

INGENIERÍA BIOMÉDICA

Facultad: Ciencias e Ingeniería
Curso: Fundamentos de Biodiseño

ENTREGABLE 4

Ventajas y desventajas de los productos existentes

Integrantes:

Raí Walter Apesteguía
Anjali Ximena Calero
Santa Cruz
Amira Aguilar Cahuana
Indira Lucel Burga Ríos
Rodrigo Benites Navarro
Maria Fernandes Cáceres
Inga

08/09/2025

Lima

IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD

En el contexto del trastorno neuro-visual y cognitivo secundario a un traumatismo craneoencefálico (TCE), uno de los principales desafíos radica en la ausencia de herramientas de monitoreo continuo, objetivas y accesibles, que permitan evaluar de manera integral las alteraciones visuales (disfunciones oculomotoras, sensibilidad visual, fotofobia) y cognitivas (atención, memoria, velocidad de procesamiento). Actualmente, la práctica clínica se limita a evaluaciones puntuales y entrevistas de carácter subjetivo, lo cual conlleva el riesgo de retrasar la detección de complicaciones o de subestimar la evolución real del paciente.

Ante esta problemática, resulta de suma relevancia para la ingeniería biomédica el desarrollo de sistemas no invasivos, portátiles y de bajo costo que faciliten la evaluación periódica de estos déficits en entornos clínicos, domiciliarios e incluso escolares o laborales. La implementación de una solución de este tipo no solo favorecería la detección temprana de déficits persistentes, sino que también permitiría una planificación más precisa y personalizada de la rehabilitación, reduciendo costos y superando las limitaciones impuestas por la necesidad de supervisión médica presencial frecuente.

En este sentido, el reto ingenieril se orienta hacia la integración de tecnologías de monitoreo, análisis inteligente y tele-rehabilitación en plataformas accesibles y fáciles de usar, con el fin de brindar una atención más preventiva, personalizada y continua a pacientes con TCE. Dispositivos como los sistemas portátiles basados en visión por computadora y redes neuronales convolucionales constituyen un ejemplo claro del potencial de estas herramientas para mejorar la seguridad, la autonomía y el pronóstico funcional de personas con alteraciones visuales y cognitivas.

TECNOLOGÍAS

Productos en el insertados en el mercado:

1. Detección y Navegación de Sistemas Cognitivos de Asistencia Portátiles para personas con Discapacidad Visual [1]

Autor(es): Guoxin Li , Jiaqi Xu, Zhijun Li , Fellow, IEEE, Chao Chen y Zhen Kan , Member, IEEE.

Descripción:

Artículo académico que presenta un sistema de asistencia portátil para personas con discapacidad visual, el cual tiene como enfoque la conciencia situacional en interiores. Este sistema usa dispositivos no intrusivos portables que incluyen unas gafas electrónicas con una cámara RGB-D (RealSense D435i), un ordenador embebido y módulos hápticos.

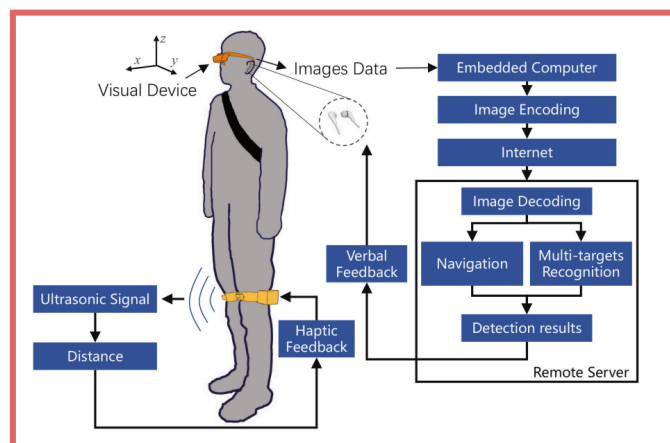


Fig 1: Descripción general del sistema portátil de asistencia

¿Cómo funciona?

El sistema captura información visual y de profundidad del entorno a través de gafas con cámara RGB-D, esta la envía a un servidor remoto para un procesamiento intensivo, la cual usa algoritmos de SLAM y redes neuronales profundas para navegación y reconocimiento, y luego transmite los resultados al usuario a través de retroalimentación auditiva y vibraciones hápticas en tiempo real.

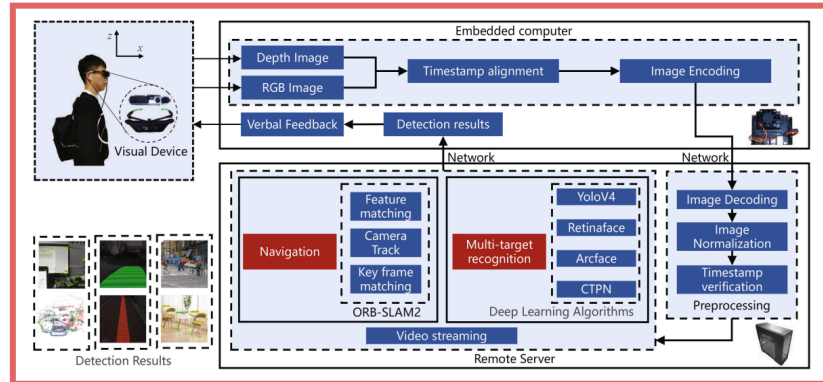


Fig 2: Marco de trabajo del sistema de asistencia portátil

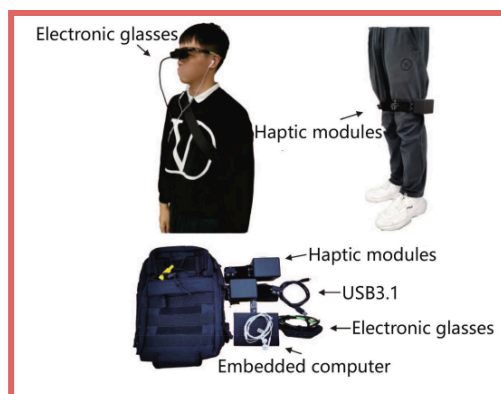


Fig 3: Hardware del sistema de asistencia portátil

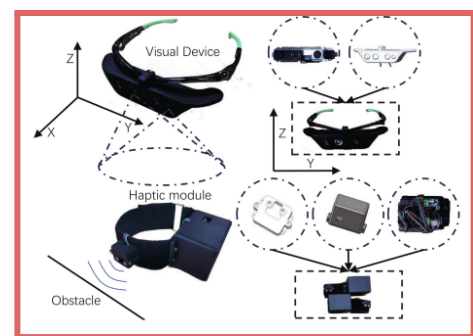


Fig 4: Gafas electrónicas y módulos hápticos

El sistema de asistencia está compuesto por tres subsistemas

- El subsistema de Navegación Interior: Permite realizar posicionamiento y navegación en tiempo real mediante el algoritmo ORB-SLAM2.
- El subsistema de reconocimiento multiobjetivo: Puede proporcionar a los usuarios diversas capacidades de reconocimiento de objetivos.
- El subsistema de interacción humano-computadora: Tiene dos propósitos, cambiar los modos de trabajo según las instrucciones del usuario e informar sobre el entorno mediante retroalimentación verbal y vibratoria.

El costo inicial del hardware del sistema de asistencia llevable es de aproximadamente 400 dólares estadounidenses, y el costo del servidor depende de su mantenimiento y de operarlo, los cuales pueden ser significativos.

Finalmente, se llevó a cabo una evaluación piloto por los autores que confirmó la efectividad del sistema (tasas de éxito > 80%) en la mejora de capacidades de navegación, el reconocimiento de objetos u objetivos en entornos interiores y, lectura de libros o textos.

Ventajas:

A diferencia de otros dispositivos existentes, presenta funciones más completas relacionadas a un uso diario para la mejora del usuario. Propone un algoritmo

multiobjetivo para detección de objetos, reconocimiento facial y reconocimiento de texto en tiempo real y con precisión. Utiliza redes neuronales profundas ligeras y optimizadas para dispositivos portables, lo que mejora la rapidez y mantiene una buena precisión. Está diseñado con modos de trabajo modulares para diferentes tareas, además de un sistema de mapeo y localización reutilizables.

En cuanto al impacto del usuario, mejora la capacidad de navegación y reconocimiento para las personas con discapacidad visual, y proporciona retroalimentación informativa sobre el entorno. Es de fácil uso y no usa dispositivos intrusivos.

Desventajas:

Necesita de mayor exploración, aún no se encuentra listo para una adopción masiva. Se encuentra influenciado por el estado de la red, lo que puede limitar su uso en áreas con deficiente conectividad. Pese a que no se detalla sobre el mantenimiento en el artículo, al ser un sistema electrónico, sus componentes requerirán de mantenimiento como cualquier dispositivo, como carga de batería, posibles actualizaciones de software y protección física.

- No se realizó una evaluación cuantificada (varios participantes con)

Reflexión final:

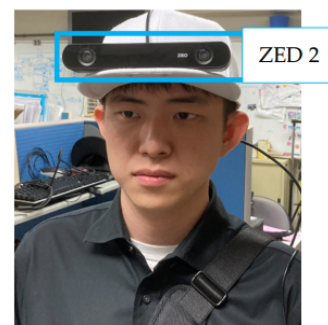
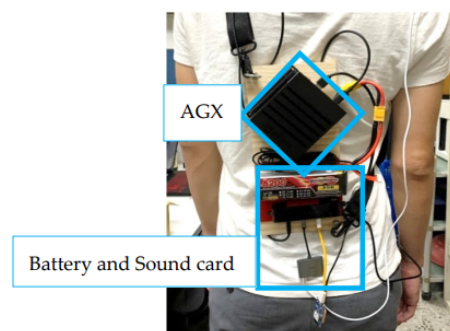
Este artículo presenta un sistema muy prometedor ya que representa una evolución importante respecto a ayudas tradicionales o dispositivos con sensores simples. Puede mejorar la autonomía de los usuarios al no solo dar la detección de objetos u obstáculos, sino también orientación espacial, lectura, etc. Aún así el artículo reconoce que se podría buscar la mejora en cuanto a la accesibilidad, ya que el dispositivo depende de la conexión a una buena red. Sería interesante añadirle la capacidad de ser customizable por el usuario, permitir ajustar la sensibilidad de detección, que tipos de objetos reconocer, ajustar la retroalimentación (intensidad de la vibración, volumen), entre otros. Como se menciona en el artículo, podría mejorar al usar un hardware más ligero y de bajo consumo, además de un posible autoguardado en la nube cuando haya conectividad. Añadir a ello que el diseño sea ergonómico y de fácil reparación o mantenimiento.

2. A CNN-Based Wearable Assistive System for Visually Impaired People Walking Outdoors [2]

Autor(es): I-Hsuan Hsieh, Hsiao-Chu Cheng, Hao-Hsiang Ke, Hsiang-Chieh Chen y Wen-June Wang

Descripción Funcional:

Sistema asistivo portátil diseñado para apoyar a personas con discapacidad visual en la navegación de entornos exteriores. El dispositivo integra una cámara estereoscópica ZED 2 instalada en una gorra, un procesador Jetson AGX transportado en una mochila y auriculares que transmiten instrucciones auditivas al usuario.



(b)

Fig 5: Hardware del sistema de asistencia portátil, (a) AGX, batería y tarjeta de sonido en la placa trasera; (b) El ZED 2 en la gorra.

En el software, el sistema emplea dos redes neuronales principales: Fast-SCNN, utilizada para segmentar y reconocer el entorno (aceras, pasos peatonales, escaleras y carreteras), y YOLOv5s, encargada de detectar y clasificar obstáculos comunes como peatones, autos, motocicletas, bicicletas, camiones y buses. El procesamiento de la información se complementa con un algoritmo que divide el campo visual en siete secciones y calcula un índice de “caminabilidad” para determinar la dirección más segura. Incluye una retroalimentación por voz: el sistema indica comandos como “go straight”, “left” o “slightly right”, además de advertir sobre obstáculos cercanos, especificando su tipo cuando es posible (por ejemplo, “car”). Así, se busca brindar al usuario mayor seguridad al desplazarse en espacios urbanos.

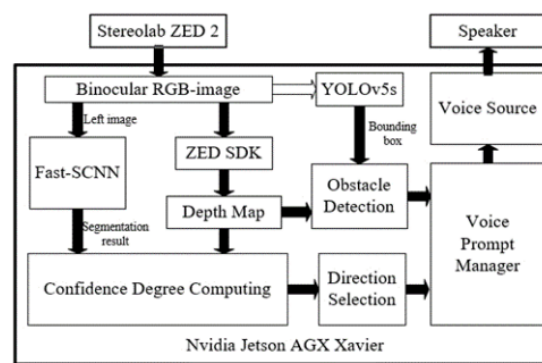


Fig 6: Flujo del software del sistema de asistencia portátil.

El prototipo fue validado en pruebas reales con un usuario con discapacidad visual en recorridos de entre 300 y 1200 metros alrededor de una estación de transporte en Taiwán. Los resultados mostraron que el sistema ayudó a mejorar la orientación y la sensación de seguridad del usuario durante la marcha.

Ventajas:

- Brinda mayor seguridad al detectar obstáculos y así elegir rutas fiables en tiempo real.
- Reconoce el entorno distinguiendo veredas, cruces peatonales y obstáculos comunes (autos, personas, bicicletas, buses, etc.).
- Guía al usuario con instrucciones simples por voz.
- Fue validado en recorridos reales con un usuario con discapacidad visual, quien afirmó sentirse más seguro y acompañado
- Las redes empleadas alcanzan buena exactitud (ej. Fast-SCNN con 95.1% de pixel accuracy en segmentación).

Desventajas:

- El sistema incluye una computadora Jetson Xavier y una batería grande en la espalda, lo que lo hace voluminoso.
- La batería de 5200 mAh dura solo unas 2.5 horas de uso continuo, lo que no sería práctico en salidas largas.
- El reconocimiento falla en días lluviosos (agua en la vereda confunde la segmentación) o de noche (falta de luz y brillo desigual de farolas).
- El usuario necesita tiempo para familiarizarse con las instrucciones y la interacción del sistema.

Reflexión:

Aunque aún se encuentra en etapa de prototipo y presenta limitaciones (como en autonomía, tamaño y desempeño en condiciones adversas), el sistema portátil demuestra que es posible trasladar algoritmos de visión por computadora al uso cotidiano de un paciente real. Este tipo de dispositivos refleja la evolución en la adaptación del paciente: pasar de la asistencia pasiva (como el bastón blanco) a soluciones inteligentes que no solo detectan obstáculos, sino que también interpretan el entorno y proponen rutas seguras.

3. Read & Write Guide [3]

Autor(es): Sonoko Hayashi Naoki Hamanaka

Descripción Funcional:

Producto diseñado con modelado 3D para personas con dificultad en lecturas y/o escribir en una línea recta, debido a dificultades cognitivas, visuales, físicas o de atención.

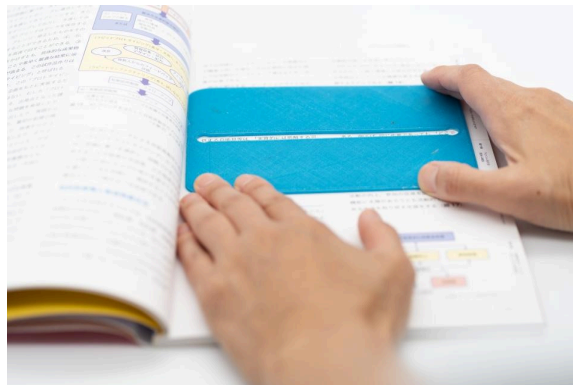


Fig 7: Guía de lectura y escritura

Esta herramienta facilita la escritura al ocultar el texto colindante para evitar las distracciones. Además, permite dibujar líneas rectas al definir los límites de la forma. Este producto de TOM (Tikkun Olam Makers), proporciona la lista de materiales, el costo aproximado y una guía de cómo realizar la impresión 3D junto con el modelado. El costo aproximado de los materiales son 0.94 dólares y demora en realizarse aproximadamente 0.45 horas.

Ventajas:

- Es un dispositivo económico y accesible
- No requiere ensamblaje
- Fácil de reproducir
- Facilita la lectura y asiste en el trazado de líneas

Desventajas:

- Solo se enfoca en el problema de lectura y escritura
- No incluye accesibilidad avanzada

Reflexión:

A pesar de que es un producto con muchas ventajas ya que es simple, accesible y funcional, no abarca por completo soluciones o seguimiento a usuarios con discapacidades visuales y/o cognitivas. Se podría mejorar el producto para que evolucione a un dispositivo biomédico de apoyo y personalizable. Se podrían añadir algunos sensores de movimiento o de presión para dar luego una retroalimentación al usuario, además de el uso de softwares para registrar el desempeño de manera

objetiva. De igual forma, sería de más utilidad si se adaptara de acuerdo al tamaño de letra del texto o según el grosor de la línea que se quiera trazar.

4. Raspberry Pi-Based TBI Detection with Single Chanel EEG [4]

Autor(es): Navjodh Singh Dhillon 1 , Agustinus Sutandi 1 , Manoj Vishwanath 2 , Miranda M. Lim 3,4, Hung Cao 2,5,* and Dong Si

Descripción:

Se describe un sistema portátil basado en Raspberry Pi diseñado para la detección temprana de lesiones cerebrales traumáticas leves (mTBI) utilizando señales de electroencefalograma (EEG) de un solo canal. Se enfoca en la implementación de algoritmos de aprendizaje automático, específicamente Redes Neuronales Convolucionales (CNN) y XGBoost, para clasificar las señales EEG en tiempo real e identificar la presencia de mTBI y etapas de sueño. El sistema fue validado con datos de EEG de ratones y demostró una alta precisión de clasificación (más del 90%) y un tiempo de inferencia rápido (menos de 1 segundo), haciendo posible su uso en entornos de campo. Los autores resaltan la versatilidad del sistema para operar con diferentes modelos predictivos y su potencial para monitoreo de salud conectado y en tiempo real para mTBI, así como otras aplicaciones neurológicas.

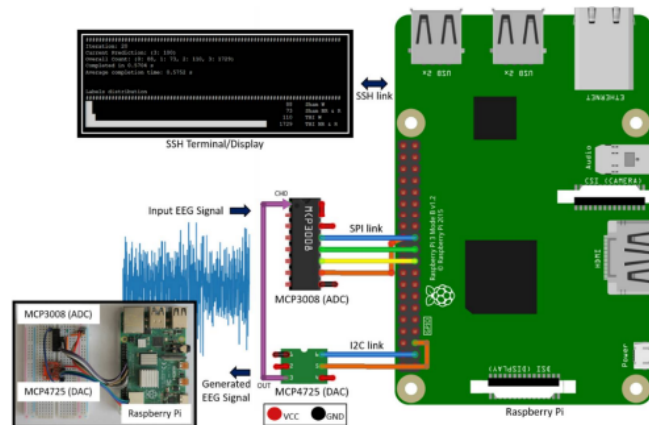


Fig 8: Configuración del hardware

Funcionamiento:

El sistema está diseñado para la detección temprana de lesiones cerebrales traumáticas y la clasificación automática partir de las etapas del sueño, con una señal de electroencefalograma de un solo canal, el sistema portátil de procesamiento de datos en tiempo real sigue el siguiente principio de funcionamiento:

1. Diseño de Hardware del Sistema:

- **Raspberry Pi (RPi):** Es el **corazón del sistema**, una computadora de alto

rendimiento relativamente pequeña y asequible. Para este trabajo, se utilizó una Raspberry Pi 4.

- **Convertidor Analógico a Digital (ADC) - MCP3008:** Se utiliza como interfaz de hardware para **capturar y digitalizar las señales de EEG** de entrada.
- **MCP4725 (DAC, 12 bits, I2C):** Genera señal EEG física a partir de un archivo de datos.

Funcionamiento:

1. Señal EEG cargada → DAC la convierte en señal física → ADC la digitaliza a 256 Hz.
2. Segmentos de 16–64 segundos para análisis y clasificación.
3. Preprocesamiento: Filtro paso bajo y submuestreo (1 de cada 4 muestras).
4. Extracción de características (XGBoost): Potencias promedio de subbandas (delta–gamma), normalizadas en dB + relación theta/alpha. También se hace uso de las CNN: Extrae características automáticamente, sin embargo el XG Boost fue más preciso y rápido.

Ventajas y desventajas:

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| Portabilidad y bajo costo: el sistema usa Raspberry Pi y componentes de bajo consumo, lo que lo hace accesible y transportable | Limitación de hardware: se usó un ADC de 10 bits (MCP3008) que es menos preciso comparado con ADCs clínicos de 16–24 bits |
| Alta precisión: XGBoost alcanzó precisiones superiores al 90% y mejor rendimiento que CNN en RPi | Falta de procesamiento de artefactos: no incluye etapas de filtrado, amplificación o eliminación de artefactos fisiológicos, necesarios para aplicaciones reales |
| Flexibilidad de modelos: permite desplegar tanto CNN como XG Boost, mostrando compatibilidad con distintos algoritmos ML | Canal único: el sistema solo trabaja con un EEG de canal único, lo que reduce la información disponible para el diagnóstico |

¿Ayudaría realmente a un paciente?

Puede ayudar indirectamente a un paciente al habilitar diagnóstico temprano y seguimiento, sobre todo en contextos con recursos limitados. Sin embargo, antes de usarse clínicamente se requiere validación en humanos, mejora del hardware (más canales, mayor resolución) y certificación médica. El hecho de que sea open hardware le da un amplio potencial de que más personas puedan colaborar al desarrollo de este hardware, siendo los campos de la telemedicina y la cultura de prevención médicas los más beneficiados

7. Smart cane [5]

Autor(es): Saurabh Robotic.

Descripción: Smart Cane como su nombre lo indica es un bastón que emite señales sensoriales al usuario cuando este se encuentra cerca de algún objeto, superficie o persona. Tiene como objetivo ayudar a las personas con trastornos visuales a caminar sin chocar con algún obstáculo. Es un proyecto que utiliza elementos simples como arduino, sensor ultrasónico, buzzer, motor vibratorio y materiales reciclables fáciles de obtener. Su código está programado en C del software de Arduino

Funcionamiento:

El funcionamiento de Smart Cane es bastante sencillo, cuando el sensor ultrasónico detecta algún obstáculo a una distancia inferior de 100 cm emitirá dos señales, una sonora y otra sensorial. Una vez detectado el objeto emitirá un zumbido y vibrará alertando al usuario que en la dirección a la que está apuntando su bastón hay un obstáculo cerca. Todo el componente electrónico se encuentra en la parte inferior, es decir, en la caja que observamos en la imagen. El bastón no contiene electrónica solo sirve de agarre para el usuario.



Fig. 9,10 vista frontal inferior de Smart Cane

Ventajas y desventajas:

Las ventajas que se destacan es la simplicidad y funcionalidad, a pesar de que la idea sea sencilla Smart Cane sería una gran opción económica para pacientes con discapacidades visuales. Un punto muy importante es el costo de producción y el ensamblaje, el coste de la electrónica rondará los 50 soles o 15 dólares aproximadamente teniendo en cuenta que los materiales como el bastón y la caja inferior los podemos reciclar de nuestras casas. Por otro lado el ensamblaje se podría realizar en la misma casa del usuario con los instrumentos e instrucciones adecuadas, no obstante, se requieren de conocimientos básicos en arduino y soldadura lo que limitaría su producción casera, sin embargo, la simplicidad técnica de ensamblaje haría sencilla su producción a media escala.

Entre sus desventajas podemos encontrar que la caja debe ser empujada por el suelo, si agregamos ruedas que permitan que el bastón ruede y no se arrastre el usuario no deberá hacer mucho esfuerzo para movilizarse (sobretudo para un uso medianamente prolongado), por otro lado, la ergonomía ¿Es seguro que el usuario apoye su peso sobre el bastón?, para ello debemos replantear aspectos de diseño y materiales.

¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?

Definitivamente propondría un rediseño pensado en la ergonomía y el uso medianamente prolongado, cambiar materiales por otros más confortables y duraderos, si es posible, reciclados. También incorporaría otro sensor ultrasónico a lo largo del bastón para detectar, por ejemplo, si el usuario se acercará a una mesa.

¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?

Logramos cubrir la necesidad de evitar obstáculos, sin embargo, ¿Como orientamos al usuario en la ciudad?, quizás una pantalla táctil con sistema de navegación podría ayudar pero se debería pensar una solución para ese aspecto.

4. Pupil labs Neon [5]

Autor, empresa o institución responsable: Pupil Labs GmbH (Alemania) – empresa especializada en eye-tracking portátil.

Breve descripción funcional: Estos lentes son un sistema de seguimiento ocular portátil diseñado para impulsar la investigación científica y permitir aplicaciones de seguimiento ocular [5]. Está basado en unas gafas livianas que integra cámaras. Este dispositivo aborda la necesidad de capturar datos visuales y cognitivos en entornos naturales y móviles, permitiendo registrar con precisión hacia dónde dirige la mirada el usuario mientras interactúa con su entorno

Ventajas: Entre sus ventajas está el uso de cámaras oculares infrarrojas, lo que permite medir la posición del ojo, orientación del ojo, diámetro de la pupila, además gracias a sus cámaras, dan un campo de visión de 100° x 80° [5]. Además su toma de datos se da en tiempo real, cuenta con sensores como acelerómetro, magnetómetro, giroscopio. También cuenta con un micrófono que ayuda a grabar lo que sucede. Por último el material es de silicona que encapsula toda la tecnología. En síntesis, cuenta con tecnología moderna que busca ofrecer un seguimiento ocular y cognitivo a diferentes personas, el cual está hecho de una manera que el usuario pueda utilizarlo en diferentes actividades, incluso si es un niño de 2 a 8 años.

Desventajas: Su principal desventaja es el costo de 5.950 €, lo cual lo vuelve poco accesible para personas que no cuentan con recursos. Además cuenta con un campo de visión restringido a lo que capturan las cámaras frontales; la precisión puede verse afectada por iluminación o movimientos bruscos. Por último en otros tipos de realidades para su uso sería más complicado la educación para el uso del software.



Imagen de la Tienda virtual del producto

¿Qué mejorarías tú en un nuevo prototipo?

Mayor accesibilidad y software más sencillo

¿Qué necesidad del usuario aún no está suficientemente cubierta?

Mejorar en el seguimiento cognitivo

6. REHASTART: Cognitive - Rehabilitation Empowered by Vision Transforms
[\[https://www.iris.unict.it/handle/20.500.11769/620120?mode=complete\]](https://www.iris.unict.it/handle/20.500.11769/620120?mode=complete)

Autor(es): Caterina Formica, Mirjam Bonanno, Chiara Sorbera, Angelo Quartarone,

Fabio Mauro Giambò, Angela Marra, Rocco Salvatore Calabrò.

Descripción:

Rehastart es un proyecto de telerehabilitación cognitiva basado en smartphones que busca apoyar a pacientes con daño cerebral adquirido.

La plataforma integra ejercicios digitales diseñados para estimular memoria, atención y funciones ejecutivas.

Utiliza visión computarizada y análisis inteligente para monitorear la atención y el compromiso del paciente durante las sesiones.

Permite realizar la rehabilitación de forma remota, facilitando el acceso en contextos domiciliarios y reduciendo costos de traslado.

Su objetivo es ofrecer una herramienta flexible, accesible y personalizada para mejorar la continuidad del tratamiento cognitivo.

¿Cómo funciona?

Rehastart funciona como una plataforma de telerehabilitación cognitiva accesible desde smartphones. Los pacientes realizan ejercicios interactivos diseñados para estimular memoria, atención y velocidad de procesamiento. Mediante visión computarizada se monitoriza la atención, la mirada y las expresiones durante las tareas. Un sistema inteligente analiza los datos y adapta la dificultad de las actividades según el rendimiento del paciente. Los resultados se registran y pueden ser revisados por profesionales de la salud de forma remota para dar seguimiento personalizado.

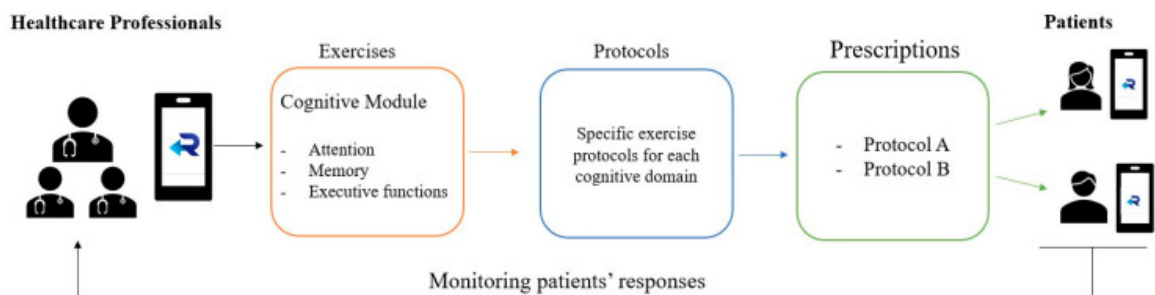


Fig 11: Flujo de gestión de ejercicios en Rehastart

Figura # – Flujo de gestión de ejercicios en Rehastart

1. **Base de ejercicios cognitivos:** los profesionales de la salud acceden a una biblioteca de actividades previamente diseñadas.
2. **Creación de protocolo:** seleccionan ejercicios y definen parámetros como dificultad, número de repeticiones, series y duración, generando un protocolo personalizado.
3. **Acceso del paciente:** el protocolo se envía a la aplicación móvil, donde el paciente puede visualizar y realizar las actividades siguiendo las instrucciones.
4. **Registro de desempeño:** durante y después de la sesión, se recopilan datos sobre tiempos de respuesta, errores y nivel de cumplimiento.
5. **Revisión y ajuste:** los profesionales analizan los resultados y modifican el protocolo según la evolución del paciente, asegurando una rehabilitación dinámica y personalizada.

Ventajas:

Rehastart ofrece la posibilidad de realizar rehabilitación cognitiva de forma remota, lo cual facilita el acceso de pacientes que no pueden asistir con frecuencia a centros especializados. La personalización de protocolos permite adaptar los ejercicios a las necesidades específicas de cada individuo, garantizando un tratamiento más eficiente. Además, el monitoreo continuo y el registro automático de datos aportan información objetiva sobre el progreso, lo que ayuda a los profesionales a tomar decisiones más precisas. Otra ventaja clave es el uso de un dispositivo portátil y accesible como el smartphone, que favorece la adherencia del paciente y reduce los costos asociados al traslado y a la supervisión presencial.

Desventajas:

A pesar de sus beneficios, la efectividad de Rehastart depende de la disponibilidad tecnológica del paciente, ya que requiere un smartphone en buen estado y una conexión adecuada a internet. La falta de supervisión presencial puede ser una limitación en casos de pacientes con deterioro más severo, que podrían necesitar acompañamiento directo. También existe el riesgo de una menor motivación o cumplimiento si el paciente no cuenta con apoyo familiar o un entorno que lo incentive a realizar las tareas. Finalmente, aunque el sistema recopila información objetiva, la calidad del análisis puede verse afectada por factores externos como la iluminación, la posición del dispositivo o el nivel de familiaridad del usuario con la tecnología.

6. Noninvasive Monitoring of Metabolism and Hemodynamics Using Super-Continuum Infrared Spectroscopy of a Cytochrome C Oxidase (SCISCCO) Instrument

Autores: Mohammed N. Islam 1,2,* , Tianqu Zhai 1 , Alexander Dobre 1 , Cynthia N. Meah 1 , Ioulia Kovelman 3 , Steven Broglia 4 , Daniel A. Beard 5 , Xiaosu Hu 6 , Jacob R. Joseph 7 , Yamaan S. Saadeh 7 , Rachel Russo 8 and Hasan B. Alam

Descripción:

El trabajo propone y valida un sistema llamado SCISCCO (basado en SCL + espectroscopía diferencial), que permite monitorear la actividad cerebral de manera no invasiva y con alta resolución. El objetivo es mejorar la detección de procesos fisiológicos y metabólicos relacionados con la oxigenación y el consumo de energía, en contextos clínicos y experimentales

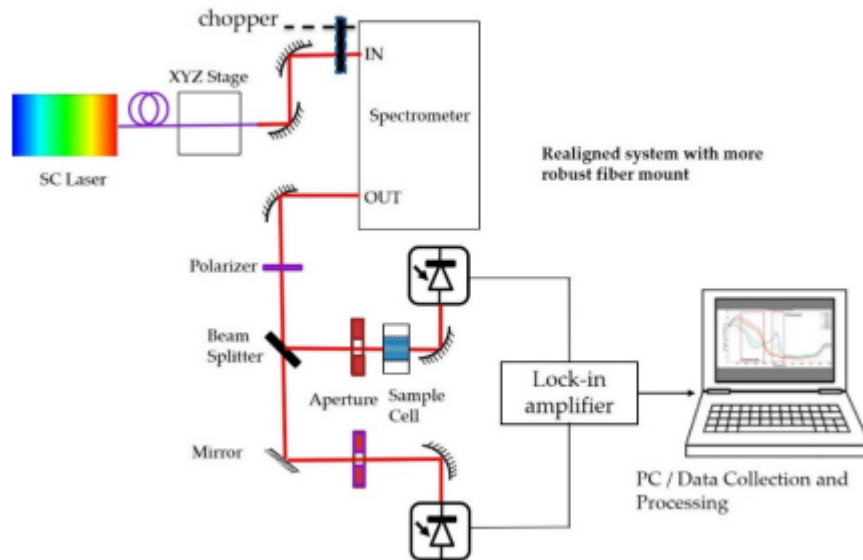


Fig. 12 Configuración óptica para mediciones de laboratorio in vitro.

Principio de Funcionamiento:

1. Usa un láser super-continuo (SCL) en el NIR/SWIR. Antes de llegar a la persona, pasan la luz por un monocromador para seleccionar una banda angosta que cumpla con los límites de seguridad (MPE) y, así, poder entregar más densidad espectral (mejor SNR) que con lámparas.
2. Dividen la luz en dos brazos: uno va a la sonda que toca la piel (muestra) y otro a un detector de referencia. Al comparar ambas señales (y sincronizar la detección con un “chopper”/lock-in) se eliminan fluctuaciones del láser y del ambiente.
3. Acoplo con sonda óptica: La sonda tiene un emisor y un receptor separados 2 cm. Con esa separación, el patrón “banana” recoge señal de 2 cm de profundidad (frente/brazo).
4. Adquisición del espectro: Se barre el espectro y se registra la luz reflejada difusamente de manera continua. En las pruebas descritas, cada barrido completo tomó ~30 s (luego lo bajaron a ~17 s para ciertas tareas).
5. Conversión a biomarcadores De la variación espectral medida se calculan cambios de HbO, HbR y CCO con una versión modificada de la ley de Beer–Lambert

Experimentos realizados

- In vitro: validación del espectro diferencial de CCO.
- Prueba de presión arterial (antebrazo): HbO ↓, HbR ↑, CCO casi sin cambios.
- Prueba de apnea (frente): HbO ↑ y CCO ↓ durante la retención de la respiración.
- Prueba de atención (25 voluntarios): HbO ↑ y CCO ↓, mostrando mayor demanda energética cerebral.

Resultados principales

El sistema detectó cambios claros en la señal de CCO durante tareas cognitivas (atención) y fisiológicas (apnea).

Los resultados mostraron una disminución del estado redox de CCO durante las pruebas de atención y respiración, lo que se asocia a mayor demanda energética cerebral

La calidad de las señales fue superior a estudios previos debido al uso del SCL, que mejora la relación señal/ruido

En animales, las mediciones de oxigenación y hemoglobina coincidieron con los cambios fisiológicos esperados tras trauma y tratamiento

| Ventajas | Desventajas |
|--|--|
| No invasivo: mide metabolismo y oxigenación sin necesidad de cirugía ni implantes. | No trata enfermedades, solo monitorea y diagnóstica. |
| Portátil: puede usarse en hospitales, laboratorios e incluso trasladarse entre centros médicos. | Equipamiento costoso y complejo (láseres, espectrómetros, detectores). |
| Validado en humanos (apnea, atención) y en modelos animales de trauma, mostrando coherencia fisiológica. | Requiere protocolos controlados y calibraciones para ser confiable en la clínica real. |

Pruebas en humanos:

| Prueba | Procedimientos |
|---|---|
| 1. Prueba de presión arterial (isquemia en antebrazo) | <p>Cómo se hizo:</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Se colocó un manguito en el brazo.<input type="checkbox"/> 3 min de línea base.<input type="checkbox"/> Inflado del manguito >100 mmHg por 4 min (se corta el flujo de sangre).<input type="checkbox"/> Liberación y recuperación (~4 min). <p>Qué se observó:</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> HbO (oxigenada) ↓ bajó durante la |

| | |
|--|---|
| | <p>oclusión.</p> <p><input type="checkbox"/> HbR (reducida) ↑ subió durante la oclusión.</p> <p><input type="checkbox"/> CCO (metabolismo) no mostró cambios claros (muy débil respecto al ruido).</p> |
| 2. Prueba de apnea (contener la respiración) | <p>Cómo se hizo:</p> <p><input type="checkbox"/> Sujetos respiraban normal ~5 min.</p> <p><input type="checkbox"/> Luego contenían la respiración 30 s.</p> <p><input type="checkbox"/> Se colocó la sonda en la frente.</p> <p><input type="checkbox"/> Se comparó con un sistema fNIRS comercial para validar.</p> <p>Qué se observó:</p> <p><input type="checkbox"/> HbO ↑ aumentó durante la apnea.</p> <p><input type="checkbox"/> En la mayoría de los intentos, CCO ↓ bajó, indicando mayor demanda energética cerebral.</p> <p><input type="checkbox"/> Los valores de HbO del SCISCCO coincidieron bastante bien con el fNIRS.</p> |
| 3. Prueba de atención (25 voluntarios) | <p>Cómo se hizo:</p> <p><input type="checkbox"/> Los participantes realizaron tareas cognitivas de atención (bloques de test).</p> <p><input type="checkbox"/> Se aplicaron filtros y métodos para eliminar artefactos y quedarse con datos confiables.</p> <p>Qué se observó (promedio de todos):</p> <p><input type="checkbox"/> HbO ↑ subió durante las tareas de atención.</p> <p><input type="checkbox"/> CCO ↓ bajó de manera consistente.</p> <p><input type="checkbox"/> HbR fue más variable (no todos respondieron igual).</p> |

¿Para qué sirven estos datos medidos?:

- Demuestran que es posible medir de forma no invasiva no solo oxigenación (HbO/HbR), sino también el metabolismo cerebral (CCO), que está muy ligado a la función cognitiva.
- Validan que estas mediciones se pueden hacer en tiempo real, en humanos, incluso con tareas simples (apnea, atención).
- Aportan evidencia de que este tipo de herramientas pueden detectar cambios sutiles y tempranos que no se ven con pruebas clínicas puntuales.

Uso en pacientes:

Mide cambios de oxigenación (HbO/HbR) y metabolismo (CCO) en el cerebro de forma no invasiva.

Sirve para entender mejor qué pasa durante situaciones como trauma, apnea o tareas cognitivas.

Puede ayudar a monitorear pacientes en hospitales (ej. en shock, trauma craneal, cuidados intensivos).

Bibliografia

- [1] Guoxin Li , Jiaqi Xu, Zhijun Li , Chao Chen, and Zhen Kan, "Sensing and navigation of wearable assistance cognitive systems for the visually impaired," IEEE Journals & Magazine. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9695493>
- [2] I.-H. Hsieh, H.-C. Cheng, H.-H. Ke, H.-C. Chen, and W.-J. Wang, "A CNN-Based Wearable Assistive System for Visually Impaired People Walking Outdoors," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 22, p. 10026, 2021.
- [3] Sonoko H., "Read & Write Guide", Tikun Olam Makers. <https://tomglobal.org/project?id=617193064f10776dbe4885bd>
- [4] "Smart cane," *Arduino Project Hub*, Jan. 2, 2019. [En línea]. Disponible: <https://projecthub.arduino.cc/saurabhrobotic/smart-cane-36dcdd> [Accedido: 16-sept-2025].
- [5] Pupil Labs, "Neon Data Collection Documentation," Pupil Labs, 2025. [Online]. Available: <https://docs.pupil-labs.com/neon/data-collection/>
- [6] M. N. Islam, T. Zhai, A. Dobre, C. N. Meah, I. Kovelman, S. Broglio, D. A. Beard, X. Hu, J. R. Joseph, Y. S. Saadeh, R. Russo, and H. B. Alam, "Noninvasive Monitoring of Metabolism and Hemodynamics Using Super-Continuum Infrared Spectroscopy of a Cytochrome C Oxidase (SCISCCO) Instrument," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 19, Art. no. 10122, 2022.
- [4] Dhillon, N. S.; Sutandi, A.; Vishwanath, M.; Lim, M. M.; Cao, H.; Si, D., "A Raspberry Pi-Based Traumatic Brain Injury Detection System for Single-Channel Electroencephalogram," *Sensors*, vol. 21, no. 8, article 2779, Apr. 2021. doi: 10.3390/s21082779