

ANÁLISIS VISUAL DE DATOS PROVENIENTES DE REGISTRADORES OCULARES



Autor: Leandro Luque

Directoras: Dra. Silvia Castro y Dra. María Luján Ganuza

Institución: Universidad Nacional del Sur

Fecha de Defensa: 10 de Julio de 2025



MOTIVACIÓN

En los últimos años el uso de registradores oculares se ha extendido en distintos campos de aplicación como la psicología, la medicina, el marketing y los videojuegos, entre los más relevantes. La capacidad de poder obtener datos tan relevantes como el tamaño de la pupila y la posición de los ojos de forma no invasiva, permite extender nuestra comprensión del comportamiento de las personas en determinadas circunstancias. Paralelamente, el aumento exponencial de estímulos y de datos producidos actualmente ha derivado en la necesidad de emplear técnicas de análisis visual para mejorar la exploración y comprensión de los patrones de comportamiento. El Laboratorio de Desarrollo en Neurociencias Cognitivas (LDNC) investiga la lectura como una tarea cognitiva compleja que involucra múltiples procesos, como memoria, decodificación de símbolos y razonamiento. Mediante dispositivos de seguimiento ocular es posible registrar de forma no invasiva y precisa cómo las personas procesan un texto durante la lectura, generando mediciones que permiten construir modelos y marcadores cognitivos para caracterizar el comportamiento de distintos grupos e identificar posibles deterioros cognitivos. En este contexto, el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Visualización y Computación Gráfica (VyGLab) colabora mediante el diseño de soluciones de análisis visual de datos que facilitan la exploración y gestión de grandes volúmenes de información, apoyando tanto la generación como el testeo de hipótesis de investigación.

El objetivo general de esta tesis es el diseño y desarrollo de técnicas de análisis visual para datos espacio-temporales obtenidos a partir de estos dispositivos. Estas técnicas deberán poder aplicarse a distintos contextos que resulten relevantes desde el punto de vista cognitivo (como la lectura y la exploración de estímulos dinámicos), para analizar y evaluar el comportamiento de las personas.

APORTES DE LA TESIS

La tesis integra avances para abordar los desafíos inherentes a la visualización de datos procedentes del seguimiento ocular. En este sentido, se proponen soluciones que enriquecen el proceso de visualización al considerar la diversidad de estímulos implicados. Los principales aportes que se obtuvieron durante el desarrollo de la tesis se pueden enumerar de la siguiente forma:

Especificación, diseño y desarrollo de una técnica de análisis visual para analizar movimientos oculares durante la lectura de micro-historias: se explora por primera vez el uso de micro-historias como estímulo textual, caracterizadas por su brevedad y alta carga semántica, lo que las convierte en un recurso adecuado para estudiar procesos cognitivos mediante el análisis de movimientos oculares. Dado que estos experimentos generan grandes volúmenes de datos espacio-temporales, se definió un conjunto de características relevantes para describir el comportamiento de los participantes durante la lectura. Para su análisis, se propone una técnica de visualización radial que destaca el orden de lectura de las palabras y la dinámica del cambio pupilar, indicadores clave para inferir carga cognitiva y estrategias de lectura. Además, la integración de vistas interconectadas entre el estímulo textual y la visualización permite mantener el contexto del análisis y explorar métricas como tiempo de fijación, transiciones y comportamiento pupilar de cada palabra.

Definición de técnicas de análisis visual para explorar la lectura de oraciones: diseño y desarrollo de la herramienta de análisis visual *SentenceVis* fue posible comprender y caracterizar el comportamiento de participantes jóvenes y adultos durante la lectura de oraciones. Estas oraciones están diseñadas en torno al concepto de predictibilidad, lo que permite analizar la capacidad de los lectores para anticipar el contenido del texto y extraer marcadores cognitivos relevantes. La herramienta combina técnicas de visualización con mecanismos de interacción que facilitan el análisis de los datos. Además, integra un enfoque de aprendizaje automático para clasificar las series temporales de cada lectura considerando la posición horizontal, la posición vertical y la dinámica pupilar, lo que permite identificar qué dimensiones influyen más en la caracterización de los grupos etarios.

Definición de técnicas de análisis visual para explorar estímulos dinámicos: el análisis de estímulos dinámicos, como videos, resulta relevante en estudios de *eye tracking* porque refleja situaciones cotidianas de interacción con contenidos audiovisuales. Sin embargo, los datos de dinámica pupilar en este tipo de estímulos presentan desafíos debido a su complejidad y variabilidad, especialmente al momento de visualizarlos e interpretarlos. Para abordar este problema, se diseñó y desarrolló una herramienta de análisis visual que permite explorar medidas relacionadas con el movimiento ocular y la dinámica pupilar en videos, utilizando un conjunto de fragmentos de películas con distintas características visuales para estudiar qué factores influyen en la atención. La herramienta facilita el análisis de cambios en la atención y el esfuerzo cognitivo mediante la combinación de métricas tradicionales de fijaciones y sacadas con la dinámica pupilar como marcador cognitivo adicional, permitiendo comparar participantes o estímulos y detectar regiones del video que generan mayor carga cognitiva o relevancia atencional durante la exploración visual

Diseño e implementación de herramientas de análisis visual basadas en GLC: Durante el análisis de datos de *eye tracking* surgió la necesidad de contar con técnicas que permitieran representar su naturaleza multidimensional. Para ello se exploraron las Coordenadas Generales de Línea (GLCs), un conjunto de técnicas recientes de visualización que permiten representar datos multidimensionales sin pérdida de información. El trabajo incluyó la definición de una taxonomía para clasificar estas técnicas, el diseño y desarrollo de herramientas para explorar sus distintas configuraciones y la evaluación de cómo sus propiedades influyen en la representación visual. Como resultado, se desarrollaron herramientas de análisis visual aplicables tanto al estudio de datos de seguimiento ocular como a otros dominios, incluyendo la herramienta SpinelVA, que integra visualización y aprendizaje automático para apoyar tareas analíticas y que además sirvió como base para investigaciones posteriores sobre el análisis visual de la lectura de oraciones.

LÍNEAS DE I+D FUTURAS

Esta tesis ofrece una visión general sobre el diseño y desarrollo de técnicas de análisis visual de datos provenientes de *eye trackers*, permitiendo tener en cuenta nuevos aspectos en tareas vinculadas a lectura y exploración de videos. En este sentido, se proponen las siguientes líneas de trabajo futuro que se podrían abordar sobre dicho tema:

Extensión de las técnicas de visualización de datos multidimensionales: las técnicas de visualización basadas en GLCs han demostrado un notable potencial para la representación de datos multidimensionales; sin embargo, presentan una limitación en cuanto al manejo de la dimensión temporal en su definición. Para ello es necesario una redefinición y/o extensión de las mismas para que puedan ser empleadas en las tareas típicas de clasificación y detección de anomalías, que son de interés para los expertos.

Incorporación de métodos de inteligencia artificial al análisis visual exploratorio: el desarrollo sostenido y masivo de soluciones basadas en IA posibilita la formulación de herramientas de análisis visual inteligentes para la exploración de datos derivados del *eye tracking*. Existe un nuevo enfoque vinculado al uso de modelos generativos como mecanismos de asistencia en la creación, personalización y recomendación de diversas técnicas de visualización. Esto posibilita que estas nuevas herramientas puedan añadir al pipeline de analítica visual las capacidades que ofrecen dichos modelos y ofrecer soluciones más inteligentes.

Evaluación integral de una técnica en múltiples escenarios: si bien una técnica de visualización para *eye tracking* está condicionada por el tipo de tarea a realizar, aún existe un extenso campo de investigación respecto a su impacto en diferentes escenarios. Es decir, es fundamental determinar si una técnica originalmente diseñada para una tarea específica puede extenderse o adaptarse a otra completamente distinta. La evaluación integral de las técnicas en múltiples escenarios permitirá identificar debilidades y fortalezas de cada una, a fin de poder establecer qué aspectos deberán valorarse al momento de realizar la adaptación entre tareas.