

# Técnicas de Análisis de Información en Neurociencias Aplicadas

Juan I. Larregui<sup>(1,6)</sup>, Juan A. Biondi<sup>(1,2,4)</sup>, Gerardo Fernández<sup>(2,4)</sup>, Marcela Schumacher<sup>(2,4)</sup>,  
David Orozco<sup>(4,5)</sup>, Liliana R. Castro<sup>(2,3,4)</sup>, Silvia M. Castro<sup>(1,4,6)</sup>, Osvaldo Agamennoni<sup>(2,4)</sup>

juan.larregui@cs.uns.edu.ar, juan.biondi@uns.edu.ar, gerardo.fernandez@uns.edu.ar,  
schumachermarcela@gmail.com, davidorozco@live.com, lcastro@uns.edu.ar, smc@cs.uns.edu.ar,  
oagamen@uns.edu.ar

- <sup>(1)</sup> VyGLab, Dpto. de Cs. e Ing. de la Computación, Universidad Nacional del Sur  
<sup>(2)</sup> Instituto de Investigación en Ingeniería Eléctrica (IIIE)  
<sup>(3)</sup> Dpto. de Matemática, Universidad Nacional del Sur  
<sup>(4)</sup> Grupo de Investigación y Desarrollo en Procesos Cognitivos,  
 Universidad Nacional del Sur  
<sup>(5)</sup> Clínica Privada Bahiense, Bahía Blanca  
<sup>(6)</sup> Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación (ICIC)

## RESUMEN

Determinar cuál es la información más relevante de un conjunto de datos es una tarea fundamental en su proceso de análisis. En grandes conjuntos de datos multidimensionales es crucial poder determinar cuáles son las dimensiones más relevantes que caracterizan el conjunto de datos con una mínima pérdida de información en dicha transformación; esto es relevante tanto desde el punto de vista del análisis computacional como desde el visual. Para ello, se aplican técnicas de *reducción dimensional*. Otro aspecto importante es la determinación de características distintivas de los subconjuntos para su posterior diferenciación. Este proceso es conocido como *extracción de características*.

El seguimiento de los movimientos oculares (*eye tracking*) permite evaluar la información adquirida por una persona durante la lectura u observación de una imagen. Durante ambos procesos, el ojo realiza movimientos en las cuales la información es adquirida para luego ser interpretada por el cerebro. El *eye-tracker* registra y graba tanto información relativa a los movimientos como el tiempo que necesita la persona para procesar la información. Esta

técnica es utilizada en disciplinas muy diversas vinculadas a la evaluación de los procesos cognitivos que se desarrollan en el ser humano. Los *eye-tracker* son en general dispositivos de un costo muy elevado y que requieren una calibración para su uso. Dependiendo de la aplicación que se le quiera dar a la información extraída o de la patología del sujeto de estudio, a veces no es posible realizar este proceso.

Nuestro grupo de investigación actualmente trabaja en técnicas de *reducción dimensional*, *visualización* y *extracción de características* además de en la utilización de estas técnicas para diseñar y desarrollar *eye-trackers* de bajo costo, independientes de la posición y libres de calibración.

**Palabras clave:** *eye-tracking*, *reducción dimensional*, *extracción de características*, *análisis visual*.

## CONTEXTO

Parte de este trabajo se desarrolla en el contexto de la línea de investigación Identificación y Desarrollo en Procesos Cognitivos. El grupo está integrado por becarios e investigadores del Dpto. de Matemática, del Dpto. de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras pertenecientes al Instituto

de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica (IIIE) y del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Visualización y Computación Gráfica (VyGLab) del Dpto. de Ciencias e Ingeniería de la Computación, todos ellos pertenecientes a la Universidad Nacional del Sur.

La línea de Investigación presentada está inserta en el Proyecto PICT 2013 0403 *Evaluación del desempeño cognitivo a través del comportamiento ocular*, Categoría: Plan Argentina Innovadora 2020. Tipo: A, dirigido por el Dr. Osvaldo Agamennoni y financiado por la ANPCyT. También se encuentra inserta en el proyecto acreditado *Análisis Visual de Grandes Conjuntos de Datos (24/N037)*, dirigido por la Dra. Silvia Castro y financiado por la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur.

## 1. INTRODUCCIÓN

El *eye-tracker* es un dispositivo no invasivo que permite, mediante la grabación de los movimientos oculares, el diagnóstico temprano de enfermedades neurodegenerativas [1], [6], [9]. La detección temprana de diversas enfermedades neurodegenerativas permite, en muchos casos, prolongar una calidad de vida razonable para el paciente y el entorno familiar, como así también reducir el costo asistencial.

Lograr avances en el conocimiento sobre el modelado de los movimientos oculares en el proceso de lectura y de observación de una escena o imagen nos permitirá ahondar en el conocimiento de las estrategias que utiliza el cerebro cuando procesa información. Definir nuevos y mejores modelos que permitan tener en cuenta aspectos fisiológicos del sistema óculo-motor permitirá efectuar mejores predicciones sobre tales comportamientos. Dado que esta información es inherentemente multi-dimensional, resulta necesario contar con técnicas que permitan conocer cuáles de ellas son los que mejor la representan; además, es de suma importancia poder encontrar patrones distintivos que nos

permitan diferenciar distintas patologías que podrían estar afectando al cerebro.

Entre las diversas patologías, hay algunas en las que los pacientes no soportan el uso de medidas de fijación (por ejemplo en autismo). En estos casos, es de suma importancia que los dispositivos de adquisición no requieran su uso, haciendo necesario contar con dispositivos que no requieran calibración.

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

En la línea de investigación planteada en este trabajo se pretende avanzar en la búsqueda de metodologías que permitan una evaluación objetiva (no dependiente del profesional que la efectúa), sin someter a estrés a la persona evaluada, y no invasiva (se registran los movimientos oculares con una cámara de video de alta velocidad) que posibiliten detectar Deterioro Cognitivo Leve (DCL) o incipiente [1]. De esta manera se pretende facilitar la determinación de deterioro cognitivo normal por edad del producido por otras patologías neurodegenerativas y, posteriormente, el seguimiento temporal periódico del paciente. Para esto, se prevé el uso de técnicas de análisis multirresolución y de reducción dimensional de grandes conjuntos de datos y la extracción de características distintivas de la misma para su posterior análisis y visualización. Para esto se plantea utilizar técnicas de *machine learning*, en particular *sparse autoencoders* [12] y análisis mediante la transformada *curvelet* [11], de manera de encontrar las dimensiones representativas de un conjunto de datos. Además, se plantea la visualización de esta información como parte esencial del proceso.

Constituye otra línea de investigación la utilización de técnicas de *extracción de características* en imágenes para el diseño y el desarrollo de dispositivos *eye-tracker* de bajo costo, independientes de la posición y libres de calibración.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

En el grupo de trabajo se desarrolló un método orientado al diagnóstico y medición del deterioro cognitivo temprano a partir del modelado del movimiento ocular durante el proceso de lectura ([2], [5], [6], [7], [8], [9]). Se desarrollaron diversos modelos del comportamiento ocular que permiten evaluar la manera en que personas sanas y pacientes en una fase muy temprana de la enfermedad procesan información durante la lectura. Para ello se diseñó el material de estímulo apropiado que permitió medir el desempeño de la memoria ejecutiva, de la memoria de trabajo, de la memoria semántica y de la memoria de recuperación (*retrieval memory*).

A partir de este trabajo de investigación se analizaron distintos aspectos de la problemática del DCL o incipiente. Se estudiaron los efectos de la predictibilidad de las palabras actualmente fijada y de las entrantes (que no son necesariamente las inmediatas siguientes) sobre la duración de la fijación. Cuando una oración es leída por lectores sanos, se generan expectativas y se realizan predicciones sobre las palabras entrantes reduciendo luego el tiempo de fijación ocular sobre tales palabras. Tales fijaciones permiten evaluar el funcionamiento de la memoria de trabajo, de la memoria semántica y de la memoria de recuperación, entre otras facultades. Esta capacidad predictiva se distorsiona, por ejemplo, durante los primeros estadios de la enfermedad de Alzheimer [7].

Se analizó el efecto de la previsibilidad contextual de una oración en el comportamiento del movimiento ocular de los pacientes con enfermedad de Alzheimer leve, en comparación con los controles de la misma edad, utilizando la técnica de *eye-tracking* y modelos lineales de efecto mixto [8]. Los resultados de este trabajo indican que es posible hacer el diagnóstico temprano del deterioro cognitivo típico de una enfermedad tipo Alzheimer [1] y, por otro lado, que existe

un amplio margen de variación en dicho comportamiento sobre el cual es importante concentrar el estudio, con el fin de evaluar la posibilidad de hacer una detección antes de llegar a la etapa Prodrómica.

Nuestro objetivo es utilizar esta capacidad de abordaje sobre temáticas de modelado, representación y visualización de la información al caso particular del sistema oculomotor a los efectos de vincular los aspectos sistémicos funcionales con los fisiológicos y cognitivos.

Una de las primeras actividades previstas es definir una serie de marcadores que muestren claramente el desempeño cognitivo vinculado a los aspectos atencionales, de funcionamiento de la memoria de trabajo, la memoria ejecutiva y la memoria semántica. Se estudiarán diversas formulaciones de los mismos con el fin de contar con un conjunto que permita describir, de la mejor manera posible, los distintos aspectos de la capacidad cognitiva de una persona. Para ello se utilizarán también técnicas que permitan cuantificar la incertidumbre de los modelos [15] a los efectos de mejorar progresivamente las estimaciones a medida que se adquieran nuevos datos y poder estimar con la mayor precisión posible un DCL ocasionado por la EA.

Con el objetivo de facilitar el análisis de la información disponible y su desarrollo temporal por parte de los profesionales de la salud, se estudiarán y evaluarán distintas alternativas de visualización de la misma ([3], [4]).

De acuerdo al estado del arte, la información es obtenida por medio de dispositivos costosos que requieren de cooperación del sujeto bajo estudio para ser calibrados. En contextos prácticos, esta fase de calibración no siempre es posible debido a la naturaleza de la enfermedad del paciente. La habilidad de medir automáticamente variables relacionadas al comportamiento utilizando sentido basado en *visión computacional* puede ser valiosa a la hora de permitir obtener información relacionada con

el comportamiento del sujeto bajo estudio sin requerir intervención humana sustancial. Tecnologías como *behaviour imaging* pueden ser utilizadas en varios casos en un instrumento de medición dado que aportan herramientas de bajo costo computacional para manejar grandes cantidades de datos de video e información de otras fuentes obtenida durante las sesiones. En particular, puede permitir la síntesis, visualización y comparación de la información observada entre poblaciones y a través del tiempo, de una manera que no resulta posible mediante métodos manuales [13]. Para explorar esta línea de investigación sin renunciar a tomar en cuenta todos los casos particulares donde un *eye-tracker* no está disponible y/o el usuario no puede cooperar en la fase de calibración, puede ser utilizado un dispositivo menos preciso pero de bajo costo, no invasivo, seguro y libre de calibración.

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El Dr. Agamennoni y la Dra. Liliana Castro son especialistas en el área de desarrollo de modelos determinísticos y de los límites de incertidumbre de los mismos. La Dra. Silvia Castro trabaja en el área de Visualización. El Dr. Gerardo Fernández trabaja en el modelado de los movimientos oculares y su utilización en el desarrollo de técnicas de diagnóstico de deterioro cognitivo. La Farm. Marcela Schumacher realiza tareas vinculadas con la evaluación de la técnica de diagnóstico temprano de deterioro cognitivo y el Dr. David Orozco realiza actividades vinculadas con los aspectos médicos. El Ing. Juan Larregui trabaja en análisis multirresolución y procesamiento de imágenes. El Ing. Juan Biondi trabaja en aspectos computacionales del desarrollo de los tests y en el diseño y desarrollo de las visualizaciones adecuadas y en el desarrollo de técnicas de reducción dimensional.

#### Tesis en Desarrollo

##### Tesis de Doctorado en Ciencias de la Computación

- Juan I. Larregui. Tema: *Reconstrucción 3D en Tiempo Real*. Dirección: Dra. Silvia Castro.
- Juan A. Biondi. *Desarrollo de Modelos del Comportamiento Ocular*. Dirección: Dra. Silvia Castro, Dr. Osvaldo Agamennoni.

##### Becarios

- Juan I. Larregui. Becario CONICET, Beca Interna Doctoral.
- Juan A. Biondi. Becario PICT.

##### Cursos de Pre/Post grado relacionados con el tema de la línea de Investigación dictados por integrantes del Grupo de Trabajo

###### Cursos de Pregrado

- *Wavelets de primera generación: Una introducción*. Materia optativa para los estudiantes de la Licenciatura en Matemática. Dto. de Matemática. UNS.
- *Procesamiento de Imágenes*. Materia optativa para los estudiantes de la Ingeniería en Sistemas de Computación. UNS.
- *Teoría de Sistemas Lineales*. UNS.

###### Cursos de Posgrado

- *Introducción a la teoría de wavelets y sus aplicaciones*. Liliana Castro. Secretaría de Posgrado y Educación Continua. UNS.
- *Aplicaciones de wavelets* Seminario. Liliana Castro. Secretaría de Posgrado y Educación Continua. UNS.
- *Modelación de Sistemas*. Osvaldo Agamennoni. Secretaría de Posgrado y Educación Continua. UNS.
- *Procesamiento y Análisis de Imágenes*. Silvia Castro, Secretaría de Posgrado y Educación Continua. UNS.
- *Visualización de Grandes Conjuntos de Datos*. Silvia Castro, Luján Ganuza.

Secretaría de Posgrado y Educación Continua. UNS.

- *Introducción al Análisis Funcional y a la Teoría de Operadores*. Liliana Castro. Dto. de Matemática. UNS.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alberta, M.S., DeKosky, S.T., Dickson, D., Duboise, B., Feldman, H., Fox, M., Gamst, A., Holtzman, D.M., Jagust, W.J., Petersen, R.C., Snyder, P.J., Carrillo, M. C., Thies, B., Phelps, C.H. *The diagnosis of mild cognitive impairment due to Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease*. *Alzheimer's & Dementia*. Vol 7, pp: 270–279. 2011.
- [2] Alvarez, M., Castro, L., Agamennoni, O. *Set Membership Estimation Theory for Wiener Modelling using HLCPWL Functions*. *International Journal of Modelling, Identification and Control*. Vol 14, pp 13-26. 2011.
- [3] Card, S., Mackinlay, J., Shneiderman, B., *Readings in Information Visualization – Using Vision to Think*, M. K., 1999.
- [4] Escarza, S., Larrea, M., Urribarri, D., Martig, S., Castro, S., *Integrating Semantics in the Visualization Process*. En *Scientific Visualization: Interactions, Features, Metaphors*, Dagstuhl FOLLOW-UPS Series Hans Hagen Ed., Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum für Informatik. Dagstuhl, Alemania, 2, 92-102, Vol2, 2011.
- [5] Fernández, G., Biondi, J., Castro, S., Agamennoni, O. *Pupil size behavior during on line processing of sentences*. *Journal of Integrative Neuroscience*, 2017.
- [6] Fernández, G., Castro, L., Schumacher, M., Agamennoni, O. *Diagnosis of mild Alzheimer Disease through the Analysis of Eye Movements during Reading*. *Journal of Integrative Neuroscience*. 2015.
- [7] Fernández G., Laubrock J., Mandolesi P., Colombo O., Agamennoni O. *Registering eye movements during reading in Alzheimer disease: difficulties in predicting upcoming words*. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*. Vol. 36, Iss. 3, pp: 302-316. 2014.
- [8] Fernandez G., Manes F., Rotstein N., Colombo O., Mandolesi P., Politi L., Agamennoni O. *Lack of contextual-word predictability during reading in patients with mild Alzheimer disease* *Neuropsychologia*, Vol 62, pp 143-151. 2014.
- [9] Fernández G., Schumacher M., Mandolesi P., Colombo O., Castro L., Agamennoni O. *Eye movement behavior during reading in patients with probable Alzheimer disease*. Presentado en la 17<sup>th</sup> European Conf. of Eye Movements (ECEM), Lund, Suecia, 2013.
- [10] Kliegl, R., Nuthmann, A., Engbert, R. *Tracking the mind during reading: The influence of past, present, and future words on fixation durations*. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135, 12-35. 2006.
- [11] Larregui, J.I., Castro, L.R., Castro, S.M., *Curvelet Transform for Bovine Iris Segmentation*, V Congreso de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial, 2015.
- [12] NG, Andrew. *Sparse autoencoder*. CS294A Lecture notes. 2011.
- [13] Rehg, J. M. (2011, June). *Behavior Imaging: Using Computer Vision to Study Autism*. In *MVA* (pp. 14-21).
- [14] Sigut, J., Piñeiro, J., González, E., Torres, J. *An expert system for supervised classifier design: Application to Alzheimer diagnosis*. *Expert Systems with Applications* 32 927–938. 2007.
- [15] Uusitalo L., Lehtikoinen A., Helle I., Myrberg K. *An overview of methods to evaluate uncertainty of deterministic models in decision support*. *Environmental Modelling & Software* Vol: 63, pp: 24-31. 2015.