Lightboard en la enseñanza de la Física y fundamentar el diseño del estudio experimental desarrollado en este trabajo

- Los autores de [14] analizan diversas estrategias para optimizar la eficacia de los vídeos. A partir de estudios experimentales, identifican cinco principios que favorecen el aprendizaje y un elemento que debe evitarse. El principio de dibujo dinámico señala que mostrar al instructor dibujando en tiempo real facilita la comprensión frente a vídeos con gráficos ya elaborados. El movimiento de la mano actúa como guía visual y refuerza el procesamiento cognitivo. El principio de guía visual con la mirada destaca la importancia de que el instructor alterne su mirada entre el contenido y la audiencia. Esta dinámica orienta la atención del estudiante y mejora la retención de la información. El principio de actividades generativas recomienda incluir tareas activas durante el visionado, como tomar notas, explicar conceptos o reproducir acciones, lo que favorece el aprendizaje significativo. El principio de perspectiva indica que las demostraciones grabadas desde una perspectiva en primera persona generan un mayor nivel de implicación y comprensión que aquellas filmadas desde una perspectiva externa. El principio de subtítulos muestra que, en contextos de aprendizaje en un segundo idioma, añadir subtítulos impresos facilita la comprensión, siempre que el ritmo del vídeo sea adecuado para evitar sobrecarga cognitiva. Por el contrario, el principio de detalles seductores advierte contra la inclusión de elementos visualmente atractivos pero irrelevantes, que pueden distraer

la atención y dificultar el aprendizaje. Los autores concluyen que el diseño de vídeos educativos debe basarse en principios respaldados por la evidencia y evitar elementos que puedan interferir en los procesos cognitivos esenciales para el aprendizaje.

- Los autores de [13] evalúan el impacto del uso de la Lightboard en estudiantes de Contaduría Pública en dos asignaturas cuantitativas: Estadística Inferencial y Fundamentos de Matemáticas, en la Universidad Uniminuto. El estudio se plantea dentro de una estrategia de aula invertida, con el objetivo de mejorar la motivación, comprensión y compromiso del alumnado mediante recursos audiovisuales más atractivos. El trabajo adopta un enfoque cuantitativo, de tipo observacional y descriptivo. La muestra incluyó 97 estudiantes, quienes visualizaron vídeos grabados con Lightboard por el propio profesor y posteriormente respondieron una encuesta con 23 ítems sobre comprensión, compromiso y satisfacción, junto con datos demográficos. Los resultados muestran una valoración muy positiva del uso de la Lightboard: un 97 % de los estudiantes se declaró «totalmente de acuerdo» en que comprendieron mejor los contenidos; el 94 % mostró alto compromiso y el 95 % expresó alta satisfacción. Además, el 82 % prefirió vídeos donde se pudiera ver al profesor de frente mientras escribía, y valoraron especialmente que el contenido fuera presentado por su propio docente. No se hallaron diferencias significativas en la apreciación en función del sexo ni de la situación laboral. Los autores concluyen que la Lightboard constituye una herramienta eficaz para fomentar la comprensión y el interés en cursos cuantitativos. Recomiendan su integración en programas virtuales y semipresenciales, especialmente en asignaturas donde la explicación detallada de procedimientos es clave. Además, sugieren ampliar su uso a otras áreas curriculares y realizar estudios longitudinales para consolidar estos resultados.
- Un proyecto de innovación docente desarrollado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Béjar explora el uso de la Lightboard como herramienta para mejorar competencias transversales en estudiantes de ingeniería [15]. El proyecto busca fomentar la capacidad de transmitir conceptos de manera oral y desarrollar la autonomía y creatividad de los estudiantes mediante la producción de vídeos educativos. La intervención se implementó en las asignaturas de Ingeniería Gráfica y Vibraciones Mecánicas. Se construyó una Lightboard de bajo coste con materiales accesibles, y

se diseñaron píldoras audiovisuales en las que los estudiantes presentaban conceptos o resolvían problemas técnicos. La metodología consistió en dividir a los estudiantes en dos grupos: uno con formato de presentación tradicional y otro utilizando la Lightboard. Aunque el proyecto no incluyó un análisis cuantitativo formal del impacto en el rendimiento académico, se recopilaron observaciones de profesores y estudiantes. Los resultados indican que los vídeos con Lightboard fueron bien recibidos, incrementaron la motivación de los alumnos y facilitaron la comprensión de los conceptos tratados. Los estudiantes destacaron la utilidad de este formato para repasar contenidos de manera ágil y atractiva. Sin embargo, se identificaron desafíos técnicos y pedagógicos, como la necesidad de entrenamiento previo para el uso eficaz de la Lightboard, el control de elementos visuales (ropa, escritura, etc.) y la optimización del contraste y la claridad en los vídeos. Los autores concluyen que, aunque se requieren estudios más sistemáticos para validar su impacto académico, la Lightboard es una herramienta prometedora para fomentar la participación activa y el aprendizaje en entornos de ingeniería.

- Un estudio de caso desarrollado en una pequeña universidad privada de artes liberales en el sur de Estados Unidos describe la implementación progresiva de un estudio de Lightboard, desde un prototipo de bajo coste hasta una instalación profesional. El trabajo llevado a cabo por [16] incluye recomendaciones prácticas para docentes e instituciones interesadas en esta tecnología. El proyecto comenzó con un piloto utilizando una Lightboard portátil construida con Plexiglas, luces LED y materiales accesibles. Se grabaron vídeos con una cámara de consumo y soluciones caseras de iluminación y fondo. Cinco profesores de diversas disciplinas participaron en el piloto, valorando positivamente la facilidad de uso y la claridad de los vídeos, aunque señalaron limitaciones estructurales del prototipo. Tras el éxito del piloto, se obtuvo financiación para un estudio completo con una Lightboard de cristal templado, iluminación UV optimizada, estructura ajustable en altura y un espacio dedicado. Además, se organizaron talleres para formar al profesorado en el uso de la Lightboard y en buenas prácticas de producción de vídeos educativos, basadas en principios de diseño multimedia. El uso de la Lightboard permitió a los docentes crear vídeos atractivos, especialmente útiles para la explicación de ecuaciones, esquemas y procesos visuales. Los talleres también fomentaron una reflexión crítica

sobre cuándo es apropiado utilizar este formato y promovieron una mejora general en las prácticas de producción multimedia. Los autores concluyen que la Lightboard es una herramienta eficaz y accesible para enriquecer la enseñanza, destacando que su sencillez de uso permite a los docentes centrarse en el diseño pedagógico. Además, subrayan que el proceso de implementación y formación puede generar un impacto positivo más amplio en el desarrollo de competencias digitales del profesorado.

- Los autores de [17] investigan el impacto del uso de la Lightboard en el rendimiento cognitivo de alumnos de primaria en matemáticas, en comparación con la pizarra tradicional. El estudio se enmarca en el contexto educativo griego, donde el uso de esta tecnología aún es incipiente, y se desarrolla en un entorno de enseñanza no formal. El estudio adopta un diseño mixto, combinando pruebas cognitivas con observaciones sistemáticas en el aula. La muestra consistió en 30 estudiantes de primaria sin dificultades de aprendizaje, divididos aleatoriamente en dos grupos: uno que recibió instrucción con Lightboard y otro con pizarra tradicional. La validez y fiabilidad de las pruebas se verificaron mediante análisis estadísticos. Los resultados cuantitativos muestran que no hubo diferencias significativas en el rendimiento cognitivo entre ambos grupos, ni en la retención a medio plazo. Sin embargo, el grupo Lightboard presentó una ligera ventaja en el compromiso y la percepción positiva de la experiencia, según los datos cualitativos. Los estudiantes destacaron el contacto visual con el profesor y la dinámica interactiva como aspectos motivadores. El estudio concluye que la Lightboard es tan efectiva como la pizarra tradicional en términos de resultados de aprendizaje, pero ofrece ventajas añadidas en el ámbito del compromiso y la interacción. Los autores recomiendan futuras investigaciones con muestras más amplias y en distintos niveles educativos, así como explorar combinaciones de la Lightboard con otras tecnologías para maximizar su potencial pedagógico.
- En el trabajo realizado por [18] se analiza el impacto del uso de la Lightboard en la innovación educativa y en el rendimiento académico de estudiantes de bachillerato en la asignatura de Biología II, en el Colegio de Bachilleres de Chiapas. El objetivo es evaluar cómo esta herramienta puede mejorar la comprensión, participación y permanencia estudiantil. El estudio utiliza un enfoque cuantitativo con encuestas tipo Likert aplicadas

a 128 estudiantes de cuarto semestre. Los vídeos con Lightboard fueron diseñados y grabados por el profesorado, integrando material multimedia complementario. Las sesiones se impartieron de forma sincrónica y asincrónica, con vídeos de entre 15 y 30 minutos. Los resultados muestran un alto nivel de satisfacción con el uso de la Lightboard: el 79 % de los estudiantes consideró atractiva la tecnología, el 91 % valoró positivamente la presentación de los temas, y el 81 % indicó que prestaba más atención durante las clases con este formato. Además, un 74 % manifestó que comprendía mejor los contenidos y un 79 % señaló una mejora en la comprensión general. También se observó un aumento en la participación en clase y en las visualizaciones de los vídeos. Los autores concluyen que la Lightboard favorece la motivación y el rendimiento académico, además de ofrecer una herramienta accesible y flexible para la enseñanza. Proponen su integración en el modelo de aula invertida y su uso en diferentes asignaturas para potenciar la innovación pedagógica.

- El estudio llevado a cabo por [19] describe la adopción de la tecnología Lightboard en un curso de química en formato de aula invertida en la National University of Singapore, con el objetivo de mejorar el diseño de los vídeos educativos y aumentar el compromiso del alumnado. El estudio se enmarca en el curso CM1401 Chemistry for Life Sciences, que ya había implementado el modelo flipped classroom. Tradicionalmente, los vídeos utilizados en este tipo de enseñanza se basaban en grabaciones sobre pizarra blanca o en presentaciones narradas de PowerPoint, con varias limitaciones: falta de interacción visual, obstrucción de la pizarra y vídeos de larga duración poco atractivos. Ante estas carencias, se optó por introducir el formato Lightboard, que permite al profesor escribir en una pizarra de cristal iluminada mientras mantiene contacto visual directo con los estudiantes. La metodología consistió en grabar vídeos breves y concisos con Lightboard, que complementaron los materiales existentes. El proceso de producción resultó más ágil y menos demandante en edición que los vídeos previos. Además, el formato permitió integrar ventajas visuales con una presencia más personal del docente. Entre las dificultades observadas, el autor menciona la necesidad de planificar cuidadosamente el contenido del vídeo para evitar cortes y problemas específicos en la representación de modelos físicos con inversión lateral de imagen. Los primeros resultados cualitativos

indicaron una mejor aceptación de los vídeos Lightboard frente a los anteriores formatos, tanto por la mayor claridad visual como por la percepción de mayor cercanía con el docente. Fung concluye que esta tecnología es adecuada para crear vídeos educativos atractivos y eficaces en entornos Flipped Classroom, y que ofrece una alternativa más dinámica a los métodos tradicionales de grabación.

- En el trabajo de [20] se explora el uso de una Lightboard portátil como solución para la enseñanza online en educación superior durante la pandemia de COVID-19. El trabajo, de carácter cualitativo, se basa en entrevistas a nueve profesores y ocho estudiantes de una universidad pública de Turquía que utilizaron esta tecnología en sesiones síncronas en directo. El dispositivo fue diseñado para ser utilizado desde casa, permitiendo a los docentes escribir o dibujar frente a la cámara y al ordenador, sin necesidad de un estudio. La metodología incluyó un análisis de contenido de las entrevistas, complementado con cuestionarios y grabaciones de clases. Los resultados muestran que tanto docentes como estudiantes valoraron positivamente la portabilidad, el bajo coste y la capacidad del dispositivo para reproducir una experiencia similar a la clase presencial. Se destacó la mejora en la interacción y el compromiso de los estudiantes al poder ver simultáneamente al profesor y el contenido escrito. Los docentes apreciaron especialmente la utilidad de dispositivo para asignaturas que requieren escritura de fórmulas o esquemas. Entre las limitaciones se señalaron problemas técnicos (reflejos, limpieza del cristal, tamaño reducido de la superficie) y la necesidad de ajustes en el entorno de grabación. Los autores concluyen que la Lightboard portátil es una herramienta eficaz para mejorar la enseñanza online y recomiendan su uso también en contextos híbridos, si bien subrayan que son necesarios más estudios para evaluar su impacto a largo plazo.
- Los autores de [21] presentan la experiencia de diseño e implementación de una Lightboard en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UiT (The Arctic University of Norway), motivada por la necesidad de adaptar la docencia a un formato online durante la pandemia de COVID-19. El equipo construyó un primer prototipo reutilizando un marco de pizarra blanca, una placa de acrílico iluminada con LEDs, marcadores de neón y una cámara réflex, permitiendo que el profesor escribiera de cara a los estudiantes en los vídeos. Aunque el prototipo se completó en dos semanas con un coste bajo, presentó

limitaciones técnicas como arañazos en el acrílico, problemas de iluminación y necesidad de posprocesado para invertir la imagen. Pese a estas dificultades, los autores destacan que el uso del Lightboard mejoró notablemente la interacción visual, permitiendo al profesor mantener contacto ocular, utilizar gestos y mostrar el proceso de escritura en tiempo real. Los estudiantes valoraron positivamente esta modalidad frente a las clases tradicionales grabadas en pizarra. A raíz del éxito inicial, el proyecto se amplió: se diseñó un estudio profesional con un Lightboard de cristal, iluminación optimizada, cámara instalada en el techo y herramientas para facilitar la grabación y el streaming en directo. Este estudio busca ofrecer una solución estable y de fácil uso para la producción de vídeos educativos en asignaturas STEM, favoreciendo una enseñanza más dinámica y accesible en entornos híbridos o virtuales.

- En el estudio llevado a cabo por [22] se compara el impacto del uso de vídeos con Lightboard frente a vídeos tradicionales en la percepción de aprendizaje y el compromiso de los estudiantes en un curso online de Procesamiento Digital de Señales. El trabajo se desarrolla en Texas A&M University, en el contexto de un aumento significativo en el uso de contenidos digitales tras la pandemia. Se crearon vídeos de dos tipos: vídeos estándar grabados en estudio con pantalla verde y tablet digital, y vídeos grabados con una Lightboard, en los que el profesor escribe de cara a la audiencia. Ambos tipos de vídeos fueron cuidadosamente diseñados siguiendo principios pedagógicos de segmentación, uso de señales visuales y ajuste de la duración. Se incluyeron además pequeños cuestionarios en mitad de los vídeos para favorecer la atención. El estudio involucró a 33 estudiantes, que visualizaron ambos tipos de vídeos sobre temas clave del curso y respondieron encuestas sobre su percepción. Los resultados muestran que los vídeos con Lightboard fueron percibidos como más atractivos, estimulantes y satisfactorios en cuanto al uso del tiempo. Sin embargo, un número considerable de estudiantes consideró que los vídeos tradicionales eran más fáciles para el aprendizaje, al ofrecer una presentación más directa y atractiva. Los comentarios abiertos destacan que la Lightboard aporta una mayor sensación de presencia e interacción con el profesor, aunque algunos estudiantes valoran la claridad y familiaridad de los vídeos tradicionales. El autor concluye que la Lightboard incrementa el compromiso percibido gracias a la mayor presencia social

del instructor, pero su efecto sobre la facilidad de aprendizaje puede variar según las preferencias individuales. Se sugiere seguir investigando cómo optimizar el uso de esta tecnología para equilibrar atractivo visual y claridad pedagógica.

- Los autores de [23] describen la implementación de un estudio de Lightboard en un espacio reducido, como estrategia para crear vídeos prelectivos de alta calidad en cursos de Química Orgánica en la Saint Louis University. El artículo proporciona una guía práctica para montar un estudio con bajo presupuesto y mejorar el compromiso estudiantil en contextos de aprendizaje activo. El estudio se basa en la necesidad de liberar tiempo en clase para actividades activas, trasladando parte de la instrucción a vídeos pregrabados. Los autores montaron un estudio compacto en un despacho pequeño, utilizando una Lightboard de escritorio, equipo audiovisual asequible y software de grabación libre. Los vídeos producidos combinan escritura en tiempo real con superposición de gráficos y texto, lo que permite al profesor mantener contacto visual con el alumnado mientras explica los conceptos. Los vídeos se utilizaron en cursos con alta carga de contenido visual, como mecanismos de reacción y resolución de problemas en Química Orgánica. Los autores destacan que este formato facilita mostrar procesos paso a paso, lo que resulta especialmente útil para habilidades como la escritura de mecanismos o la interpretación de estructuras moleculares. Según los resultados de una encuesta a estudiantes, un 74 % percibió los vídeos con Lightboard como más atractivos que los formatos previos. Además, el porcentaje de estudiantes que visualizaban los vídeos aumentó tras la adopción de este formato. Los comentarios cualitativos refuerzan la percepción positiva de la interacción visual y la claridad en la presentación. Los autores concluyen que la Lightboard es una herramienta eficaz y accesible para crear contenido prelectivo de alta calidad, capaz de mejorar el compromiso estudiantil. Proponen su uso extendido en enseñanza de Química y otras disciplinas que requieran representación visual intensiva.
- En el estudio de [24] se analiza el impacto pedagógico de un aula virtual equipada con Lightboard durante la pandemia de COVID-19, en dos cursos sincrónicos de ingeniería en Colombia. El estudio emplea un modelo extendido de aceptación tecnológica para evaluar cómo esta herramienta influye en la satisfacción del aprendizaje de los estudiantes.

El modelo propuesto incluye 11 variables, entre ellas la facilidad para recibir las clases, la actitud de los estudiantes hacia la Lightboard, la interacción con el profesor y entre compañeros, el uso del aula virtual con Lightboard, el rendimiento percibido y factores socio-culturales. Se analizaron las relaciones entre estas variables mediante encuestas tipo Likert y preguntas abiertas, aplicadas a 30 estudiantes de cursos de Matemáticas Especiales y Sistemas de Control Digital. Los resultados muestran que la satisfacción del aprendizaje está positivamente influenciada por la facilidad de recepción de las clases, la actitud hacia el uso de la Lightboard y el rendimiento de aprendizaje percibido. El uso de la Lightboard se asocia con una experiencia más dinámica, una interacción más cercana con el profesor y una percepción de mayor similitud con la enseñanza presencial. Los estudiantes valoraron especialmente la posibilidad de ver el proceso de escritura y la expresividad del docente durante las sesiones. Entre las limitaciones, se identificaron problemas técnicos vinculados a la conectividad, la infraestructura tecnológica y el contexto socioeconómico de los estudiantes, que pueden afectar la eficacia del modelo en entornos virtuales. Sin embargo, la mayoría de los estudiantes manifestaron una valoración positiva del uso de la Lightboard, sugiriendo que esta tecnología contribuye a mejorar la experiencia de aprendizaje en clases virtuales sincrónicas.

Como síntesis de los estudios analizados, se presenta la siguiente tabla resumen que permite visualizar de manera comparativa el enfoque y los principales resultados de cada investigación

Ref.	Año	Nivel	Metodología	Resultados clave
[14]	2020	General / Teoría	Revisión experimental	Principios para mejorar vídeos educativos
[13]	2021	Universidad	Cuantitativa	Mejora comprensión y compromiso en cursos cuantitativos
[15]	2021	Universidad	Cualitativa / Observacional	Mayor motivación y comprensión en ingeniería
[16]	2020	Universidad	Estudio de caso	Mejora en producción y claridad de vídeos
[17]	2024	Primaria	Mixta	Mayor compromiso, comprensión equivalente

Ref.	Año	Nivel	Metodología	Resultados clave
[18]	2024	Bachillerato	Cuantitativa	Mejora comprensión, participación y motivación
[19]	2017	Universidad	Estudio práctico	Mayor claridad y aceptación en Flipped Classroom
[20]	2023	Universidad	Cualitativa	Mayor interacción, facilidad de uso en enseñanza online
[21]	2021	Universidad	Estudio de caso	Mayor interacción visual, mejora en STEM
[22]	2023	Universidad	Cualitativa	Mayor atractivo, compromiso percibido
[23]	2023	Universidad	Estudio práctico	Mejor compromiso y claridad en vídeos prelectivos
[24]	2023	Universidad	Cuantitativa / TAM	Mejora satisfacción y percepción de aprendizaje

6. Objetivos

El objetivo general del trabajo es analizar el impacto y la aceptación de la metodología Lightboard en la enseñanza de la Física mediante el estudio de vídeos didácticos disponibles en plataformas digitales y mediante encuestas a estudiantes. Más específicamente los objetivos del mismo son:

- Evaluar el alcance y la popularidad de vídeos educativos grabados con la metodología Lightboard en comparación con otros formatos tradicionales mediante el análisis de métricas de YouTube (número de visualizaciones, «Me gusta», comentarios, tiempo de visualización promedio).
- Diseñar y aplicar una encuesta a estudiantes de Física para recoger su percepción sobre el uso de la Lightboard como recurso didáctico.
- Comparar la valoración de la comprensión, motivación y satisfacción de los estudiantes en función del tipo de vídeo educativo (Lightboard vs métodos tradicionales).
- Identificar las principales ventajas y limitaciones percibidas por los alumnos respecto a la utilización de la metodología Lightboard.
- Proponer recomendaciones para la implementación efectiva de Lightboard en contextos educativos basadas en los resultados obtenidos y en la experiencia adquirida durante la elaboración de los vídeos.

7. Fundamentos físicos de la Lightboard

El funcionamiento de una Lightboard se explica por la conjunción de dos fenómenos físicos: la reflexión interna total de la luz LED dentro del panel de metacrilato (PMMA) y la fluorescencia de los colorantes presentes en la tinta de los rotuladores [25]. En primer lugar, la luz emitida por LEDs laterales se propaga internamente en el metacrilato y solo escapa cuando encuentra una alteración en la superficie, como los trazos de tinta. Estos colorantes, que suelen incluir compuestos como fluoresceína, rodamina o estilbenos, absorben luz de alta energía (luz azul o UV de los LEDs) y la reemiten en longitudes de

onda visibles, produciendo los colores brillantes observados. Este proceso óptico garantiza que los trazos se iluminen de forma intensa y contrastada frente al fondo, facilitando su captura en video o proyección. Además, estudios como el realizado por [26] han demostrado que incluso el propio PMMA puede presentar una fluorescencia débil bajo luz ultravioleta, aunque su contribución es mínima en comparación con la de los tintes añadidos. La construcción adecuada de una Lightboard es fundamental para garantizar su correcto funcionamiento y obtener resultados óptimos en la grabación de contenidos educativos. Este dispositivo combina elementos ópticos, eléctricos y audiovisuales, por lo que su ensamblaje debe seguir una serie de criterios técnicos que aseguren tanto la calidad de la imagen como la comodidad de uso para el docente. La figura 8 muestra un esquema de dos posibles construcciones de la Lightboard

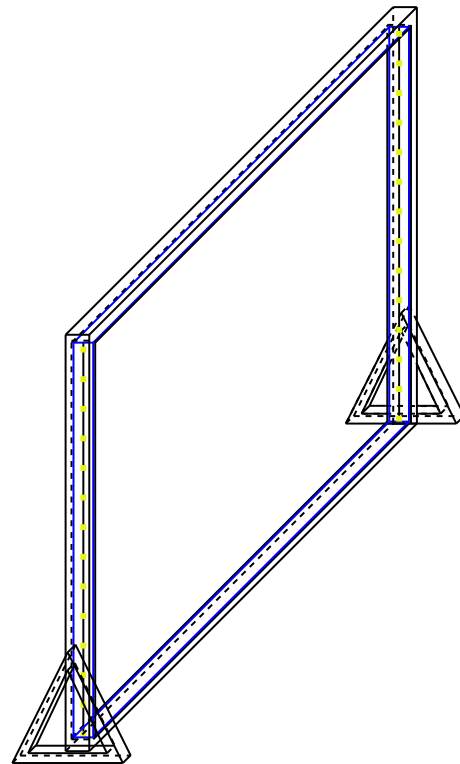


Figura 7: Esquema de una Lightboard.

El funcionamiento de una Lightboard se explica por la conjunción de dos fenómenos físicos: la reflexión interna total de la luz LED dentro del panel de metacrilato (PMMA) y la fluorescencia de los colorantes presentes en la tinta de los rotuladores. [25] En primer lugar, la luz emitida por LEDs laterales se propaga internamente en el metacrilato y solo escapa cuando encuentra una alteración en la superficie, como los trazos de tinta. Estos colorantes, que suelen incluir compuestos como fluoresceína, rodamina o estilbenos, absorben luz de alta energía (luz azul o UV de los LEDs) y la reemiten en longitudes de onda visibles, produciendo los colores brillantes observados. Este proceso óptico garantiza que los trazos se iluminen de forma intensa y contrastada frente al fondo, facilitando su captura en video

o proyección. Además, estudios como el realizado por [26] han demostrado que incluso el propio PMMA puede presentar una fluorescencia débil bajo luz ultravioleta, aunque su contribución es mínima en comparación con la de los tintes añadidos .

La construcción adecuada de una Lightboard es fundamental para garantizar su correcto funcionamiento y obtener resultados óptimos en la grabación de contenidos educativos. Este dispositivo combina elementos ópticos, eléctricos y audiovisuales, por lo que su ensamblaje debe seguir una serie de criterios técnicos que aseguren tanto la calidad de la imagen como la comodidad de uso para el docente. La figura 8 muestra un esquema de dos posibles construcciones de la Lightboard. A continuación, se detallan los materiales esenciales clasificados según su función principal..

7.1. Superficie de escritura y sistema de iluminación

Es el componente central de la Lightboard. Está formado por un cristal templado o metacrilato cuyo espesor recomendado está entre 8 y 12 mm. El cristal debe tener una alta transmisión de luz y baja reflexión para evitar brillos molestos y asegurar que la escritura sea perfectamente visible desde el otro lado. Además, el uso de cristal templado garantiza seguridad en caso de rotura.

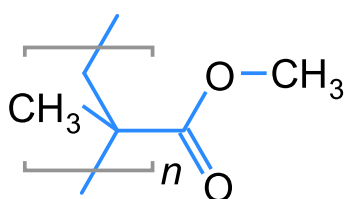


Figura 8: Estructura de del PMMA.

Es importante que las tiras LED sean uniformes y estén bien fijadas para evitar zonas oscuras o poco iluminadas. Además, se necesita de una fuente de alimentación para LEDs que garantice tanto la estabilidad como la seguridad del sistema de iluminación.

El metacrilato, también conocido como polimetilmetacrilato (PMMA), es un material plástico transparente que se utiliza como alternativa ligera y resistente al vidrio. Su nombre

En cuanto a la iluminación interna de la Lightboard, su componente principal son las tiras de luces LED. Estas luces se colocan en los bordes del cristal y tienen la función de iluminar los trazos realizados con rotuladores fluorescentes. La refracción de la luz a través del vidrio hace que la tinta brille intensamente, generando un efecto visual atractivo y legible. Es

químico completo es poli(metil-2 metilpropenoato) y se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo. Se trata de un termoplástico que destaca por su alta transparencia, buena resistencia a los impactos, facilidad de mecanizado y estabilidad frente a la intemperie. Su versatilidad lo hace común en aplicaciones como rótulos, mamparas, vitrinas, prótesis dentales y Lightboards, entre otras.

7.2. Herramientas de escritura

Se utilizan rotuladores fluorescentes de base líquida. Estos marcadores permiten escribir directamente sobre el cristal, generando trazos visibles gracias al efecto de la iluminación LED. Deben ser compatibles con superficies lisas no porosas y fácilmente borrables para reutilizar el mismo cristal en múltiples grabaciones.

Para borrar se utilizan paños de microfibra y limpiadores a base de jabón neutro, o alcohol (solo en caso de uso de cristal, no de metacrilato), que permiten la limpieza del vidrio sin dañar su superficie ni dejar residuos, lo que es esencial para mantener una visibilidad clara durante las sesiones.

7.3. Estructura de soporte

Como soporte se utiliza una estructura metálica o bastidor de madera que sostiene el cristal de forma segura y vertical. Debe ser robusto, estable y capaz de absorber pequeñas vibraciones que pudieran afectar la grabación. En muchos casos, el bastidor incluye un marco opaco que oculta las conexiones de luz y mejora la estética visual del conjunto. Además, las Lightboards de gran tamaño, deben llevar ruedas con freno si se desea la movilidad del dispositivo dentro de un aula o estudio.

7.4. Equipamiento de grabación

La cámara de vídeo digital (resolución Full HD o superior) se debe colocar alineada al nivel de los ojos del docente y centrada frente a la superficie de escritura. Una buena

cámara garantiza la captura nítida tanto de los trazos como de los gestos y expresiones del instructor, aspectos claves en la eficacia pedagógica del sistema. Está bien disponer de un trípode o soporte de cámara ajustable que permita alinear y estabilizar la cámara para mantener un encuadre constante.

Un micrófono externo mejora notablemente la calidad del audio respecto al micrófono interno de las cámaras. El uso de un micrófono de solapa inalámbrico puede facilitar el movimiento del docente sin comprometer la captación sonora.

En cuanto a la iluminación ambiental, se recomienda el uso de focos indirectos de luz cálida o LED de temperatura neutra para iluminar al profesor sin generar reflejos en el cristal. Además, un fondo oscuro uniforme (como una tela negra o panel opaco) mejora el contraste del contenido escrito.

7.5. Software y herramientas digitales

Se necesita de un software de inversión horizontal de imagen. Es imprescindible para que el contenido escrito se vea correctamente orientado para los estudiantes. La cámara graba una imagen especular, por lo que se requiere voltear horizontalmente el vídeo en tiempo real o en postproducción. Desde el punto de vista matemático, la inversión horizontal de la imagen se puede representar como una reflexión respecto al eje vertical (y). En términos de álgebra lineal, esta transformación viene dada por la siguiente matriz de reflexión:

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Al aplicarla a un vector (x, y) , se obtiene el vector $(-x, y)$, es decir, se invierte la coordenada horizontal. Este paso es esencial para corregir la imagen especular que graba la cámara al escribir sobre el cristal, de manera que el texto aparezca correctamente orientado en el vídeo final.

También se puede hacer uso de un editor de vídeo. Permite añadir gráficos, subtítulos, efectos visuales y ajustar el brillo/contraste para optimizar el resultado final del vídeo educativo.

8. Material y Métodos

Se combina un enfoque cualitativo y cuantitativo para analizar el impacto del uso de la Lightboard en la enseñanza de la Física. Para ello, se han empleado dos líneas principales de trabajo: el análisis de vídeos disponibles en plataformas digitales, la realización de una prueba experimental controlada con estudiantes reales y el análisis de la literatura científica disponible sobre la Lightboard.

8.1. Análisis de contenidos en YouTube

Se seleccionaron varios canales educativos de YouTube dedicados a la enseñanza de disciplinas científicas, con especial atención a aquellos que utilizan diferentes formatos de presentación, incluyendo pizarra tradicional, pizarra digital y Lightboard. Podemos destacar los siguientes canales en los que coexisten vídeos grabados con distintos tipos de pizarra:

- El canal de Fernando Manso, Electrónica FP: <https://www.youtube.com/c/ElectrónicaFP>
- El canal Chemistry in a Nutshell: <https://www.youtube.com/@ChemistryinaNutshell>
- El canal Northwestern Robotics: <https://www.youtube.com/@NorthwesternRobotics>

Se recopilaron y analizaron métricas públicas de una muestra de vídeos representativos de cada formato: número de visualizaciones, «Me gusta», comentarios positivos y negativos, y fecha de publicación. Para garantizar la comparabilidad, se seleccionaron vídeos con contenidos similares y duración equivalente. A partir de estos datos se aplicaron herramientas estadísticas básicas (media, desviación estándar y comparación de proporciones) con el fin de identificar tendencias y diferencias en la recepción del público.

8.2. Elaboración de material didáctico propio.

Para evaluar de forma más directa la percepción estudiantil, se construyó una Lightboard casera siguiendo las especificaciones descritas en el apartado de fundamentos. Con ella se grabaron dos versiones de un mismo contenido didáctico de Física: una utilizando pizarra verde tradicional y otra utilizando Lightboard. El contenido se mantuvo idéntico en ambas versiones para garantizar la validez del experimento. Los videos tuvieron una duración aproximada de unos 5 minutos.

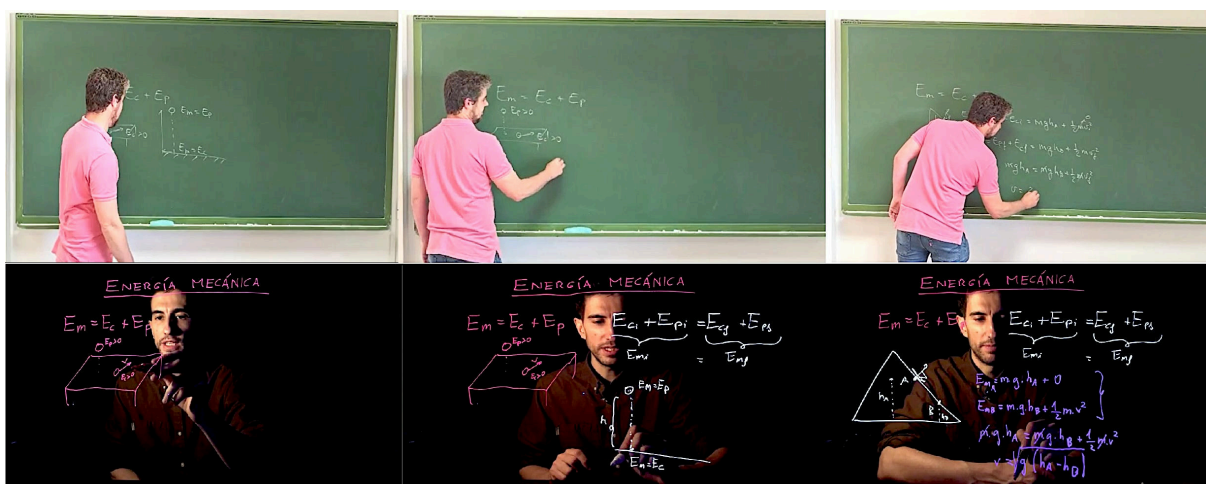


Figura 9: Fotogramas de los vídeos realizados.

Una vez grabados los vídeos, se mostraron de forma aleatoria a un total de 108 estudiantes de Física de 4º de ESO y 1º de Bachillerato. Tras visualizar ambos vídeos, los alumnos respondieron a una encuesta estructurada, diseñada para recoger su valoración en aspectos como:

- Claridad de la explicación.
- Atención mantenida durante el vídeo.
- Comprensión del contenido.
- Preferencia entre los formatos.
- Opinión general sobre el uso del Lightboard.

Los enlaces de los vídeos son los siguientes:

- Vídeo de Lightboard: https://bit.ly/tfg_lightboard.

- Vídeo con pizarra tradicional: https://bit.ly/tfg_pizarra.

La encuesta constó de preguntas tipo Likert (de 1 a 5) y preguntas de selección única [27].

Se presenta a continuación:

1. Valoración individual (escala Likert: 1 = Muy en desacuerdo, 5 = Muy de acuerdo)

- Comprensión del contenido:
 - ▶ P1: El vídeo con pizarra tradicional me ha ayudado a entender los conceptos explicados.
 - ▶ P2: El vídeo con Lightboard me ha ayudado a entender los conceptos explicados.
 - ▶ P3: En el vídeo con Lightboard he seguido mejor el desarrollo paso a paso de los problemas.
- Atención y compromiso:
 - ▶ P4: El vídeo con pizarra tradicional ha mantenido mi atención.
 - ▶ P5: El vídeo con Lightboard ha conseguido mantener mejor mi atención.
 - ▶ P6: Me he sentido más implicado/a mientras veía el vídeo con Lightboard.
- Satisfacción general:
 - ▶ P7: Me ha gustado más el formato del vídeo con Lightboard que el tradicional.
 - ▶ P8: Preferiría que más profesores usaran el Lightboard para explicar contenidos complejos.
 - ▶ P9: Me gustaría poder hacer vídeos o presentaciones con este tipo de herramienta.

2. Comparativa directa (selección única):

- P10: ¿Qué vídeo te ha resultado más claro y fácil de seguir?
 - ▶ Pizarra tradicional.
 - ▶ Lightboard.
 - ▶ Ambos por igual
 - ▶ Ninguno
- P11: ¿En qué vídeo has sentido mayor conexión con el profesor?
 - ▶ Pizarra tradicional.
 - ▶ Lightboard.

- ▶ Ambos por igual.
- ▶ Ninguno.
- P12: ¿Cuál te ha parecido más atractivo visualmente?
 - ▶ Pizarra tradicional.
 - ▶ Lightboard.
- P13: ¿En qué formato crees que se podría aprender mejor Física?
 - ▶ Pizarra tradicional.
 - ▶ Lightboard.
 - ▶ No lo sé.

Los resultados fueron anonimizados y tratados estadísticamente para identificar tendencias generales, comparar puntuaciones medias y detectar patrones en función del perfil del estudiante.

9. Resultados y discusión

En la presente sección se muestran los resultados obtenidos por los estudios realizados tanto del análisis de las métricas de YouTube de los distintos canales estudiados como los resultados que arrojan las estadísticas realizadas tras la recopilación de las encuestas pasadas a los estudiantes.

9.1. Resultados análisis contenidos de YouTube

Para evaluar el impacto del cambio de formato de los vídeos, de pizarra blanca tradicional a Lightboard, se analizaron diversas métricas extraídas de los comentarios de los usuarios y las estadísticas públicas de los vídeos en YouTube. A continuación se presentan los principales resultados obtenidos.

Para el canal de *Electrónica FP* se analizaron un total de 38 videos, tomando nota del número de visualizaciones, el total de «Me gusta» y se analizaron los comentarios de los usuarios del canal, tomando en particular consideración los comentarios relacionados acerca el propio formato del video.

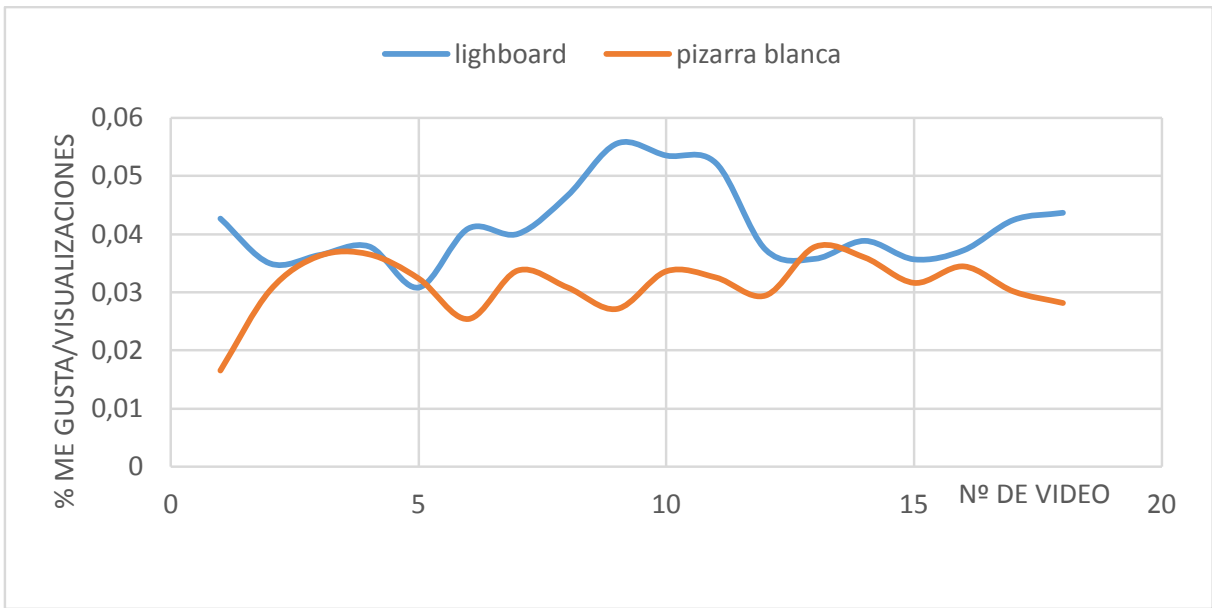


Figura 10: Ratio «Me gusta» vs visualizaciones para cada video.

La Figura 10 muestra el ratio entre «Me gusta» y visualizaciones para vídeos de cada una de las listas emparejados por duraciones similares. Este indicador se interpreta como una medida de aprobación relativa. Como puede observarse, los vídeos grabados con Lightboard presentan de forma sistemática un ratio más alto, con una tendencia ascendente y más estable que en los vídeos con pizarra blanca. Esto sugiere que, aunque los vídeos no siempre reciban más visualizaciones absolutas, quienes los ven valoran más el contenido en este nuevo formato.

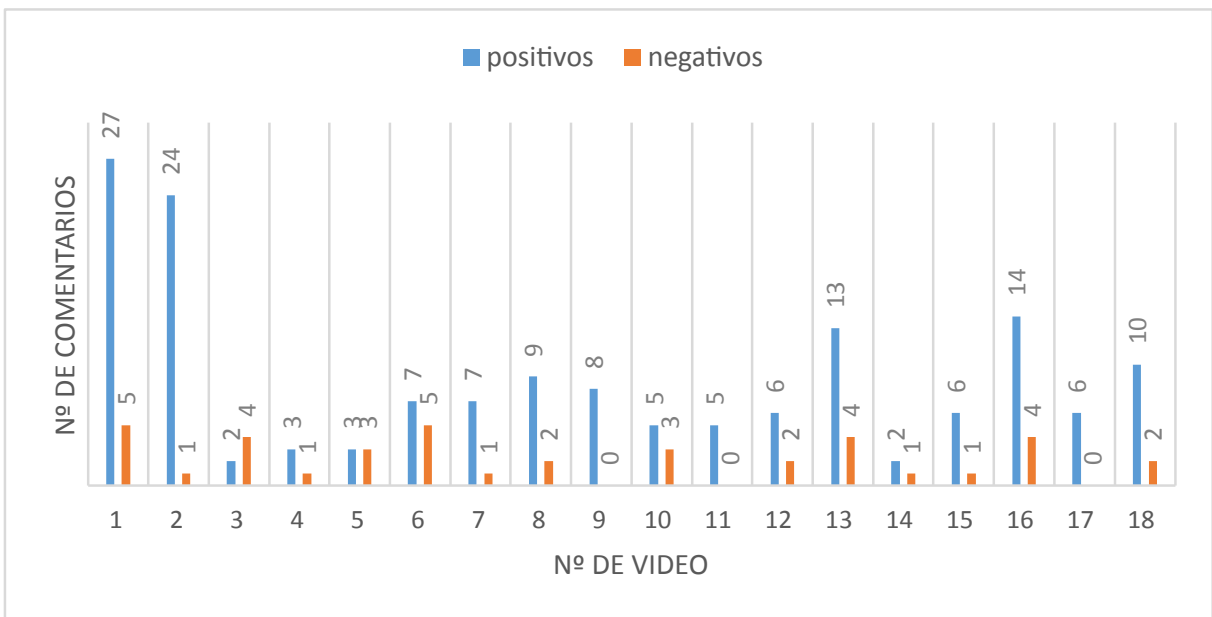


Figura 11: Comentarios cualitativos (positivos vs negativos).

La Figura 11 compara el número de comentarios positivos y negativos relacionados con el formato visual de los vídeos. Todos estos comentarios pertenecen a la etapa Lightboard, ya que en la etapa anterior no se registraron apenas comentarios sobre el formato. Los resultados son contundentes: los comentarios positivos superan ampliamente a los negativos en todos los vídeos analizados, lo que refuerza la percepción positiva del nuevo enfoque visual.

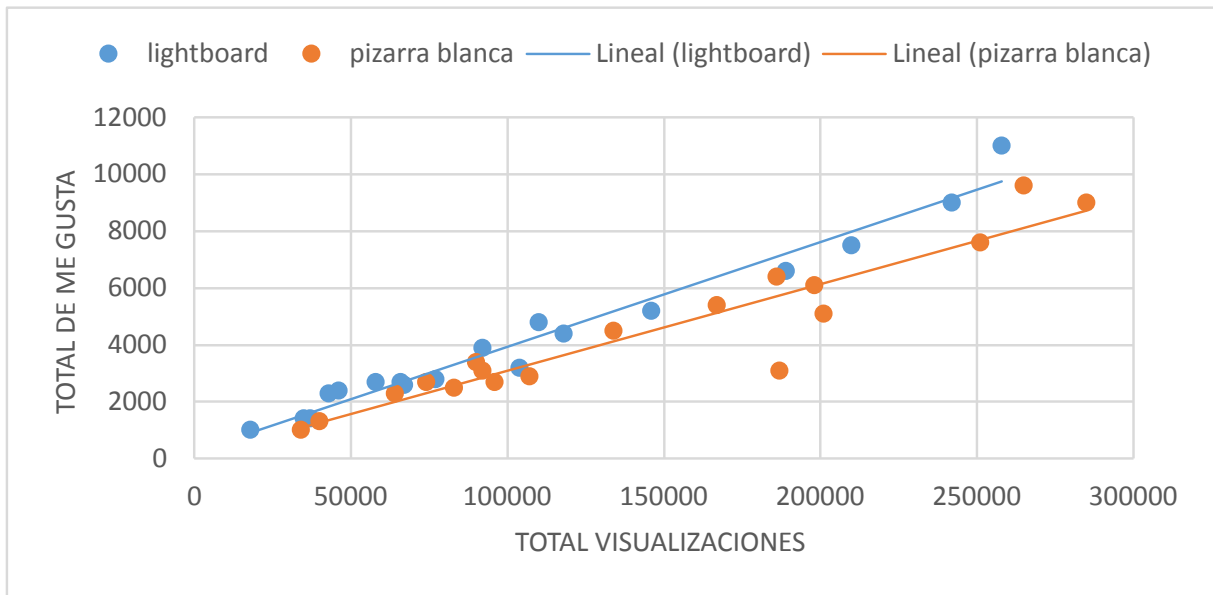


Figura 12: Engagement y correlación («Me gusta» vs visualizaciones).

La Figura 12 muestra la relación directa entre el número total de visualizaciones y el número de «Me gusta». En ambos formatos se observa una fuerte correlación positiva, como es de esperar. Sin embargo, los puntos correspondientes al Lightboard tienden a alinearse con una pendiente ligeramente mayor, lo que puede interpretarse como una mayor interacción por parte de los espectadores por cada visualización.

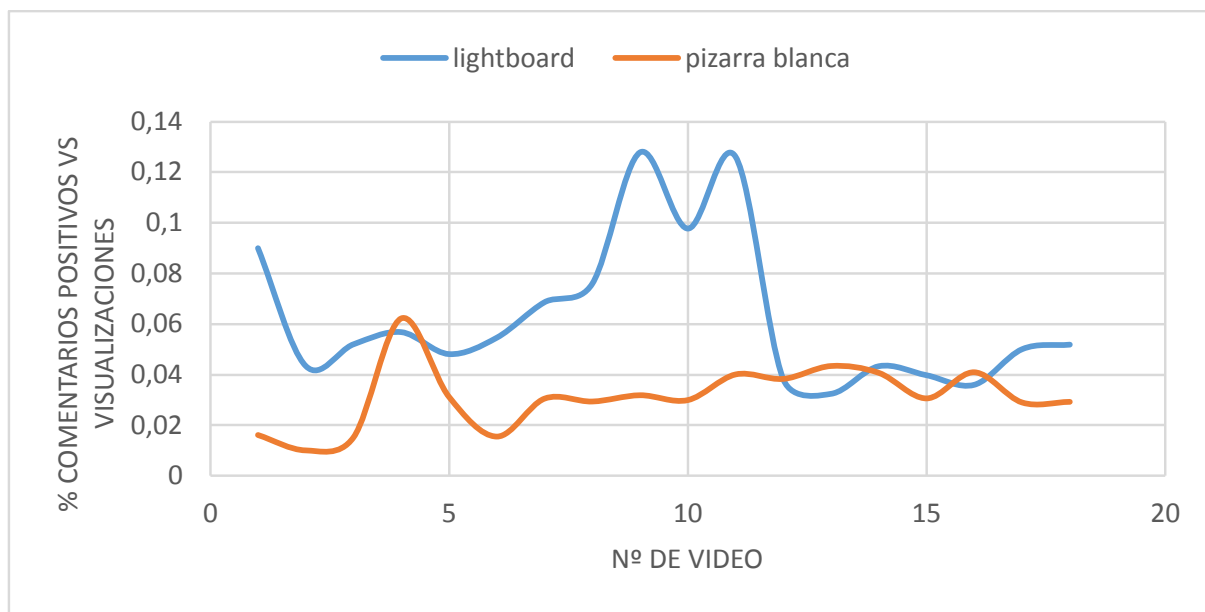


Figura 13: Impacto emocional relativo (comentarios positivos por video).

La Figura 13 representa el ratio de comentarios positivos por cada visualización. También en este caso, los vídeos con Lightboard muestran valores más altos en casi toda la serie, lo que refuerza la idea de que este formato provoca una reacción emocional más intensa o valiosa en el público.

Se han analizado las métricas de interacción de 40 vídeos del canal Chemistry in a Nutshell de dos listas diferentes. La primera lista consta de un total de 23 videos de los cuales 11 han sido realizados con Pizarra Digital y 12 con Lightboard. La segunda lista realizada solo con la Lightboard tiene un total de 17 videos analizados. La siguiente gráfica nos muestra la relación entre «Me gusta» y visualizaciones:

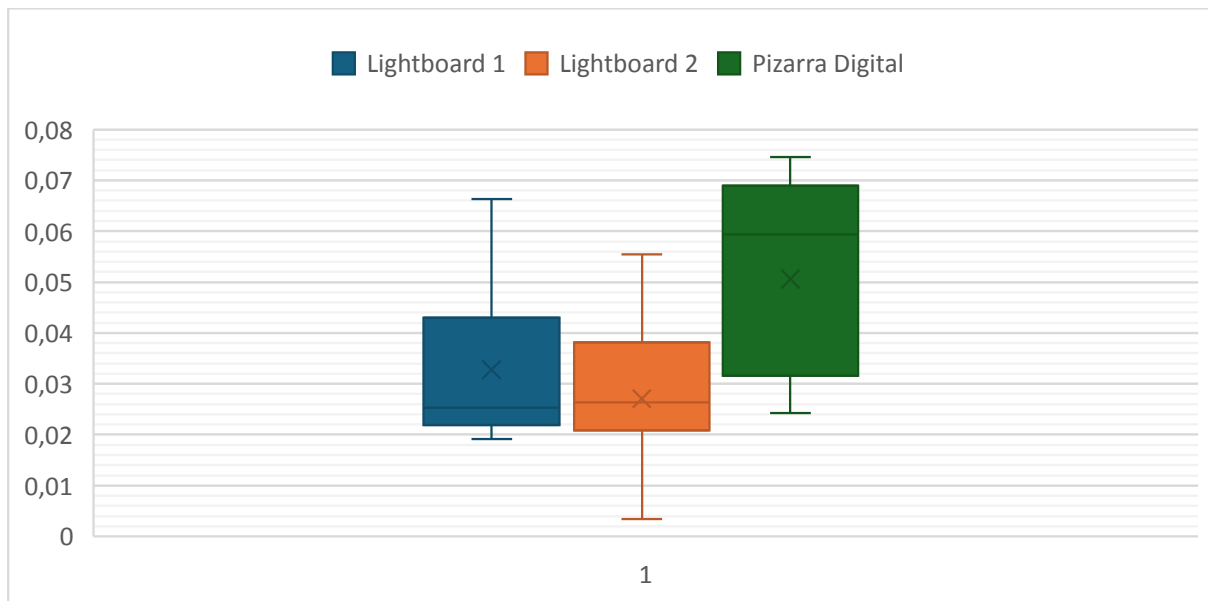


Figura 14: «Me gusta» vs visualizaciones totales en diagrama de bigotes.

Se observa que la pizarra digital tiene el ratio más alto y consistente de «Me gusta» respecto a visualizaciones. Lightboard 1 (se corresponde con los videos de la misma lista que la pizarra digital) y Lightboard 2 tienen valores más bajos y similares, con más dispersión en el caso de Lightboard 2 (videos correspondientes a la otra lista). Esto sugiere que la Pizarra Digital genera más engagement proporcionalmente.

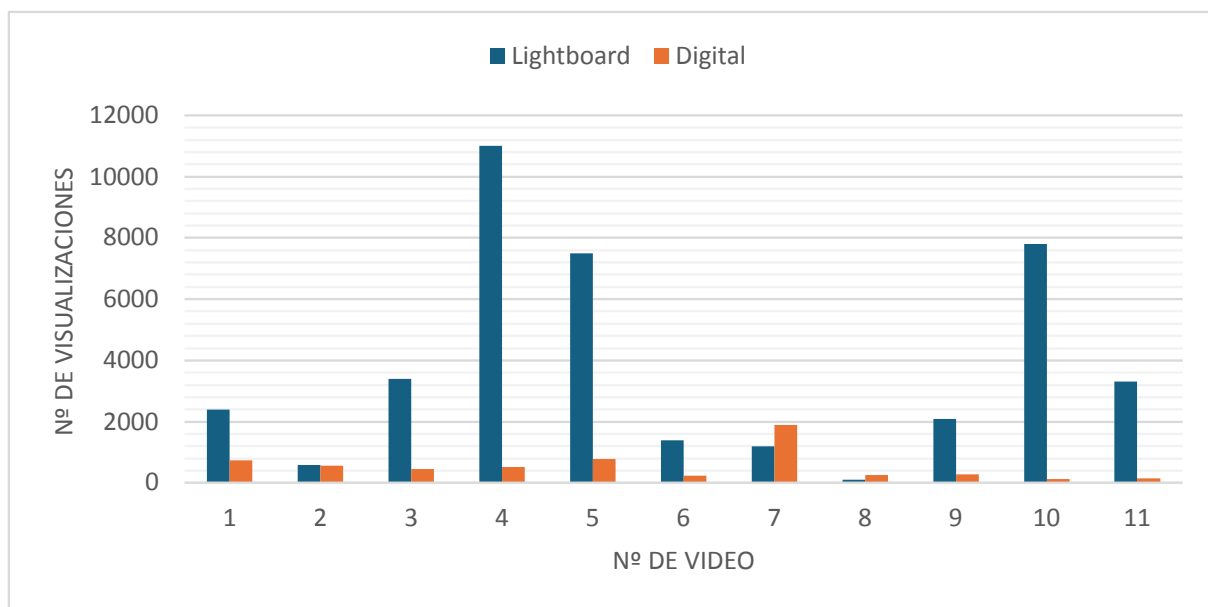


Figura 15: Nº de visualizaciones por video.

Sin embargo, cuando se analiza el número total de visualizaciones, Figura 15, donde se comparan 11 videos de la primera lista realizados con la Pizarra Digital con 11 videos

realizados con Lightboard con duraciones similares, los vídeos realizados con Lightboard alcanzan cifras significativamente más altas, con picos por encima de las 10.000 visitas. Por el contrario, los vídeos con Pizarra Digital no superan las 2.000 visualizaciones. Esto sugiere que, aunque la pizarra digital genera una mejor reacción relativa, la Lightboard logra una mayor difusión y alcance. Para la segunda lista el total de visualizaciones supera considerablemente las visualizaciones de la lista 1.

Si tenemos en cuenta las medias de las visualizaciones para cada lista y formato esto se corrobora en la Tabla 3.

Tipo de pizarra	Media visualizaciones totales
Digital (lista 1)	547.6
Lightboard (lista 1)	2213.8
Lightboard (lista 2)	6105.9

Por último si comparamos el total de «Me gusta» que obtienen los videos de ambas listas según el tipo de pizarra:

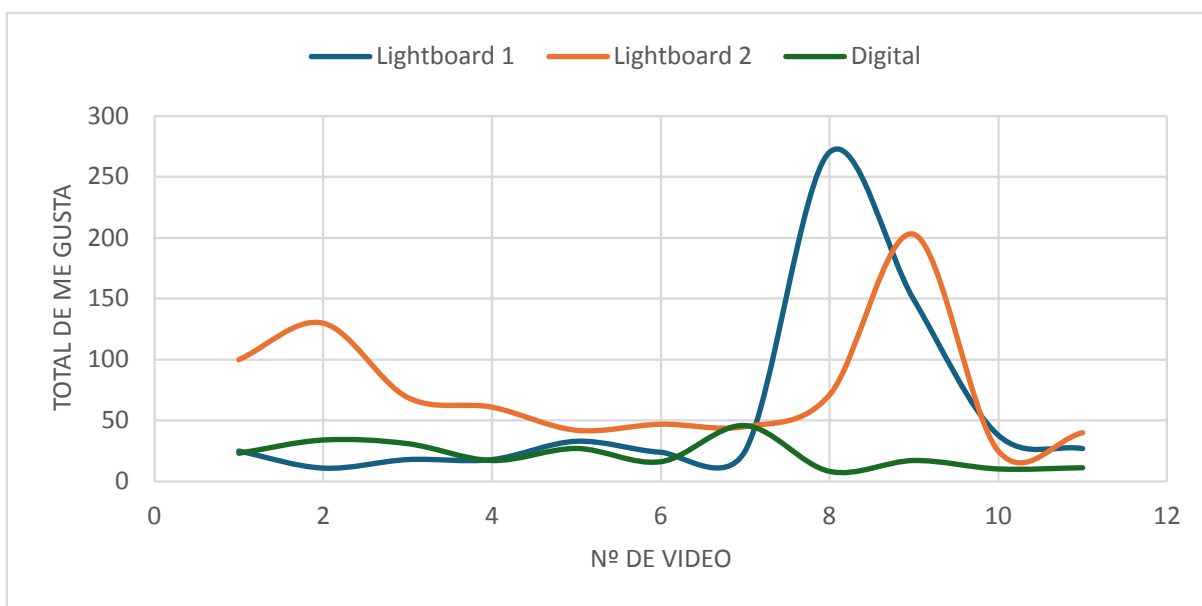


Figura 16: Total de «Me gusta» por video.

La Figura 16 sugiere que, en términos de impacto absoluto en la audiencia (número total de «Me gusta»), los formatos Lightboard son considerablemente más eficaces. No obstante, el bajo volumen de interacción con la Pizarra Digital podría deberse a su menor alcance

general, más que a una menor calidad percibida. Puesto que como se observa en la Figura 14 el ratio «Me gusta» vs visualizaciones totales es mejor para este formato.

Se han analizado 2 listas del canal Northwestern Robotics con contenidos de robótica, uno hecho en 2018 con Lightboard y el otro realizado en 2020 con pizarra tradicional. Se analiza solamente el número de visualizaciones de cada lista puesto que los «Me gusta» están desactivados y los comentarios solo están activos en una de las listas. A continuación se muestra un gráfico de barras con los resultados obtenidos

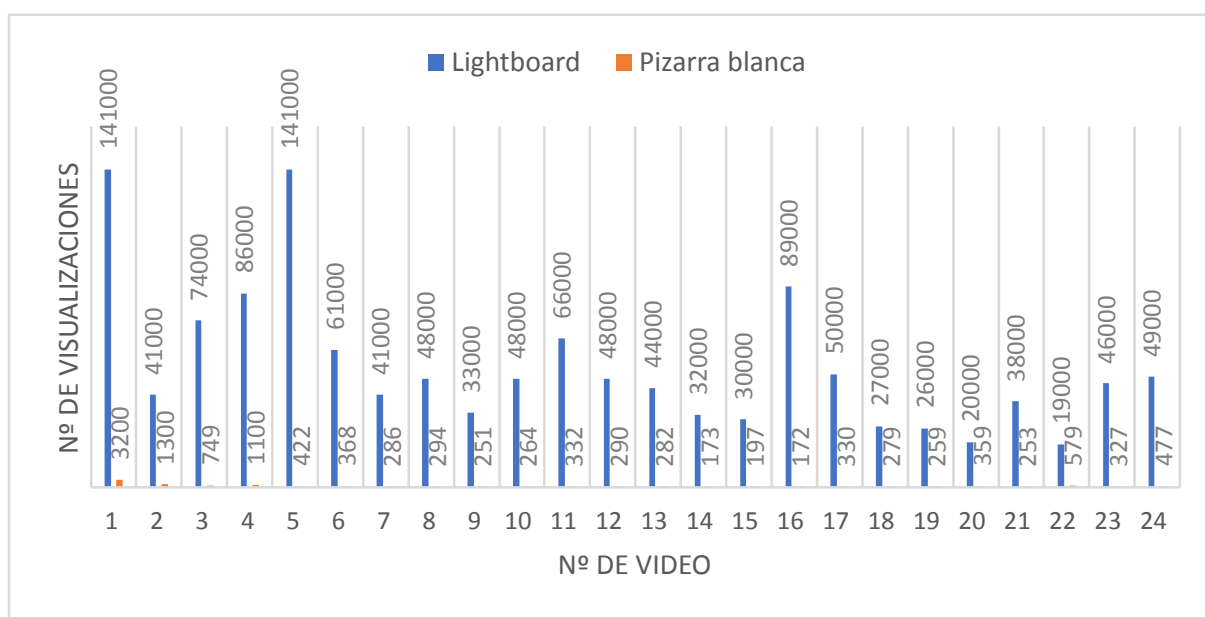


Figura 17: Número de visualizaciones por video.

Se observa que la lista realizada con Lightboard tiene muchísimo más alcance que la lista realizada con pizarra tradicional. La media de visualizaciones para la lista de la lightboard es de 54083 visualizaciones mientras que para la lista hecha con pizarra tradicional la media está en 523, que resulta ser 100 veces menor.

9.2. Resultados de la encuesta entre alumnos ESO

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de las encuestas realizadas a los estudiantes de 4º de ESO y 1º de Bachillerato. En primer lugar, se muestran los estadísticos descriptivos correspondientes a las preguntas del bloque de valoración individual

(P1–P9), así como los porcentajes de preferencia recogidos en el bloque comparativo (P10–P13).

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Media	3.06	4.41	4.24	3.00	4.01	4.06	4.39	4.33	4.06
Desviación típica	0.69	0.66	0.68	0.84	0.69	0.69	0.65	0.70	0.75
Respuestas altas (%)	24.10	90.70	89.80	25.90	78.70	83.30	92.60	87.00	76.90

	P10	P11	P12	P13
Preferencia LB (%)	62.04	68.52	89.81	70.37

Los resultados cuantitativos reflejan una tendencia clara a favor del uso del formato Lightboard (LB) en comparación con la pizarra tradicional (PT).

En términos de comprensión del contenido, las puntuaciones medias fueron notablemente más altas en los ítems referidos al LB (4.41 en P2 y 4.24 en P3) que en el correspondiente a la PT (3.06 en P1). Esta diferencia se refuerza con los porcentajes de respuestas altas (valores 4 o 5), que alcanzan el 90.7 % y el 89.8 % en P2 y P3, frente a un 24.1 % en P1.

En el bloque de atención y compromiso, los ítems vinculados al LB (P5 y P6) también superan claramente a los de PT, tanto en media como en porcentaje de respuestas altas (P5: media = 4.01; 78.7 % respuestas altas; P6: media = 4.06; 83.3 %; frente a P4: media = 3.00; 25.9 %).

En cuanto a la satisfacción general con el formato, las valoraciones del LB mantienen valores elevados: P7 (media = 4.39), P8 (4.33) y P9 (4.06), con más del 75 % del alumnado mostrando un nivel alto de acuerdo.

Finalmente, en las preguntas de selección única, el LB fue elegido como el formato más claro (62 %), el que generó mayor conexión con el profesor (68.5 %), el más atractivo visualmente (89.8 %) y el que permitiría aprender mejor Física (70.3 %).

Con el fin de explorar posibles diferencias en la percepción del formato Lightboard en función de variables demográficas, se ha realizado un análisis complementario de las respuestas a las preguntas del bloque comparativo (P10–P13), desglosando los resultados

por curso (4º de ESO y 1º de Bachillerato) y por sexo. La Tabla 4 siguiente resume estos resultados.

Grupo	P10 (%)	P11 (%)	P12 (%)	P13 (%)
1º Bachillerato	64	71	92	73
4º ESO	60	65	88	67
Chicos	61	67	88	68
Chicas	63	69	92	72

Como puede observarse, las diferencias entre los grupos son poco significativas, pero consistentes. Los estudiantes de 1º de Bachillerato tienden a valorar ligeramente mejor el formato Lightboard en cuanto a claridad, conexión con el profesor y utilidad para el aprendizaje, lo que resulta coherente con su mayor madurez y experiencia con materiales digitales. Del mismo modo, las alumnas muestran una ligera preferencia por el formato, especialmente en la dimensión estética y en la percepción de aprendizaje. En conjunto, estos resultados refuerzan la tendencia general observada en la muestra completa a favor del uso del Lightboard como recurso didáctico eficaz.

10. Recomendaciones

Tras la experiencia de diseño, grabación y análisis de vídeos con Lightboard, se han identificado una serie de recomendaciones técnicas y metodológicas que pueden resultar útiles para docentes interesados en implementar este recurso en sus propias clases de Física.

10.1. Elección del vestuario

Uno de los aspectos más relevantes en la grabación con Lightboard es la elección del color de la ropa del docente, ya que influye directamente en el contraste con los textos escritos y en la percepción visual general del vídeo. Se ha comprobado que las camisetas blancas dificultan la visibilidad de los trazos escritos con rotulador blanco, al no generar contraste suficiente, las camisetas oscuras (azul marino, gris oscuro, burdeos) ofrecen un equilibrio adecuado: permiten identificar al docente sin interferir visualmente, por otra parte, las camisetas negras proporcionan el mayor contraste, haciendo que los textos resalten al máximo, no obstante, generan el efecto visual de «cabeza flotante», especialmente si el fondo es también oscuro.

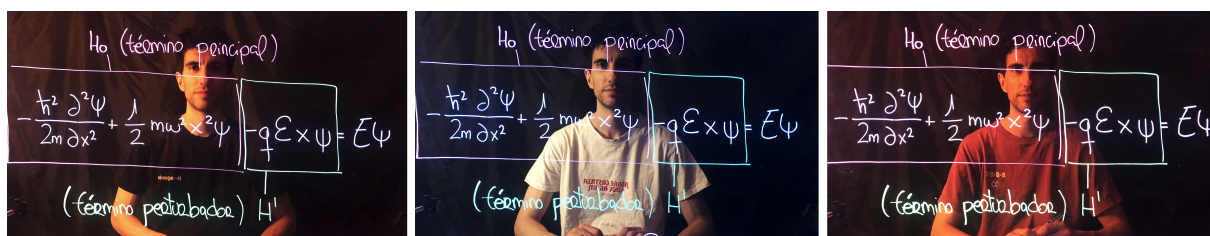


Figura 18: Prueba diferentes colores de camiseta.

En función del tipo de rotulador utilizado, puede ser conveniente alternar el color del vestuario, evitando coincidencias cromáticas que dificulten la legibilidad.

10.2. Elección de colores de rotulador

El uso del color cumple una función didáctica especialmente relevante en problemas que requieren un desarrollo gráfico o esquemático, por lo que la elección de colores adecuados cobra importancia. Los colores que ofrecen mayor intensidad y visibilidad son el azul, el verde y el rojo. Estos tonos destacan de forma nítida incluso en condiciones de baja iluminación ambiental. El blanco funciona adecuadamente como color neutro y resulta especialmente útil para ser usado para texto base. Colores como el rosa o el naranja pueden perder visibilidad en determinadas condiciones de iluminación o en combinación con ciertos fondos.

Un fenómeno interesante observado durante las grabaciones es la interacción entre el color de la luz LED y el color aparente de los rotuladores fluorescentes. Al cambiar la tonalidad de la iluminación (por ejemplo, de blanca a azul, verde o roja), se altera el modo en que los colores escritos son percibidos.

Esto abre posibilidades didácticas para explicar fenómenos ópticos relacionados con la percepción del color, la mezcla aditiva de luces o las propiedades espectrales de distintos materiales. La imagen siguiente ilustra este efecto:



Figura 19: Prueba con distintos colores de rotulador y luces LED.

10.3. Iluminación LED

La intensidad de la luz LED es uno de los factores más determinantes para la calidad del vídeo final. Una iluminación excesiva acentúa las imperfecciones del cristal (arañazos, motas de polvo, gotas de tinta seca), por el contrario, una iluminación insuficiente impide que los trazos fluorescentes brillen adecuadamente, restando claridad al contenido.

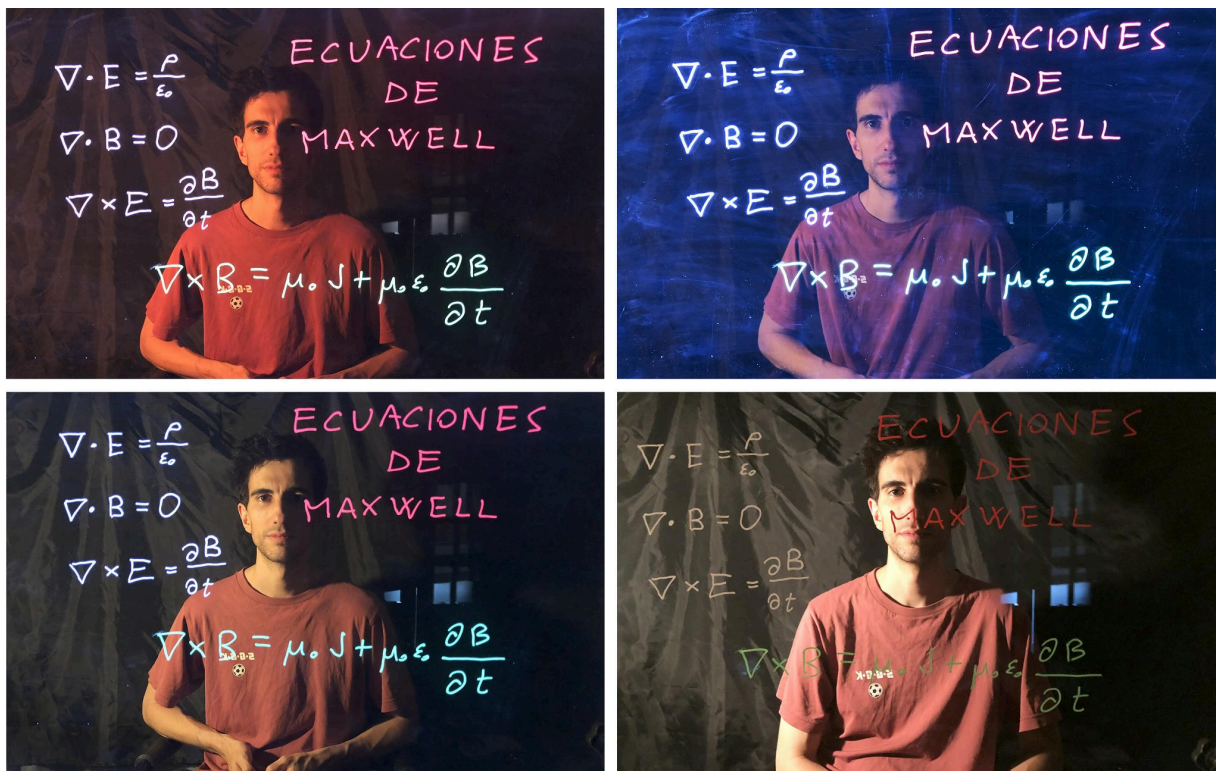


Figura 20: Prueba con distintos tipos e intensidades de iluminación LED.

Se recomienda realizar pruebas previas hasta encontrar un equilibrio óptimo entre intensidad, uniformidad y contraste.

10.4. Luz ambiental

La iluminación general del entorno también debe ser cuidadosamente ajustada. Es fundamental lograr un equilibrio entre la visibilidad del docente y la visibilidad de los textos en la pizarra. Una luz ambiental demasiado fuerte puede blanquear la imagen o generar reflejos

indeseados en el cristal; una iluminación demasiado tenue puede hacer que el rostro del profesor quede en penumbra.

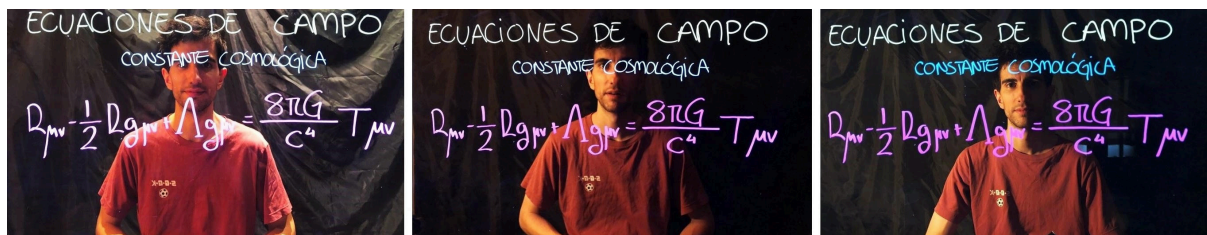


Figura 21: Fotogramas de los vídeos realizados en distintas condiciones de luz ambiental.

Se recomienda usar focos laterales o indirectos que iluminen al docente de forma homogénea sin incidir directamente sobre el cristal.

10.5. Limpieza, mantenimiento y estabilidad de la estructura

En el caso de una Lightboard casera, la estabilidad del bastidor es crítica. Durante el proceso de escritura y, especialmente, al borrar con presión, una estructura poco firme tiende a tambalearse, lo que puede afectar negativamente tanto al vídeo como a la experiencia del docente.

Por tanto, si se planea un uso intensivo o regular de la Lightboard, es recomendable invertir en una estructura robusta o considerar la adquisición de un modelo profesional.

El proceso de borrado resulta más eficaz si se realiza en seco, aplicando presión con un paño de microfibra. Esta técnica permite eliminar trazos recientes de forma rápida y sin residuos. No obstante, con el tiempo pueden acumularse restos de tinta que requieren limpieza con algún jabón neutro, o con alcohol en caso de usar cristal, pero no en el caso de metacrilato, ya que puede dañarlo con el tiempo.

El uso de jabón o alcohol, aunque eficaz, presenta el inconveniente de que tiende a esparcir la tinta si no se aplica con precisión. Además, al necesitar ejercer presión, puede resultar complicado si la estructura no es suficientemente estable.

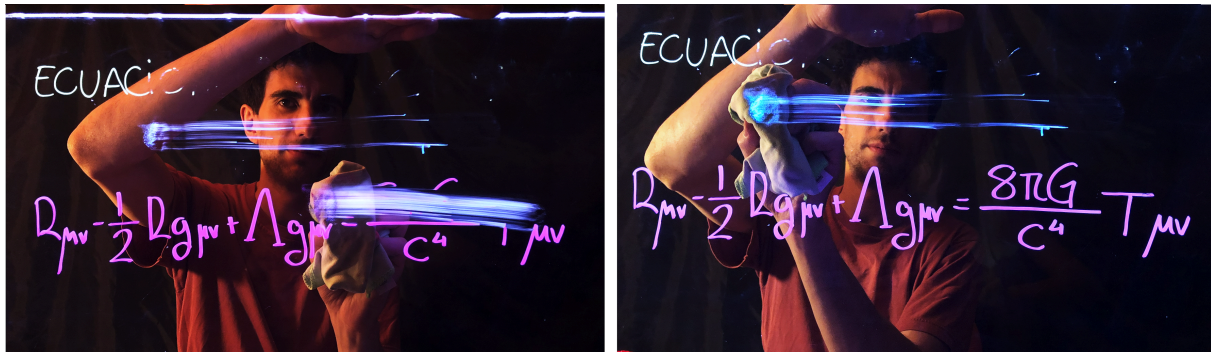


Figura 22: Visualización del proceso de borrado.

En general, se recomienda combinar ambas técnicas: borrado en seco para correcciones puntuales y limpieza con jabón o alcohol al final de cada sesión de grabación. Se requiere cierta práctica para realizar el proceso de forma rápida y eficaz.

10.6. Calidad audiovisual

El fondo ideal para la grabación con Lightboard es una tela negra opaca y sin brillo. Las superficies brillantes generan reflejos que pueden dificultar la visibilidad del texto y distraer al espectador. Cuanto más mate sea el fondo, mejor será el contraste visual entre el docente y los trazos realizados sobre la pizarra.

La calidad de la cámara utilizada influye notablemente en el resultado final. Se recomienda emplear una cámara con resolución mínima Full HD, buena respuesta en condiciones de baja luz, capacidad de enfoque manual y sensibilidad al contraste. Una cámara de calidad permite capturar con nitidez tanto los gestos del docente como los trazos fluorescentes, lo que refuerza la claridad de la explicación y mejora la experiencia del espectador. Además, facilita la edición posterior y evita artefactos visuales como ruido digital o desenfocos.

Para garantizar una experiencia inmersiva y mantener una conexión efectiva con el estudiante, es fundamental cuidar la calidad del sonido. Se recomienda el uso de un micrófono inalámbrico de calidad, preferiblemente de solapa, que permita capturar la voz con nitidez sin limitar la movilidad del docente. De esta forma, se favorece atención sostenida durante el vídeo.

11. Conclusiones

La metodología Lightboard se revela como una herramienta didáctica eficaz y valorada para la enseñanza de la Física, especialmente en entornos virtuales o híbridos. La revisión de literatura científica, el análisis de contenidos digitales y los datos obtenidos mediante encuestas a estudiantes permiten identificar múltiples ventajas asociadas al uso de esta tecnología. Los resultados muestran de forma consistente que el formato Lightboard ayuda a comprender el contenido, favorece una mayor atención sostenida durante las explicaciones y genera una mayor conexión emocional con el profesorado.

Cuantitativamente, los vídeos realizados con Lightboard presentan mayores niveles de interacción y aceptación en plataformas como YouTube, en comparación con formatos tradicionales. Además, la encuesta aplicada a estudiantes evidencia una clara preferencia por este formato, en términos de satisfacción y de percepción de utilidad pedagógica.

Sin embargo, también se han identificado ciertos desafíos. La implementación efectiva de la Lightboard requiere una inversión inicial en materiales y un proceso de familiarización técnica por parte del profesorado. Aspectos como la iluminación, o la limpieza del cristal pueden influir significativamente en la calidad del resultado final. Del mismo modo, su aplicación no siempre es la más adecuada para contenidos extensos o para dinámicas con interacción directa bidireccional en tiempo real.

En conjunto, puede afirmarse que el uso de la Lightboard no garantiza por sí solo una mejora del rendimiento académico, pero sí potencia de manera significativa la experiencia de aprendizaje y la calidad percibida. Su implementación se muestra prometedora en la enseñanza de Física, al facilitar la visualización clara de procesos, ecuaciones y diagramas sin perder la presencia activa del docente.

Bibliografía

- [1] C. Álvarez Fuertes y P. Pueyo Colomina, «Soportes e instrumentos de escritura: su evolución histórica».
- [2] J. Friberg, «Methods and traditions of Babylonian mathematics: Plimpton 322, Pythagorean triples, and the Babylonian triangle parameter equations», *Historia Mathematica*, vol. 8, n.º 3, pp. 277-318, 1981.
- [3] R. J. Gillings, «The Recto of the Rhind mathematical papyrus how did the ancient Egyptian scribe prepare it?», *Archive for History of Exact Sciences*, pp. 291-298, 1974.
- [4] J. Crespo Saumell, «El comentario a las Categorías de Aristóteles en el palimpsesto de Arquímedes / Commentary on Categories in the Archimedes Palimpsest», *Éndoxa*, n.º 35, p. 11, 2015.
- [5] F. Ozdamli y G. Asiksoy, «Flipped classroom approach.», *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, vol. 8, n.º 2, pp. 98-105, 2016.
- [6] P. Marquès, «La pizarra digital», *Recuperado de [http://www. peremarques. net/ pdigital/es/pizinteractiva. htm](http://www.peremarques.net/pdigital/es/pizinteractiva.htm)*, 2008.
- [7] D. J. Gallego, M. L. Cacheiro, y J. Dulac, «La pizarra digital interactiva como recurso docente», *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, vol. 10, n.º 2, pp. 127-145, 2009.
- [8] L. Scripps-Hoekstra y C. Cadena, «High-Velocity Videos: Exploring Lightboard Technology for Online Instruction», 2022.

- [9] A. Olaizola, «La clase invertida: Usar las TIC para “dar vuelta” a la clase», *Actas X Jornadas de Material Didáctico y Experiencias Innovadoras en Educación Superior, Universidad de Buenos Aires*, pp. 1-10, 2014.
- [10] N. S. Rosasco, «Using a Lightboard to Enhance and Retrofit an Existing Course», 2018.
- [11] M. Fernández-Ferrer, «Revisión crítica de los MOOC: pistas para su futuro en el marco de la educación en línea», *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, vol. 17, n.º 1, pp. 73-88, 2019.
- [12] A. Ayoub, R. Amin, y Z. A. Wani, «Contribution of developed countries towards MOOCs: an exploration and assessment from a representative platform Coursera», *Asian Association of Open Universities Journal*, vol. 15, n.º 2, pp. 251-262, 2020.
- [13] C. E. Tovar Polania, J. C. Caicedo Herrera, y V. A. Sánchez Sánchez, «Impacto de la pizarra luminosa en estudiantes de contaduría pública de estadística inferencial y fundamentos de matemáticas.», 2021.
- [14] R. E. Mayer, L. Fiorella, y A. Stull, «Five ways to increase the effectiveness of instructional video», *Educational Technology Research and Development*, vol. 68, n.º 3, pp. 837-852, 2020.
- [15] A. Sanz García, M. Á. Lorenzo Fernández, C. Blanco Herrera, E. Izard Anaya, A. González Muñoz, y others, «Mejora en competencias digitales y transversales en los futuros ingenieros mediante píldoras audiovisuales y "lightboard"», 2021.
- [16] S. McCorkle y P. Whitener, «The Lightboard: Expectations and Experiences», *International Journal of Designs for Learning*, vol. 11, n.º 1, pp. 75-83, 2020.
- [17] E. Aslanidou y G. P. Heliades, «Assessing the effect of Lightboard technology on students' cognitive performance in elementary school», *European Journal of Education Studies*, vol. 11, n.º 12, 2024.
- [18] U. V. R. V. Rojas, E. M. L. Velueta, y R. F. López, «Impacto del lightboard en Innovación Educativa, Caso de Estudio: Colegio de Bachilleres de Chiapas», *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 8, n.º 4, pp. 12236-12252, 2024.

- [19] F. M. Fung, «Adopting lightboard for a chemistry flipped classroom to improve technology-enhanced videos for better learner engagement». ACS Publications, 2017.
- [20] N. Gedik, E. P. U. Gunes, A. Beylik, A. Cabuk, y E. Tiras, «Portable lightboard use in online higher education», *Open Praxis*, vol. 15, n.º 2, pp. 162-174, 2023.
- [21] E. Malyutina, B. Gustavsson, J. Vierinen, y T. Tveito, «Lightboard—a new teaching tool at the Faculty of Science and Technology at UiT», *Læring om læring*, vol. 6, n.º 1, 2021.
- [22] S. Palsole, «Lighting Engagement: Student Engagement in a Lightboard vs. Traditional Video Lectures», en *2023 ASEE Annual Conference & Exposition*, 2023.
- [23] R. J. Perkins y B. P. Woods, «An Office-Space Lightboard Studio for Creating Professional Pre-Lecture Videos with Increased Student Engagement». ACS Publications, 2023.
- [24] D. A. R. Luna y J. F. F. Marulanda, «Pedagogical impact during the pandemic of a virtual classroom with lightboard», *Revista EIA*, vol. 20, n.º 39, p. 3915–pp, 2023.
- [25] Polyvantis GmbH, «How does fluorescent ACRYLITE sheet work?». [En línea]. Disponible en: <https://www.acrylite.co/resources/knowledge-base/article/how-does-fluorescent-acrylite-sheet-work?category=product-properties>
- [26] E. Ellingwood *et al.*, «Ultraviolet-induced fluorescence of poly(methyl methacrylate) compared to 1,1,4,4-tetraphenyl-1,3-butadiene down to 4 K», *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 1039, p. 167119, sep. 2022, doi: [10.1016/j.nima.2022.167119](https://doi.org/10.1016/j.nima.2022.167119).
- [27] A. Matas, «Likert-type scale format design: state of art», *Revista electrónica de investigación educativa*, vol. 20, n.º 1, pp. 38-47, 2018.