

Diseño y desarrollo de un sistema de control basado en técnicas pupilométricas para mejorar la accesibilidad en la plataforma Studium de la Universidad de Salamanca.

ID2024/092



**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Autor: Gabriel Villarrubia González

Fecha: 16/06/2025



Contenido

1. Introducción	3
2. Objetivos	7
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
3. Grado de innovación.....	10
3.1. Estado del arte en accesibilidad tecnológica universitaria	11
3.2. Aportes diferenciales del sistema propuesto	12
3.3. Valor añadido respecto a experiencias previas.....	13
3.4. Contribución a la transformación digital inclusiva	13
3.5. Impacto previsto y sostenibilidad.....	14
4. Plan de trabajo	14
5. Resultados.....	17
5.1. Resultados técnicos.....	18
5.2. Resultados pedagógicos	22
5.3. Resultados científicos y de difusión	23
5.4. Resultados de impacto social	25
6. Difusión del proyecto	26
7. Conclusiones	27
6.1. Conclusiones técnicas.....	27
6.2. Conclusiones pedagógicas	28
6.3. Conclusiones científicas y de difusión	28
6.4. Conclusiones sociales e institucionales.....	29
6.5. Lecciones aprendidas y recomendaciones.....	29
6.6. Conclusión final.....	30



Integrantes del Grupo de Trabajo.

MIEMBROS			
NIF/NIE.	Nombre y apellidos	E-mail	Puesto
	María Navelonga Moreno García	mmg@usal.es	Catedrática Universidad
	María Susana Pérez Santos	susana@usal.es	Catedrática Universidad
	Juan Francisco de Paz Santana	fcofds@usal.es	Catedrático Universidad
	Gabriel Villarrubia González	gvg@usal.es	Titular Universidad
	María Navarro Cáceres	maria90@usal.es	Titular Universidad
	Vivian Félix López Batista	vivian@usal.es	Titular Universidad
	María Navarro Cáceres	maria90@usal.es	Titular Universidad
	José Torreblanca González	torre@usal.es	Titular Universidad
	Raúl García Ovejero	raulovej@usal.es	Titular Universidad
	Daniel Hernández de la Iglesia	danihiglesias@usal.es	Profesor Contratado Doctor
	Lidia Rozas Izquierdo	lyrozas@usal.es	Titular Escuela Universitaria
	Sergio García González	sergio.gg@usal.es	Contratado Predoctoral
	David Cruz García	david.cruz.garcia@usal.es	Contratado Predoctoral
	Héctor Sánchez San Blas	hectorsanchezsanblas@usal.es	Doctor
	Luis Augusto Silvia	luisaugustos@usal.es	Profesor Sustituto
	Lucía Martín Gómez	luciamg@usal.es	Profesor Colaborador
	Yanira Navarro Marrero	marnayan@usal.es	Estudiante Doctorado
	Beatriz Villarrubia González	beatriz.villarrubia@usal.es	Estudiante de doctorado
	Arturo Álvarez Sánchez	arturoas@usal.es	Estudiante de máster
	Rubén Herrero Pérez	ruherrero@usal.es	Estudiante de máster



1. Introducción

La educación superior contemporánea enfrenta múltiples desafíos relacionados con la accesibilidad digital, la equidad educativa y la integración de tecnologías emergentes en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Entre estos desafíos, uno de los más persistentes, aunque a menudo invisibilizado, es la inclusión efectiva de estudiantes con movilidad reducida, especialmente aquellos con discapacidades motoras severas, como la cuadriplejía. Aunque la transformación digital ha acelerado la implementación de entornos virtuales de aprendizaje, esta evolución no siempre ha ido de la mano con la accesibilidad universal, dejando a una parte del alumnado en una situación de exclusión estructural.

Según datos del Ministerio de Universidades de España (2022), más de 23.000 estudiantes universitarios presentan algún tipo de discapacidad reconocida, de los cuales aproximadamente el 6% se corresponde con discapacidades motoras severas. A pesar de que el marco normativo nacional e internacional (Ley General de Discapacidad, Directiva Europea de Accesibilidad Web, etc.) obliga a las universidades a garantizar la igualdad de acceso, la realidad evidencia una brecha significativa entre el diseño teórico de las plataformas educativas y su uso real por parte de estos colectivos.

En este contexto, el proyecto de innovación docente que se justifica en esta memoria surge como una respuesta técnica, educativa y social a una problemática concreta: la falta de soluciones eficaces, accesibles y autónomas que permitan a estudiantes con graves limitaciones motoras interactuar con entornos digitales como la plataforma Studium de la Universidad de Salamanca. Esta plataforma, basada en la plataforma Moodle y utilizada como eje central de la docencia online y semipresencial, no dispone en su configuración estándar de herramientas que posibiliten el acceso sin el uso de manos o periféricos convencionales como teclado y ratón.



Prototipo desarrollado por el Grupo Investigación ESALAB durante este PID.

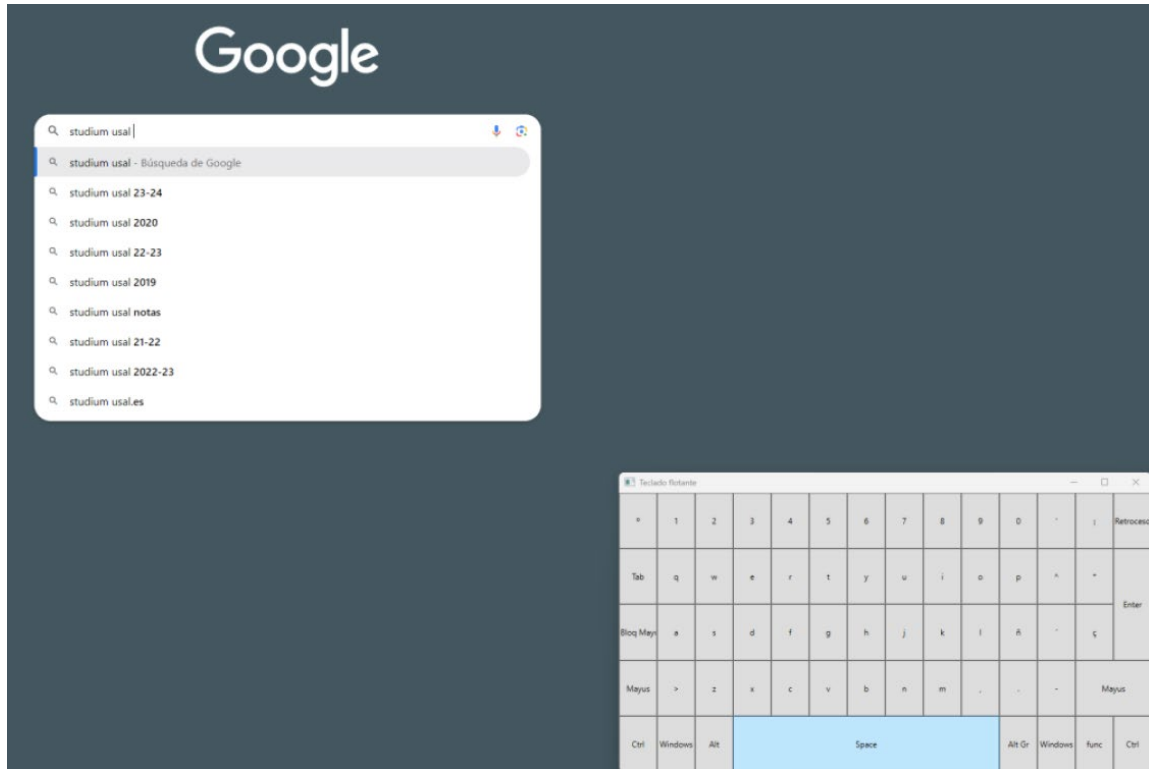


Figura 1. Interfaz actual, visualizando el entorno adaptado con un teclado en pantalla.

Este proyecto de innovación docente se enmarca en la convocatoria de Proyectos de Innovación Docente 2024-2025 de la Universidad de Salamanca y ha sido desarrollado por un equipo multidisciplinar que integra especialistas en ingeniería informática, ciencias de la educación, psicología, accesibilidad y diseño centrado en el usuario. La iniciativa parte de una triple motivación:

- *Tecnológica*, por el deseo de explorar las posibilidades de la pupilometría como sistema alternativo de control.
- *Educativa*, al buscar mejorar la experiencia de aprendizaje de estudiantes con necesidades específicas.
- *Social*, como una apuesta firme por la equidad, la inclusión y el derecho efectivo a la educación universitaria para todos.

Durante el desarrollo del proyecto, se han abordado múltiples aspectos tanto técnicos como pedagógicos. A nivel técnico, se ha diseñado un dispositivo completo, formado por una cámara de infrarrojos, sensores de seguimiento y un software que transforma la dirección de la mirada en coordenadas de pantalla y



comandos digitales. Este sistema se ha integrado exitosamente con la plataforma Studium, permitiendo una navegación funcional, intuitiva y autónoma.

Desde una perspectiva pedagógica, se ha trabajado en la validación del sistema en contextos reales, con la participación de estudiantes con movilidad reducida. Estas pruebas han permitido evaluar la eficacia y usabilidad del sistema, ajustar su comportamiento a las necesidades de los usuarios, y demostrar su valor como herramienta accesible. La colaboración directa con los estudiantes ha sido clave para el éxito del proyecto, en línea con el paradigma del diseño centrado en el usuario y la co-creación inclusiva.

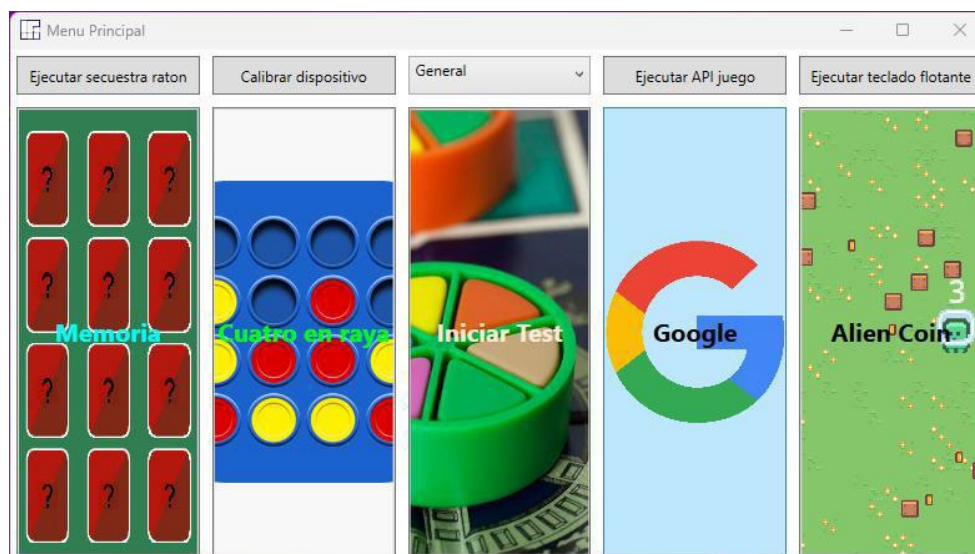


Figura 2. Menú principal de la interfaz desarrollada.

Un elemento especialmente relevante del proyecto ha sido su enfoque integral. No se ha limitado a adaptar parcialmente una interfaz, sino que se ha diseñado una experiencia completa de interacción mediante mirada: control del cursor, simulación de clics, escritura con teclado visual, navegación por Moodle, validación con usuarios y hasta la inclusión de elementos lúdicos (como minijuegos y triviales educativos) para reforzar la familiarización y motivación del usuario. Todo ello, con un diseño accesible, no invasivo, asequible y fácilmente replicable.

El sistema desarrollado, además, no se limita al ámbito académico. Sus posibles usos incluyen la navegación por internet, el acceso a redes sociales, la escritura de correos, la interacción con sistemas domóticos, o incluso la comunicación aumentativa en contextos clínicos. Su impacto, por tanto, va más allá del entorno universitario, situándose como una herramienta de empoderamiento y transformación para las personas con diversidad funcional.

El proyecto no ha surgido de la nada. Se asienta sobre una trayectoria previa del grupo ESALab en el desarrollo de soluciones educativas innovadoras, plataformas

accesibles, sistemas de gamificación, y herramientas de seguimiento académico. Esta experiencia acumulada ha sido determinante para anticipar problemas técnicos, planificar de manera eficaz el trabajo, y responder con agilidad a los desafíos encontrados durante la implementación.

En cuanto a la transferencia del conocimiento generado, se ha realizado una intensa labor de documentación, difusión y comunicación de resultados. Se han elaborado manuales técnicos, guías de usuario, materiales audiovisuales y una publicación científica presentada en el Congreso Internacional NODOS del Conocimiento, donde se ha reconocido el valor del proyecto como referente en accesibilidad educativa basada en sistemas expertos y seguimiento ocular.



Figura 3. Página principal de la publicación en el congreso NODOS

En definitiva, este proyecto representa una apuesta decidida por una universidad más inclusiva, más inteligente y humana. Una universidad que no se conforma con ofrecer acceso formal a sus plataformas, sino que se compromete activamente a eliminar barreras, adaptar entornos, y reconocer la diversidad como fuente de innovación. La tecnología, en este caso, no es un fin en sí mismo, sino un instrumento al servicio de la equidad educativa.

A lo largo de esta memoria se presentarán los objetivos que guiaron el trabajo, el grado de innovación alcanzado, el plan de trabajo desarrollado siguiendo el modelo PMBOK, los resultados obtenidos, las acciones de difusión académica y social, y finalmente, las conclusiones derivadas de esta experiencia transformadora. Todo ello con la voluntad de que esta propuesta no sea un punto final, sino el comienzo de una nueva línea de innovación accesible, replicable y sostenida en el tiempo.



2. Objetivos

El desarrollo de cualquier proyecto de innovación docente requiere de una clara definición de objetivos que oriente todas las fases de trabajo, desde el análisis inicial hasta la evaluación final. En el caso del proyecto “Diseño y desarrollo de un sistema de control basado en técnicas pupilométricas para mejorar la accesibilidad en la plataforma Studium de la Universidad de Salamanca”, los objetivos han sido formulados teniendo en cuenta no solo los fines técnicos y científicos, sino también el impacto social, educativo y ético que una herramienta de este tipo puede generar. La formulación de estos objetivos parte de una comprensión integral de los retos actuales en accesibilidad digital, de las posibilidades que ofrece la tecnología de seguimiento ocular, y de una firme voluntad de transformación educativa inclusiva.

Objetivo general

El objetivo general de este proyecto ha sido diseñar, desarrollar e implementar un sistema de interacción alternativo basado en técnicas pupilométricas que permita a personas con movilidad reducida avanzada utilizar de forma autónoma la plataforma de enseñanza virtual Studium. Esto se traduce en la creación de una solución tecnológica que, mediante el seguimiento preciso de los movimientos oculares, transforme la mirada en comandos funcionales que sustituyan el uso de periféricos tradicionales como el ratón y el teclado.

Este objetivo general responde a la necesidad urgente de mejorar las condiciones de acceso a los entornos educativos virtuales para un colectivo frecuentemente excluido de las innovaciones tecnológicas educativas. En lugar de plantear adaptaciones mínimas, el proyecto propone una reconfiguración completa del paradigma de interacción, poniendo a la persona con diversidad funcional en el centro del diseño tecnológico.

Objetivos específicos

A fin de materializar el objetivo general y lograr una planificación adecuada y realista, el equipo del proyecto definió una serie de objetivos específicos que se detallan a continuación:

1. Desarrollo de un sistema de seguimiento ocular mediante pupilometría

Uno de los principales objetivos técnicos del proyecto ha sido implementar un sistema capaz de captar y analizar con precisión los movimientos oculares del usuario. Este sistema debía ser compatible con dispositivos



accesibles económicamente y debía integrar algoritmos avanzados de visión por computador.

El trabajo ha incluido la selección y configuración de cámaras infrarrojas, la programación de filtros de seguimiento (como el filtro de Kalman), la calibración del sistema para diferentes morfologías oculares y la creación de una API personalizada para la comunicación entre el periférico y el software educativo. La finalidad última de este objetivo ha sido establecer una interfaz de entrada robusta, sensible y adaptable.

2. Diseño e implementación de una interfaz de usuario adaptativa

Uno de los principales retos en el desarrollo de sistemas accesibles radica en la interfaz de usuario. Este proyecto se propuso, desde el inicio, diseñar una interfaz intuitiva, personalizable y accesible, centrada en las necesidades de usuarios con movilidad reducida avanzada.

A diferencia de los enfoques estándar, que simplemente amplían elementos visuales o activan opciones por teclado, esta interfaz ha sido concebida como un entorno visual interactivo controlado íntegramente por la mirada. Se ha trabajado especialmente en facilitar el acceso a las funciones esenciales de Studium: navegación entre asignaturas, descarga de recursos, participación en foros, realización de actividades y seguimiento del progreso académico.

La interfaz incorpora además un teclado virtual flotante que permanece en pantalla en todo momento, y que ha sido optimizado para ser manejado con fijaciones visuales sostenidas. Su diseño modular permite añadir o modificar funcionalidades sin alterar la arquitectura base.

3. Fomentar la independencia tecnológica de personas con discapacidad motora

Este objetivo trasciende la dimensión técnica del proyecto y se centra en su impacto personal y social. Más allá de proveer una herramienta de acceso, se trata de empoderar a las personas con discapacidad para que puedan participar de manera autónoma en sus procesos formativos y en la vida digital contemporánea.

La independencia tecnológica significa no tener que depender constantemente de terceros para acciones tan básicas como enviar un correo, revisar calificaciones o completar una tarea en línea. Este proyecto, por tanto, pretende restituir esa autonomía mediante una interfaz que no requiere asistencia externa ni dispositivos costosos o invasivos.

4. Validar el sistema mediante pruebas reales con usuarios



Para garantizar que el sistema responde a las necesidades reales de los usuarios, uno de los objetivos clave ha sido su validación en entornos auténticos de uso. Esta validación ha incluido pruebas funcionales con estudiantes con movilidad reducida, sesiones de observación, recogida de datos cuantitativos y cualitativos, y análisis de la experiencia de usuario.

La interacción con Studium mediante el sistema fue analizada en términos de tiempo de ejecución, precisión, esfuerzo cognitivo percibido y nivel de satisfacción. Los resultados obtenidos sirvieron como base para ajustar la sensibilidad del sistema, mejorar la disposición de los elementos en pantalla y optimizar los algoritmos de detección.

5. Promover la inclusión social y la igualdad tecnológica

Uno de los ejes fundamentales del proyecto es su compromiso con la equidad. La educación superior, como espacio privilegiado de desarrollo personal y profesional, debe garantizar que todos los estudiantes puedan participar en condiciones de igualdad. Este objetivo busca que la innovación tecnológica no sea un factor de exclusión, sino todo lo contrario: un catalizador de inclusión.

El sistema desarrollado no solo busca resolver una necesidad técnica, sino también contribuir a una transformación de fondo en la forma en que se conciben las plataformas digitales universitarias, promoviendo su adaptación para todos los perfiles de usuario. Esto incluye también el diseño inclusivo desde el inicio (principio de diseño universal), el cumplimiento de estándares de accesibilidad y la concienciación institucional sobre la importancia de integrar estas tecnologías en el aula.

6. Incorporar elementos de gamificación y ejercicios interactivos

Conscientes de que la motivación es un factor clave en el uso continuado de sistemas alternativos de interacción, el equipo se propuso incorporar elementos lúdicos que no solo demostraran la versatilidad del sistema, sino que contribuyeran también a la práctica, familiarización y entrenamiento cognitivo del usuario.

El desarrollo de aplicaciones como el videojuego “Alien Coin”, pruebas de memoria, daltonismo y juegos educativos fueron concebidos no solo como ejercicios complementarios, sino como parte integral de una estrategia de aprendizaje inclusiva que rompe con la rigidez de las interfaces tradicionales y promueve un uso creativo y atractivo del sistema.

7. Difundir los resultados del proyecto en entornos académicos y sociales

Finalmente, uno de los objetivos fundamentales ha sido dar visibilidad al trabajo realizado, con el fin de promover su adopción, replicación y mejora.

La difusión de los resultados se ha llevado a cabo mediante la presentación del proyecto en congresos especializados, la publicación de artículos académicos y el diseño de materiales divulgativos (vídeos, guías, demostraciones).

Se ha considerado esencial compartir tanto los logros como las dificultades enfrentadas, para enriquecer el debate sobre accesibilidad tecnológica en el ámbito universitario y motivar la inversión institucional en proyectos similares. La publicación del artículo en un congreso ha permitido además validar el proyecto en la comunidad científica y reforzar su proyección internacional.

8. Coherencia y alineación de los objetivos con la misión institucional

Todos los objetivos definidos en este proyecto guardan una estrecha coherencia con la misión institucional de la Universidad de Salamanca en cuanto a innovación, accesibilidad e inclusión. La USAL ha expresado en diversas ocasiones su compromiso con la igualdad de oportunidades, la atención a la diversidad y la promoción de la tecnología educativa. Este proyecto contribuye de manera concreta y medible a estos fines, posicionando a la universidad como referente en el diseño y aplicación de soluciones inclusivas en entornos virtuales de aprendizaje.

Además, los objetivos están alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 4 (Educación de calidad) y el ODS 10 (Reducción de las desigualdades). Al facilitar el acceso equitativo a la tecnología, se contribuye activamente a la construcción de un modelo educativo más justo, resiliente y abierto.

3. Grado de innovación

La innovación educativa, entendida como la transformación significativa de los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante la incorporación de nuevas metodologías, tecnologías o enfoques pedagógicos, constituye uno de los pilares sobre los que se apoya este proyecto. En un entorno universitario que se enfrenta a retos de inclusión, digitalización y personalización del aprendizaje, innovar no es simplemente una opción, sino una necesidad urgente y estratégica. Este proyecto de innovación docente se inscribe en esa lógica, al proponer una solución completamente novedosa que transforma la manera en que estudiantes con movilidad reducida interactúan con los sistemas de gestión del aprendizaje.

Para poder valorar el grado de innovación alcanzado por esta iniciativa, es necesario contextualizar el estado actual de la accesibilidad en las plataformas virtuales de aprendizaje, examinar las soluciones existentes, y posteriormente

justificar de manera fundamentada los aspectos diferenciales que aporta esta propuesta. Asimismo, resulta imprescindible analizar la manera en que se articula la tecnología empleada con los principios de diseño inclusivo, la metodología educativa y la experiencia de usuario, ya que la innovación no se limita a un avance técnico aislado, sino que implica una transformación coherente y efectiva de todo el ecosistema educativo.

3.1. Estado del arte en accesibilidad tecnológica universitaria

Actualmente, la mayoría de las plataformas de gestión del aprendizaje (LMS), como Moodle (sobre la que se estructura Studium), Blackboard, Canvas o Sakai, incluyen mecanismos básicos de accesibilidad: lectores de pantalla, compatibilidad con teclados, etiquetas ARIA, y esquemas de color adaptables. Estas herramientas permiten un grado mínimo de adaptación para usuarios con discapacidades visuales o dificultades auditivas, pero resultan insuficientes o directamente inoperativas en contextos de discapacidad motora severa.

En el caso concreto de la Universidad de Salamanca, aunque la plataforma Studium cumple con ciertos estándares de accesibilidad, no dispone de mecanismos nativos que permitan a una persona con cuadriplejía, incapacidad total para usar manos, brazos o cualquier tipo de dispositivo físico de control, interactuar de forma autónoma con los contenidos. Las soluciones alternativas actualmente disponibles suelen ser externas a la plataforma, de alto coste, de difícil configuración, o escasamente personalizables.

Adicionalmente, las soluciones de seguimiento ocular existentes en el mercado, como los sistemas Tobii Dynavox, EyeTech o SmartNav, están diseñadas mayoritariamente para contextos clínicos o entornos de comunicación aumentativa, y no para su integración directa con plataformas académicas o con entornos virtuales de aprendizaje específicos. Estas soluciones requieren, por lo general, licencias privativas, interfaces propietarias, y un acompañamiento técnico intensivo que dificulta su adopción a gran escala en entornos universitarios.

En resumen, la accesibilidad para estudiantes con movilidad reducida avanzada sigue siendo una asignatura pendiente en la mayoría de las universidades, y se encuentra limitada por tres factores fundamentales: (1) la escasa integración con las plataformas educativas institucionales; (2) el alto coste económico y tecnológico de las soluciones comerciales; y (3) la falta de personalización real para las necesidades específicas del alumnado.



3.2. Aportes diferenciales del sistema propuesto

Frente a este panorama, el proyecto desarrollado introduce una serie de elementos disruptivos que justifican plenamente su carácter innovador:

a) Interacción por mirada sin dispositivos adicionales

La propuesta permite el control completo del entorno virtual Studium mediante la mirada, sin necesidad de pulsadores, interfaces táctiles, teclados adaptados ni ningún tipo de contacto físico. Esta característica convierte al sistema en una herramienta verdaderamente accesible para personas con parálisis severas, incluyendo casos extremos de ELA, tetraplejía o distrofias musculares avanzadas.

b) Sistema modular, abierto y replicable

A diferencia de los sistemas comerciales cerrados, el prototipo desarrollado se ha diseñado de forma modular y basada en tecnologías de software libre o de bajo coste. La arquitectura del sistema permite su implementación con hardware estándar (como la cámara Tobii Eye Tracker 5) y su integración con software desarrollado en entornos accesibles como Python o Godot. Esto permite su replicabilidad, personalización y adaptación a otras universidades o contextos educativos con escasos recursos.

c) Integración directa con Studium

Uno de los grandes logros técnicos del proyecto ha sido la integración funcional con Studium. No se trata de una herramienta externa, sino de un sistema que permite navegar por los menús de la plataforma, acceder a las asignaturas, completar actividades, participar en foros o escribir en un teclado virtual, todo ello sin necesidad de modificaciones estructurales en Moodle. Esta integración ha requerido un conocimiento profundo de la arquitectura de Studium y un trabajo específico de diseño de interfaz adaptativa.

d) Personalización del sistema según el usuario

El sistema incorpora algoritmos de calibración automática que permiten ajustar la sensibilidad del seguimiento ocular a las características fisiológicas de cada usuario. Esta personalización incluye la velocidad de fijación, la zona activa del cursor ocular, el tamaño y disposición de los elementos interactivos, y el tiempo requerido para simular un clic visual. Esto garantiza una experiencia de uso confortable, efectiva y adaptada a las capacidades residuales de cada persona.

e) Incorporación de elementos lúdicos y motivacionales

La inclusión de herramientas como el videojuego "Alien Coin", las pruebas de memoria o las actividades educativas gamificadas, no solo ha servido para validar la eficacia del sistema en diferentes contextos, sino que constituye una innovación



pedagógica en sí misma. Estas herramientas transforman la interacción con la tecnología en una experiencia significativa, que favorece la adquisición de habilidades, la motivación y el compromiso del usuario.

f) Enfoque multidisciplinar y centrado en el usuario

El diseño y desarrollo del sistema ha sido llevado a cabo por un equipo compuesto por especialistas en ingeniería informática, educación, accesibilidad, interacción persona-ordenador y diseño centrado en el usuario. Este enfoque multidisciplinar ha sido clave para superar los enfoques tecnocéntricos tradicionales y priorizar la experiencia del usuario final. Además, se ha contado con la colaboración activa de estudiantes en situación de discapacidad, lo que ha enriquecido el diseño y garantizado su adecuación a las necesidades reales.

3.3. Valor añadido respecto a experiencias previas

El grupo responsable de este proyecto no parte de cero en su trayectoria investigadora y docente en accesibilidad. A lo largo de los últimos años, ha participado en más de una decena de proyectos de innovación educativa con enfoques diversos: desde la tutorización virtual inmersiva con realidad aumentada, hasta herramientas de detección de plagio o plataformas gamificadas de coordinación de TFG. No obstante, esta iniciativa representa un salto cualitativo en varios sentidos:

Se trata del primer proyecto del grupo orientado de forma exclusiva a la accesibilidad motora severa.

Por primera vez se realiza una integración funcional de tecnologías de seguimiento ocular con una plataforma LMS institucional.

El sistema desarrollado ha superado las pruebas de validación con usuarios reales, generando evidencia empírica sobre su utilidad, usabilidad y aceptación.

El proyecto ha trascendido el marco universitario al ser presentado en un congreso académico y generar interés por parte de otros colectivos, instituciones y asociaciones de personas con discapacidad.

3.4. Contribución a la transformación digital inclusiva

El grado de innovación del proyecto no debe entenderse únicamente en términos técnicos, sino también en cuanto a su potencial transformador. En un contexto en el que la digitalización de la educación avanza a un ritmo vertiginoso, es fundamental garantizar que nadie quede atrás. La innovación que no considera la diversidad es una innovación incompleta, incluso fallida.



Este proyecto propone una visión radicalmente inclusiva de la transformación digital: aquella que incorpora las necesidades de los colectivos más vulnerables desde el diseño, que adapta los entornos tecnológicos a la diversidad funcional, y que entiende la accesibilidad no como una opción, sino como un derecho. En este sentido, se alinea con las directrices de la Agenda 2030, el Marco Europeo de Competencias Digitales, y la Estrategia Española sobre Discapacidad.

3.5. Impacto previsto y sostenibilidad

Por último, debe destacarse que el sistema desarrollado tiene un alto potencial de escalabilidad y sostenibilidad. Su bajo coste de implementación, la posibilidad de adaptarlo a otras plataformas virtuales, y su aplicabilidad en contextos más allá de la educación (como la domótica, la teleasistencia, o la medicina) lo convierten en una tecnología con recorrido más allá del proyecto piloto.

Con todo ello, el grado de innovación de este proyecto puede calificarse como **alto**, tanto por el carácter novedoso de su propuesta, como por su capacidad para resolver un problema real, aportar valor educativo, y transformar la experiencia universitaria de un colectivo históricamente marginado por el diseño tecnológico.

En la siguiente sección se presentará el plan de trabajo detallado seguido durante el proyecto, conforme a la metodología del PMBOK, y se describirá la estructura organizativa, las fases, tareas y entregables desarrollados.

4. Plan de trabajo

La planificación y ejecución del presente proyecto de innovación docente se ha estructurado siguiendo el enfoque propuesto por el Project Management Body of Knowledge (PMBOK), desarrollado por el Project Management Institute (PMI). Esta metodología, ampliamente reconocida en la gestión profesional de proyectos, se basa en la definición clara de fases, paquetes de trabajo, tareas, actividades e hitos, facilitando una ejecución estructurada, medible y ajustable en función de los resultados parciales y las necesidades emergentes.

El uso de esta metodología en el contexto de un proyecto educativo-tecnológico permite asegurar un desarrollo incremental, modular y colaborativo, con una evaluación continua que facilita tanto la detección temprana de desviaciones como la implementación de mejoras durante su desarrollo. Asimismo, proporciona un lenguaje común para la coordinación interdisciplinar del equipo, conformado por docentes, investigadores y técnicos.

A continuación, se describe el plan de trabajo adoptado para el proyecto, dividido en **fases (F)**, **paquetes de trabajo (P)**, **tareas (T)**, **actividades (A)** y **hitos (H)**, tal



como estipula la metodología PMBOK. Cada unidad se ha planificado con el objetivo de cumplir de forma precisa los objetivos definidos previamente.

- **FASE A: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA**

- P01A: Definición de entidades funcionales y prototipo inicial: Esta primera etapa del proyecto tuvo como objetivo establecer las bases conceptuales, funcionales y técnicas del sistema. Se desarrollaron las siguientes tareas:
 - T0101A. Elaboración de mockups y maqueta conceptual: Se diseñaron prototipos visuales de la interfaz, simulando la interacción esperada del usuario con el sistema. Se utilizaron herramientas de diseño gráfico para representar menús, botones y la integración con la plataforma Studium.
 - T0201A. Especificaciones funcionales del MPV (Mínimo Producto Viable): En esta fase se definieron los elementos mínimos que el sistema debía incluir para considerarse funcional: navegación por interfaz, simulación de clic mediante fijación visual, teclado virtual y compatibilidad básica con Studium.
 - A010201A. Modelado del sistema y de la base de datos
 - A020201A. Procesos de importación y exportación de datos
 - T0301A. Definición de casos de uso de la aplicación: Se documentaron las acciones típicas del usuario: acceso a Studium, navegación por asignaturas, selección de elementos, escritura de texto y participación en actividades.
 - T0401A. Modelo de entidades software: Se describió el comportamiento de los módulos del sistema: seguimiento ocular, motor de interacción, interfaz de usuario y teclado virtual.
 - T0501A. Modelo de entidades hardware; Incluyó el estudio de cámaras de infrarrojos (modelo Tobii 5), sensores de fijación, CPU mínima requerida y configuraciones recomendadas para asegurar estabilidad y rendimiento.
- P02A: Infraestructura de la red de sensores y configuración de hardware: Aunque el sistema no depende de una red de sensores compleja como un sistema IoT, sí requirió la evaluación y adaptación del hardware de seguimiento ocular.
 - T0102A. Definición de los dispositivos óptimos: Se seleccionó la tecnología Tobii 5 como periférico de seguimiento ocular, por su alta tasa de refresco, precisión y



compatibilidad con sistemas operativos comunes. Se optó por una solución no invasiva, de coste medio y alta escalabilidad.

- T0202A. Revisión de protocolos y estándares tecnológicos: Incluyó el análisis de bibliotecas para el desarrollo de la API del eyetracker, como las proporcionadas por Tobii, y su compatibilidad con frameworks multiplataforma.
 - A010202A. Análisis de protocolos
 - A020202A. Diseño técnico del sistema de seguimiento ocular
- T0302A. Pruebas de despliegue físico y validación: Se realizaron pruebas en diferentes entornos y con diversos usuarios, midiendo precisión, sensibilidad y respuesta al movimiento ocular.
 - A010302A. Despliegue y calibración del hardware
 - A020302A. Validación de la comunicación y latencia

Hito 1.1A: Sistema de seguimiento ocular definido y validado.

- **FASE B: DESARROLLO DEL PROTOTIPO FUNCIONAL**

- P01B: Implementación del módulo de interacción visual
 - T0101B. Desarrollo de la API de seguimiento ocular: Se programó una API intermedia que convierte las coordenadas visuales captadas por el dispositivo en acciones dentro del entorno gráfico de usuario.
 - T0201B. Motor de interacción: Implementa la lógica que interpreta fijaciones, movimientos suaves y clics visuales. Integra filtros para evitar falsos positivos por sacadas o parpadeos.
- P02B: Diseño de interfaz y funcionalidades clave
 - T0102B. Teclado virtual flotante: Permite al usuario escribir en cualquier parte del sistema. Se mantiene visible, configurable y auditivo (emisión de sonido al pulsar).
 - T0202B. Navegación por Studium: Desarrollo específico de rutas de navegación optimizadas para plataformas Moodle, adaptando el sistema para reconocer menús jerárquicos, listados y foros.

Hito 2.1B: Prototipo completo funcional y validado en entorno local.



- **FASE C: VALIDACIÓN, INTEGRACIÓN Y EVALUACIÓN**

- P01C: Pruebas con usuarios reales
 - T0101C. Selección de participantes: Se contó con personas con movilidad reducida, usuarios sin experiencia previa y voluntarios para establecer referencias comparativas.
 - T0201C. Pruebas de uso con actividades reales: Navegación en Studium, redacción de mensajes, subida de tareas, participación en foros.
 - T0301C. Recogida de métricas cuantitativas y cualitativas: Tiempo medio de respuesta, porcentaje de precisión, nivel de satisfacción (escala Likert), feedback abierto.

Hito 3.1C: Validación funcional con usuarios reales.

- P02C: Difusión de resultados
 - T0102C. Preparación de artículo científico: Se redactó y publicó un artículo en congreso nacional especializado en tecnologías inclusivas y sistemas expertos, como reflejo del impacto del proyecto.
 - T0202C. Material audiovisual de presentación: Se elaboró un vídeo resumen mostrando el sistema en uso, las funcionalidades clave y los testimonios de usuarios.
 - T0302C. Documentación técnica y manual de usuario: Se preparó un manual de instalación, configuración y uso del sistema, con énfasis en personalización.

Hito 4.1C: Publicación de resultados y entrega final del prototipo.

5. Resultados

El desarrollo del proyecto “Diseño y desarrollo de un sistema de control basado en técnicas pupilométricas para mejorar la accesibilidad en la plataforma Studium de la Universidad de Salamanca” ha dado lugar a una serie de resultados tangibles e intangibles que abarcan aspectos tecnológicos, pedagógicos, científicos y sociales. Estos resultados constituyen la evidencia concreta del impacto y viabilidad de la propuesta, y permiten valorar su alcance real en términos de mejora de la accesibilidad, innovación educativa y transferencia tecnológica.

En esta sección se exponen los principales logros alcanzados durante el proyecto, diferenciando entre los resultados técnicos (relacionados con el diseño, implementación y validación del sistema), los resultados pedagógicos



(relacionados con el uso del sistema en contextos educativos reales), los resultados científicos y de difusión (publicaciones y materiales divulgativos), y los resultados de impacto social y transformador.

5.1. Resultados técnicos

a) Desarrollo de un sistema funcional de control por mirada

Uno de los hitos principales del proyecto ha sido la creación de un sistema plenamente funcional que permite controlar la plataforma Studium exclusivamente mediante el movimiento ocular. Este sistema está compuesto por:

- Un módulo de captura ocular basado en una cámara infrarroja de alta precisión.
- Un motor de interacción que interpreta los datos del eyetracker y los transforma en comandos para el sistema operativo y la plataforma virtual.
- Un teclado virtual flotante configurable.
- Un interfaz visual adaptado que permite la navegación por menús, enlaces, foros y recursos académicos sin necesidad de periféricos físicos.

La arquitectura del sistema es modular y escalable, lo que permite su implementación en diferentes dispositivos y su personalización según las capacidades del usuario. Se ha diseñado para funcionar en sistemas operativos Windows, aunque su estructura permite una futura migración a otros entornos, como Linux o Android.



Figura 4. Arquitectura del sistema de control por mirada, incluyendo el módulo de captura ocular.

b) Automatización del proceso de calibración y configuración



Otro resultado técnico relevante ha sido la implementación de un sistema de calibración automática. Este proceso inicial se activa al iniciar la sesión y consiste en una serie de fijaciones visuales sobre puntos de referencia que permiten al sistema adaptarse a las características visuales del usuario (posición de los ojos, distancia a la pantalla, campo visual, etc.). Este proceso tarda aproximadamente 45 segundos y ha demostrado ser eficaz para garantizar una experiencia óptima sin requerir ajustes manuales adicionales.

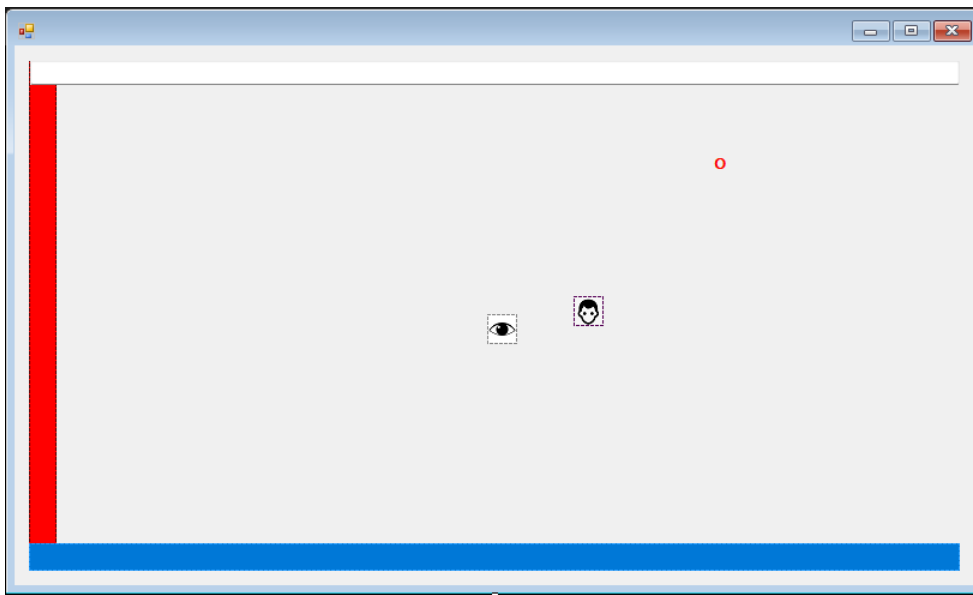


Figura 5. Interfaz del proceso de calibración visual que se ejecuta al iniciar la sesión del usuario.

c) Desarrollo de aplicaciones lúdicas interactivas para validación y entrenamiento

Un componente clave del sistema desarrollado ha sido la implementación de una serie de aplicaciones lúdicas e interactivas que permiten tanto entrenar el uso del eyetracker como validar su funcionamiento en escenarios prácticos. Estas aplicaciones no solo cumplen una función técnica de prueba, sino que están diseñadas con un enfoque educativo y motivacional, lo que mejora la experiencia de usuario y fomenta la familiarización progresiva con el entorno.

Entre las herramientas desarrolladas para la validación de este proyecto de innovación docente se incluyen:

Alien Coin: un videojuego tipo arcade en el que el jugador controla a un personaje mediante la mirada, recogiendo monedas en un entorno procedural. Esta aplicación permite entrenar la precisión, la velocidad de respuesta y el seguimiento continuo. También introduce mecánicas de multijugador y conexión remota mediante WebSocket, lo que añade una dimensión social y colaborativa al uso del sistema.

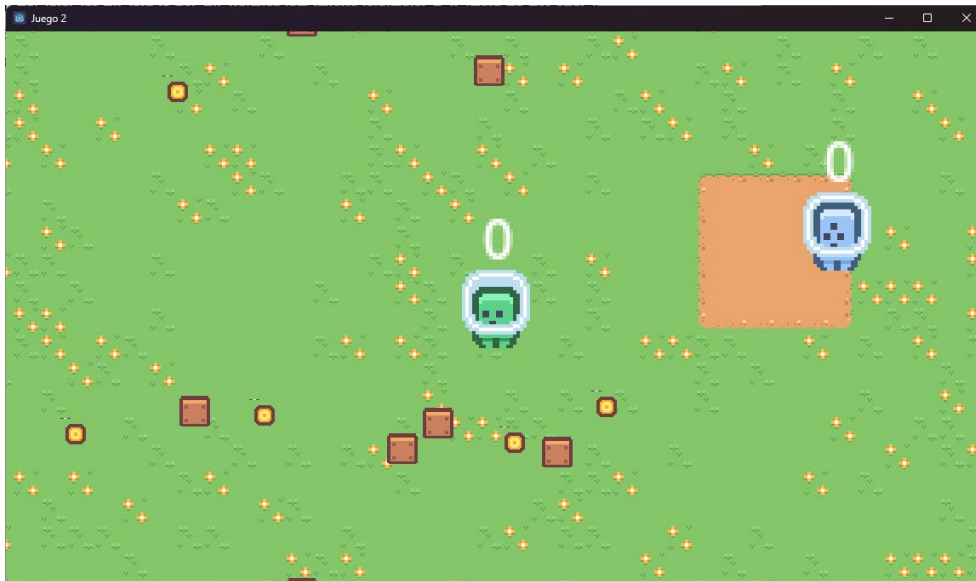


Figura 6. Menú principal del juego Alien Coin y modelo de jugador usado en el sistema.

Trivial interactivo: se trata de una serie de preguntas de opción múltiple con contenido educativo (matemáticas, inglés, cultura general), cuya selección se realiza manteniendo la fijación sobre la respuesta deseada. Este juego permite reforzar la atención visual sostenida y comprobar la fiabilidad del clic visual.



Figura 7. Interfaz del trivial educativo con preguntas visuales y temporizador.

Prueba de daltonismo: diseñado como una herramienta adicional de evaluación visual, este mini-test ayuda a identificar posibles alteraciones en la percepción del

color. A través de estímulos visuales estándar, el usuario selecciona las opciones mediante mirada, y el sistema registra sus elecciones para análisis posterior.

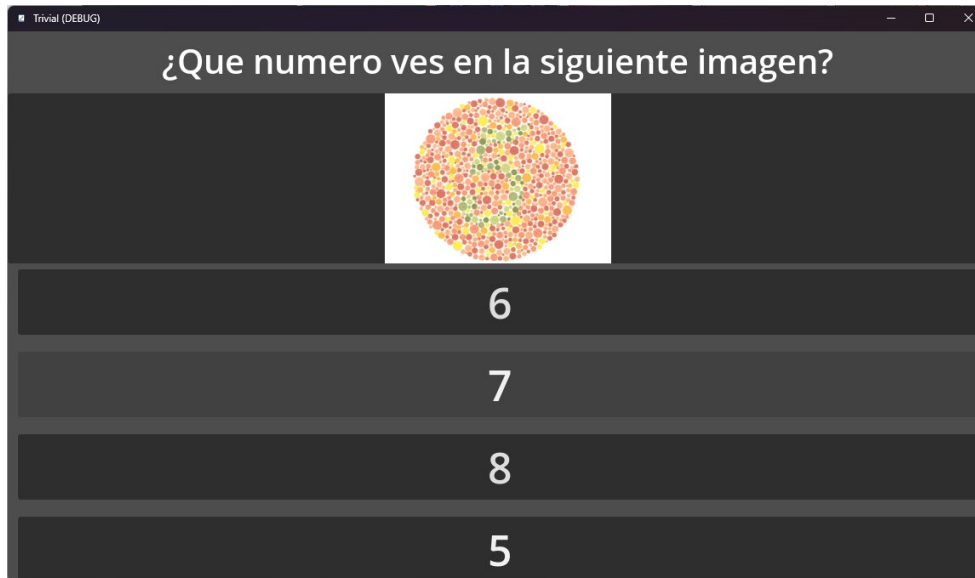


Figura 8. Test de daltonismo accesible controlado mediante fijación visual.

Juego de memoria visual (Memory): inspirado en los clásicos juegos de cartas por parejas, esta aplicación permite trabajar la memoria a corto plazo, el reconocimiento visual y la interacción controlada mediante mirada. El juego registra los movimientos, el tiempo y la puntuación final, lo que ofrece métricas para análisis posteriores.



Figura 9. Pantalla de juego del Memory en nivel avanzado, accesible mediante eyetracker.



Estas aplicaciones cumplen múltiples funciones dentro del sistema: por un lado, sirven como entrenamiento previo para nuevos usuarios que necesitan acostumbrarse a la dinámica de interacción ocular; por otro, permiten verificar la estabilidad del sistema en condiciones dinámicas, con múltiples estímulos visuales y cambios de pantalla.

Además, la dimensión lúdica aporta un componente motivacional y emocional positivo, clave para aumentar el compromiso del usuario y fomentar el uso continuado del sistema. Los juegos no requieren conocimientos previos, están diseñados para ser inclusivos y accesibles, y pueden ser adaptados en dificultad, velocidad y diseño gráfico.

Estas herramientas no solo validan técnicamente el sistema, sino que también demuestran su potencial más allá de lo académico, situando al usuario en el centro de una experiencia interactiva, estimulante y verdaderamente inclusiva.

5.2. Resultados pedagógicos

a) Validación con estudiantes reales

Uno de los aspectos más enriquecedores del proyecto ha sido su validación en entornos reales de uso, mediante la colaboración voluntaria de estudiantes. Las sesiones de prueba se realizaron tanto en entornos controlados, permitiendo una evaluación integral de la eficacia del sistema.

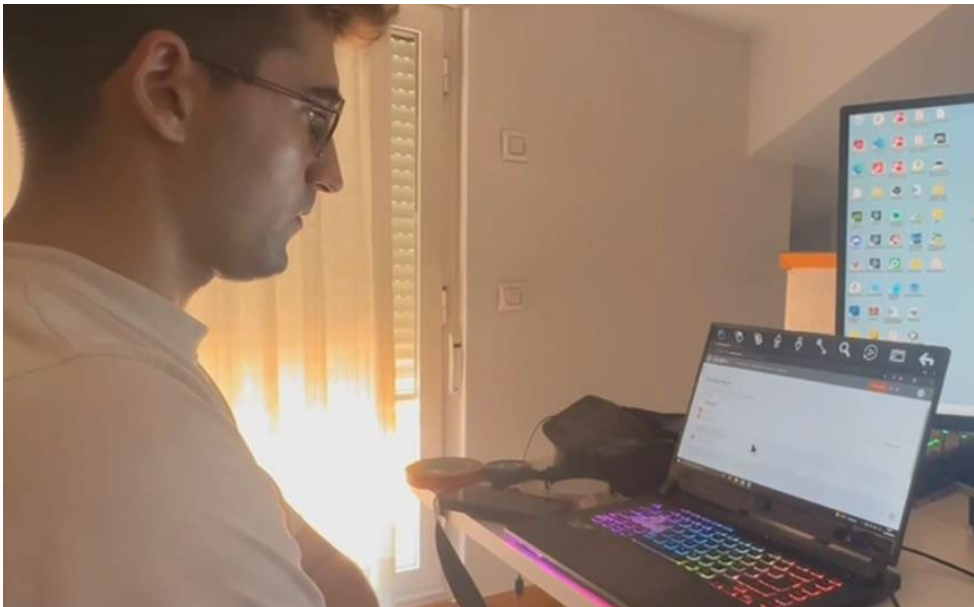


Figura 10. Estudiantes utilizando el sistema de control por mirada en una sesión piloto.



Los estudiantes participantes manifestaron una valoración muy positiva en cuanto a:

- Autonomía para manejar la plataforma Studium sin asistencia.
- Reducción del esfuerzo cognitivo y físico en comparación con métodos tradicionales.
- Facilidad de aprendizaje del sistema, con una curva progresiva de familiarización.
- Sensación de empoderamiento y dignidad personal al poder participar plenamente en su entorno educativo.

b) Uso del sistema en actividades educativas

Durante la fase de pruebas, los participantes pudieron realizar actividades reales en Studium, tales como:

- Consultar materiales docentes.
- Participar en foros de discusión.
- Completar y entregar actividades evaluables.
- Interactuar con contenidos multimedia.

Además, se implementaron funcionalidades lúdico-educativas, como juegos interactivos de preguntas y memoria, que permitieron reforzar el aprendizaje, evaluar la atención sostenida, y generar un entorno educativo más ameno.

c) Adaptabilidad a diferentes estilos de aprendizaje

Gracias a su diseño centrado en el usuario, el sistema mostró una notable capacidad de adaptación a distintos estilos de aprendizaje. Estudiantes visuales, auditivos y kinestésicos encontraron funcionalidades que favorecían su forma particular de procesar la información. El teclado virtual, por ejemplo, integra retroalimentación sonora opcional, lo que mejora la experiencia para quienes requieren estímulos auditivos. Asimismo, el sistema puede ser combinado con lectores de pantalla u otras ayudas técnicas.

5.3. Resultados científicos y de difusión

a) Publicación en congreso académico

Uno de los hitos científicos más importantes ha sido la publicación de un artículo en un congreso nacional, en el que se detallan los fundamentos técnicos, metodológicos y sociales del proyecto. Este artículo fue presentado por miembros del grupo ESALab, responsables del desarrollo del sistema, y ha contribuido a posicionar a la Universidad de Salamanca como referente en accesibilidad e innovación educativa.



La publicación permite que otros grupos de investigación, instituciones educativas o desarrolladores puedan conocer, replicar o mejorar la solución propuesta, promoviendo así una cultura de ciencia abierta y transferencia de conocimiento.

b) Elaboración de un vídeo divulgativo

Con el objetivo de facilitar la comprensión del sistema y mostrar su aplicabilidad, se elaboró un vídeo resumen del proyecto. Este vídeo presenta, en formato breve y accesible, el contexto del proyecto, sus objetivos, el funcionamiento del sistema y testimonios de los usuarios. Está disponible para su difusión en redes sociales, canales institucionales y eventos divulgativos.

c) Documentación técnica y guía de usuario

Se redactó una guía detallada para la instalación, configuración y uso del sistema. Esta guía incluye instrucciones paso a paso, ilustraciones y recomendaciones para diferentes perfiles de usuario. Asimismo, se elaboró una documentación técnica para programadores interesados en ampliar o modificar el sistema, incluyendo esquemas de arquitectura, fragmentos de código y diagramas de flujo.

```
3  public static class Constantes
4  {
5      public static readonly double max_izq = -1;
6      public static readonly double max_der = 1;
7      public static readonly double max_alto = 1;
8      public static readonly double max_bajo = -1;
9
10     public static readonly double max_head_vertical = 60;
11     public static readonly double min_head_vertical = -30;
12
13     public static readonly double max_head_horizontal = 50;
14     public static readonly double min_head_horizontal = -50;
15
16     public static readonly double max_head_position_x = 305.750610351563;
17     public static readonly double max_head_position_y = 355.797241210938;
18     public static readonly double max_head_position_z = 1062.583984375;
19
20     public static readonly double min_head_position_x = -211.926605224609;
21     public static readonly double min_head_position_y = -131.236541748047;
22     public static readonly double min_head_position_z = 332.51323648;
23
24     public static readonly double max_size_cabeza = 200;
25     public static readonly double min_size_cabeza = 25;
26 }
```

Figura 11. Fragmento del código elaborado

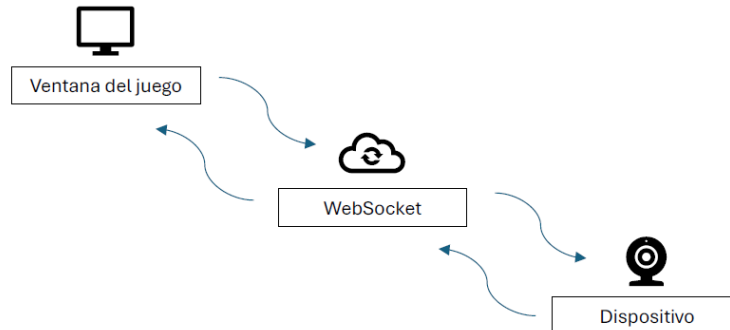


Figura 12. Fragmento de parte de documentación técnica elaborada

5.4. Resultados de impacto social

a) Empoderamiento del usuario con movilidad reducida

Sin duda, uno de los resultados más significativos del proyecto ha sido el impacto directo en la vida de las personas que han participado como usuarios. El sistema ha demostrado ser no solo una herramienta técnica, sino una vía para mejorar la autoestima, la autonomía y la dignidad personal de los estudiantes con movilidad reducida.

b) Sensibilización institucional y docente

A través de este proyecto, se ha generado una mayor conciencia dentro del entorno universitario sobre la importancia de la accesibilidad digital. Diversos docentes que han observado el funcionamiento del sistema se han mostrado interesados en adaptar sus asignaturas y recursos para facilitar aún más su uso por parte de estudiantes con necesidades específicas.

c) Proyección de continuidad y mejora

El éxito del proyecto ha generado un fuerte interés por parte del equipo de trabajo y de otras entidades de la universidad en continuar con el desarrollo del sistema. Entre las posibles líneas futuras destacan:

- Ampliación de la compatibilidad del sistema a plataformas como Google Classroom o Microsoft Teams.
- Desarrollo de una versión multiplataforma para tabletas y dispositivos móviles.
- Mejora de los algoritmos de predicción de movimiento ocular.
- Colaboración con asociaciones de personas con discapacidad para su implantación fuera del ámbito universitario.



En resumen, los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto superan ampliamente los objetivos iniciales. No solo se ha logrado diseñar e implementar una herramienta técnicamente sólida, sino que se ha verificado su utilidad real, su impacto en la comunidad educativa y su potencial para transformar la manera en que concebimos la interacción persona-máquina en entornos de enseñanza virtual.

En la siguiente sección se expondrán las conclusiones generales del proyecto, recogiendo las lecciones aprendidas, los desafíos enfrentados y las recomendaciones para futuras iniciativas en esta línea.

6. Difusión del proyecto

Como parte de la difusión de los resultados del proyecto, se presentó el artículo titulado “*Sistema innovador basado en pupilometría y sistemas expertos para la accesibilidad educativa de personas con cuadriplejía en entornos educativos*” en el Congreso Internacional NODOS del Conocimiento. Este congreso, orientado a la innovación docente y la digitalización inclusiva, ha servido como plataforma para dar visibilidad a los avances logrados.



Figura 13. Presentación del artículo de NODOS en el congreso

El artículo expone el diseño y validación de un sistema de interacción alternativo que permite a personas con cuadriplejía utilizar entornos virtuales de aprendizaje mediante técnicas de seguimiento ocular. Se describe la arquitectura del prototipo desarrollado, la implementación de un teclado virtual accesible y el uso de algoritmos expertos para interpretar la mirada como método de control. Además,



se incluyen pruebas experimentales con usuarios reales, destacando la viabilidad técnica del sistema, su bajo coste y su potencial transformador en el ámbito educativo inclusivo. La publicación subraya la importancia de integrar la accesibilidad desde el diseño en plataformas digitales como Studium y reivindica la necesidad de soluciones tecnológicas centradas en colectivos con diversidad funcional severa.

7. Conclusiones

El presente proyecto de innovación docente ha constituido una experiencia transformadora que ha demostrado cómo la tecnología puede y debe ser una aliada fundamental en la lucha por la igualdad de oportunidades en el ámbito universitario. A lo largo de esta memoria se ha expuesto, con profundidad y rigor, el diseño, desarrollo, validación y difusión de un sistema pionero de control por mirada basado en técnicas de pupilometría, orientado a facilitar el acceso a la plataforma Studium de la Universidad de Salamanca por parte de personas con movilidad reducida avanzada, especialmente aquellas con cuadriplejía.

El análisis global del proyecto permite extraer un conjunto de conclusiones relevantes, tanto desde el punto de vista técnico como pedagógico, institucional y social. Estas conclusiones no solo sintetizan los logros alcanzados, sino que ofrecen también una base para la continuidad, mejora y expansión futura de la iniciativa.

6.1. Conclusiones técnicas

Desde una perspectiva técnica, el proyecto ha cumplido plenamente con sus objetivos. Se ha conseguido diseñar e implementar un sistema funcional, robusto y eficaz que permite la interacción con un entorno virtual de aprendizaje universitario exclusivamente mediante el movimiento ocular. La arquitectura modular del sistema, su compatibilidad con hardware de coste medio, y su diseño multiplataforma, lo convierten en una herramienta flexible, replicable y escalable.

Uno de los principales logros ha sido la integración funcional con la plataforma Studium sin necesidad de modificaciones en la propia plataforma Moodle. Esto ha sido posible gracias a una API específica que traduce las coordenadas de la mirada en comandos visuales, y a una interfaz adaptativa que permite simular todas las funciones básicas de navegación, selección y escritura requeridas en un entorno de aprendizaje virtual.

La implementación de un teclado virtual flotante, sensible a la mirada y configurable en tiempo real, ha resuelto una de las principales barreras que



enfrentan las personas con movilidad reducida severa: la imposibilidad de introducir texto de manera autónoma. Este elemento, junto con los sistemas de calibración automática y los filtros para minimizar falsos positivos, ha contribuido a una experiencia de usuario precisa, intuitiva y altamente funcional.

Los resultados de las pruebas técnicas han evidenciado un alto grado de precisión en la detección de la mirada, una baja latencia de respuesta, y una estabilidad suficiente para sesiones de trabajo prolongadas. La integración de bibliotecas de visión artificial y el uso de modelos matemáticos avanzados, como filtros de Kalman y calibración polinómica, ha sido decisiva para alcanzar este rendimiento.

6.2. Conclusiones pedagógicas

En el plano pedagógico, el proyecto ha demostrado ser una herramienta eficaz para la inclusión real de estudiantes con discapacidad motora severa en el entorno educativo digital. Las pruebas con usuarios reales han permitido verificar que el sistema facilita la participación autónoma en actividades académicas esenciales: acceso a materiales, intervención en foros, realización de tareas, y comunicación con el profesorado.

Uno de los aspectos más valorados por los usuarios ha sido la posibilidad de utilizar el sistema sin ayuda externa. Este factor, más allá de su funcionalidad, tiene un profundo impacto en la autoestima y en la percepción de autonomía del estudiante. Asimismo, la curva de aprendizaje ha resultado ser moderada, con una mejora progresiva del rendimiento en función del tiempo de exposición al sistema.

El sistema también ha demostrado ser adaptable a distintos estilos de aprendizaje y a diversos perfiles de usuario. Las funcionalidades configurables, tanto en términos de sensibilidad como de disposición visual, permiten que el sistema se adecúe a necesidades individuales sin perder su eficacia. Esta capacidad de personalización refuerza su potencial como recurso educativo inclusivo.

La incorporación de elementos lúdicos como el juego Alien Coin y actividades interactivas (trivia, pruebas de memoria, test de daltonismo) ha permitido ampliar el espectro de uso del sistema más allá de lo puramente académico, transformándolo en una herramienta transversal para el desarrollo cognitivo, la atención sostenida y la familiarización con nuevas formas de interacción digital.

6.3. Conclusiones científicas y de difusión

Desde el punto de vista de la difusión académica, el proyecto ha logrado consolidarse como una propuesta con valor científico. La presentación en el Congreso Internacional NODOS del Conocimiento y la publicación del artículo



titulado “Sistema innovador basado en pupilometría y sistemas expertos para la accesibilidad educativa de personas con cuadriplejía en entornos educativos” han supuesto un importante reconocimiento externo y una validación por parte de la comunidad científica.

La publicación ha permitido visibilizar el problema de la accesibilidad en entornos universitarios virtuales, así como compartir una solución viable, económica y técnicamente factible con otras universidades, centros de investigación y asociaciones del ámbito de la discapacidad. La producción de materiales divulgativos (vídeo, documentación técnica y manual de usuario) refuerza aún más la capacidad del proyecto para ser replicado y ampliado en otros contextos.

6.4. Conclusiones sociales e institucionales

Más allá de los aspectos técnicos y pedagógicos, este proyecto ha generado un impacto social significativo. Ha contribuido a empoderar a personas con movilidad reducida, demostrando que la innovación tecnológica puede y debe estar al servicio de la inclusión. Los testimonios de los usuarios, las mejoras observadas en su participación académica y el entusiasmo expresado en las sesiones de prueba dan cuenta del potencial transformador de esta iniciativa.

A nivel institucional, el proyecto ha servido como catalizador para reflexionar sobre la accesibilidad en el ámbito universitario. Ha abierto conversaciones con responsables de plataformas digitales, servicios informáticos y unidades de atención a la diversidad, y ha generado interés en otras facultades para adaptar sus materiales y metodologías de manera más inclusiva.

Asimismo, se ha evidenciado que, con una inversión relativamente baja y con un enfoque centrado en el usuario, es posible desarrollar soluciones de alto impacto social. Este dato es especialmente relevante para universidades públicas que, como la Universidad de Salamanca, deben gestionar sus recursos de manera eficiente pero inclusiva.

6.5. Lecciones aprendidas y recomendaciones

Durante el desarrollo del proyecto, se han extraído diversas lecciones que conviene destacar como guía para futuras iniciativas:

- La accesibilidad no puede ser un añadido posterior: debe formar parte del diseño inicial de cualquier entorno educativo digital.
- La colaboración directa con los usuarios es clave.



- La combinación de hardware asequible con software libre y algoritmos inteligentes permite desarrollar soluciones potentes sin grandes inversiones.
- Las soluciones inclusivas no deben limitarse a la corrección funcional de una carencia, sino aspirar a crear experiencias ricas, atractivas y motivadoras.
- La integración de estas soluciones en el marco institucional requiere acompañamiento formativo para docentes y técnicos, así como voluntad política y recursos mínimos.

Entre las recomendaciones para el futuro, se destacan:

- Desarrollar versiones compatibles con dispositivos móviles y tabletas.
- Integrar el sistema con otros entornos virtuales como Google Classroom o Microsoft Teams.
- Ampliar la colaboración con asociaciones de personas con discapacidad y servicios sociales.
- Implementar módulos de inteligencia artificial para personalizar aún más la experiencia del usuario.

6.6. Conclusión Final

En definitiva, este proyecto ha demostrado que la tecnología puede ser un puente, y no una barrera, para quienes tradicionalmente han sido excluidos del acceso pleno a la educación digital. La mirada, convertida en herramienta de interacción, se transforma aquí en símbolo de dignidad, autonomía y derecho a aprender en igualdad de condiciones.

El sistema desarrollado no es solo una solución tecnológica: es una propuesta ética, educativa y social que reconfigura el papel de la universidad en el siglo XXI. Una universidad verdaderamente inclusiva no se limita a incorporar alumnos con discapacidad, sino que adapta sus estructuras, herramientas y lenguajes para garantizar que todos sus miembros puedan participar, aprender y aportar con plenitud.

Este proyecto, que ahora concluye formalmente, abre así una puerta a nuevas investigaciones, desarrollos y colaboraciones, bajo una premisa clara: la inclusión no es una meta, sino un camino constante que debe recorrerse con compromiso, creatividad y visión transformadora.