



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

TESIS DE DOCTOR EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Modelos computacionales de movimiento ocular

Juan Andrés Biondi

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2020



# Prefacio

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Ciencias de la Computación, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación durante el período comprendido entre el 15/05/2015 y el 14/09/2020, bajo la dirección de la Dra. Silvia Mabel Castro y el Dr. Osvaldo Agamennoni.



Juan Andrés Biondi



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el **11/02/2021**, mereciendo la calificación de **10 (Diez)**



## Resumen

El análisis de los movimientos oculares constituye un importante desafío dada la gran cantidad de información presente en los mismos. Estos movimientos proveen numerosas claves para estudiar diversos procesos cognitivos considerando, entre otros aspectos, el modo y el tiempo en que se codifica la información y qué parte de los datos obtenidos se usan o se ignoran.

Avanzar en el entendimiento de los procesos involucrados en tareas de alta carga cognitiva puede ayudar en la detección temprana de enfermedades neurodegenerativas tales como el mal de Alzheimer o el de Parkinson. A su vez, la comprensión de estos procesos puede ampliar el abordaje de una gran variedad de temas vinculados con el modelado y control del sistema oculomotor humano.

Durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral se llevaron a cabo tres experimentos que utilizan técnicas de *deep-learning* y *modelos lineales de efecto mixto* a fin de identificar patrones de movimiento ocular a partir del estudio de situaciones controladas.

La primera experiencia tiene como objetivo diferenciar adultos mayores sanos de adultos mayores con posible enfermedad de Alzheimer, utilizando *deep-learning* con *denoise-sparse-autoencoders* y un clasificador, a partir de información del movimiento ocular durante la lectura. Los resultados obtenidos, con un 89,8 % de efectividad en la clasificación por oración y 100 % por sujeto, son satisfactorios. Esto sugiere que el uso de esta técnica es una alternativa factible para esta tarea.

La segunda experiencia tiene como objetivo demostrar la factibilidad de la utilización de la dilatación de la pupila como un marcador cognitivo, en este caso mediante *modelos lineales de efecto mixto*. Los resultados indican que la dilatación se ve influenciada por la carga cognitiva, la semántica y las características específicas de la oración, por lo que representa una alternativa viable para el análisis cognitivo.

El tercero y último experimento tiene como objetivo comprobar la efectividad de la utilización de redes neuronales recurrentes, con unidades *LSTM*, para lograr una clasificación efectiva en rangos etarios correspondientes a jóvenes sanos y adultos mayores sanos, a partir del análisis de la dinámica de la pupila. Los resultados obtenidos demuestran que la utilización de esta técnica tiene un alto potencial en este campo logrando clasificar jóvenes vs. adultos mayores con una efectividad media por oración de 76,99 % y una efectividad media por sujeto del 90,24 %, utilizando información del ojo derecho o información binocular.

Los resultados de estos estudios permiten afirmar que la utilización de técnicas de *deep learning*, que no han sido exploradas para resolver problemas como los planteados utilizando *eye-tracking*, constituyen un gran área de interés.



## Abstract

The eye movement analysis is a major challenge given the large amount of information present in them. These movements provide numerous keys to study various cognitive processes considering, among other aspects, the way and time in which the information is encoded and what part of the obtained data is used or ignored.

Advancing in the understanding of the processes involved in tasks of high cognitive load may help in the early detection of neurodegenerative diseases such as Alzheimer's or Parkinson's disease. At the same time, understanding these processes can broaden the approach to a wide variety of topics related to the modeling and control of the human oculomotor system.

During the development of this PhD thesis, three experiments were carried out using *deep-learning* techniques and *linear mixed models* in order to identify eye movement patterns from the study of controlled situations.

The first experiment aims to differentiate healthy older adults from older adults with possible Alzheimer's disease, using *deep-learning* with *denoise-sparse-autoencoders* and a classifier, based on information of eye movement during reading. The obtained results are satisfactory with 89,8% effectiveness in sentence-wise classification and 100% subject-wise. This suggests that the use of this technique is a feasible alternative for the task.

The second experience aims to demonstrate the feasibility of using pupil dilation as cognitive marker, in this case using *linear mixed models*. The results indicates that pupil dilation is influenced by cognitive load, semantics and the specific characteristics of the sentence, thus being a viable alternative for cognitive analysis.

The third and last experiment aims to verify the effectiveness of the use of *recurrent neural networks*, with *LSTM* units for the analysis of pupil dynamics and to proceed to the effective classification in age ranges corresponding to healthy young people and healthy older adults. The obtained results show that the use of this technique has a high potential in this field, achieving a classification of young vs. older adults with an average effectiveness per sentence of 76,99% and an average effectiveness per subject of 90,24%, using information from the right eye or binocular information.

The results of these studies allow us to affirm that the use of *deep learning techniques*, which have not been explored to solve problems such as those posed in the *eye-tracking* field, constitute a great area of interest.