



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

AUTOR: Alberto Martín de la Sierra Rodríguez Bobada

TUTOR: Mariano Luis Alcañiz Raya

COTUTORES: Roberto Llorens Rodríguez
Anny Michelle Maza Pino

Curso Académico: 2019-20

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por ser gran mi apoyo y ayudarme a conseguir todo lo que me propongo, acompañándome e incentivándome siempre a sacar lo mejor de mí.

A todas y cada una de las personas que son importantes en mi vida, a las cuales considero pilares fundamentales, y que han sabido escucharme, animarme y darme buenos consejos en todo momento.

A mis tutores, Anny y Roberto, por su dedicación y paciencia conmigo, y por animarme siempre en la realización del trabajo. De vosotros he aprendido responsabilidad y dedicación para conseguir buenos resultados ante cualquier reto.

A mis amigos, con los que he tenido la suerte y el placer de compartir estos cuatro años de carrera. Nos hemos convertido en una gran familia y dejáis un poso en mí y en mi corazón imborrable. Con mención especial a vosotros, BioR.

A todos los participantes, por dedicar parte de su tiempo a la realización del estudio y contribuir así a la investigación de este tipo de lesión.

RESUMEN

El reconocimiento de emociones es una habilidad innata en los seres humanos. A nivel social, dicha capacidad es crucial a la hora de establecer relaciones sociales e interpersonales. Tras la aparición de un accidente cerebrovascular, también conocido como ictus, esta habilidad puede verse mermada pudiendo, por tanto, afectar a la correcta integración en la sociedad de esta población. A pesar de que en la vida cotidiana la información necesaria para la adecuada discriminación entre emociones proviene simultáneamente de diferentes vías tanto verbales como no verbales, el canal visual es uno de los que más información aporta. El desarrollo de dispositivos de *eye-tracking* ha facilitado el estudio de la exploración visual durante el reconocimiento de emociones en sujetos sanos. Sin embargo, se desconoce si esta exploración visual se podría ver alterada tras la aparición de un daño cerebral. El objetivo del presente Trabajo de Fin de Grado consiste en el análisis de la exploración visual y la dilatación pupilar durante el reconocimiento de emociones y el estado mental requeridos en el *Reading the Eyes in the Mind Test* (Baron-Cohen, 2001) en una muestra de sujetos sanos y con ictus con la finalidad de comparar posibles discrepancias en la habilidad de detección de emociones, así como cambios en la actividad ocular entre ambas muestras. Los resultados del estudio nos indican que sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos en la categorización de emociones durante el test, presentando el grupo de sujetos con ictus mayores dificultades en el desempeño que los sujetos sanos. Estas diferencias parecen deberse a un deterioro en el posterior procesamiento neurológico y cognitivo a nivel cerebral de la información extraída del test, puesto que los mecanismos y procesos de adquisición de dicha información no están alterados y no son significativamente diferentes a los del grupo de sujetos sanos.

Palabras clave: detección de emociones; ictus; patrón visual; respuesta pupilar; *eye-tracking*.

RESUM

El reconeixement d'emocions és una habilitat innata en els éssers humans. A nivell social, aquesta capacitat és crucial a l'hora d'establir relacions socials i interpersonals. Després de l'aparició d'un accident cerebrovascular, també conegut com ictus, aquesta habilitat pot veure's minvada podent, per tant, afectar la correcta integració en la societat d'aquesta població. A pesar que en la vida quotidiana la informació necessària per a l'adequada discriminació entre emocions prové simultàniament de diferents vies tant verbals com no verbals, el canal visual és un dels quals més informació aporta. El desenvolupament de dispositius de *eye-tracking* ha facilitat l'estudi de l'exploració visual durant el reconeixement d'emocions en subjectes sans. No obstant això, es desconeix si aquesta exploració visual es podria veure alterada després de l'aparició d'un dany cerebral. L'objectiu del present Treball de Fi de Grau consisteix en l'anàlisi de l'exploració visual i la dilatació pupil·lar durant el reconeixement d'emocions i l'estat mental requerits en el *Reading the Eyes in the Mind Test* (Baron-Cohen, 2001) en una mostra de subjectes sans i amb ictus amb la finalitat de comparar possibles discrepàncies en l'habilitat de detecció d'emocions, així com canvis en l'activitat ocular entre totes dues mostres. Els resultats de l'estudi ens indiquen que sí que existeixen diferències estadísticament significatives entre els dos grups en la categorització d'emocions durant el test, presentant el grup de subjectes amb ictus majors dificultats en l'acompliment que els subjectes sans. Aquestes diferències semblen deure's a una deterioració en el posterior processament neurològic i cognitiu a nivell cerebral de la informació extreta del test, ja que els mecanismes i processos d'adquisició d'aquesta informació no estan alterats i no són significativament diferents als del grup de subjectes sans.

Paraules clau: detecció d'emocions; ictus; patró visual; resposta pupil·lar; *eye-tracking*.

ABSTRACT

Recognition of emotions is an innate skill in human beings. On a social level, it is crucial in establishing social and interpersonal relationships. After the onset of a stroke, also known as ictus, this ability can be impaired and can therefore affect the proper integration of this population into society. Despite the fact that in everyday life the information necessary for proper discrimination between emotions comes simultaneously from different verbal and non-verbal channels, the visual channel is one of the most informative. The development of eye-tracking devices has facilitated the study of visual exploration during the recognition of emotions in healthy subjects. However, it is unknown whether this visual exploration could be altered after the appearance of brain damage. The aim of this End of Degree work consists of the analysis of visual exploration and pupil dilation during the recognition of emotions and mental state required in the Reading the Eyes in the Mind Test (Baron-Cohen, 2001) in a sample of healthy subjects and individuals with stroke in order to compare possible discrepancies in the ability to detect emotions, as well as changes in eye activity between both samples. The results of the study indicate that there are statistically significant differences between the two groups in the categorisation of emotions during the test, with the group of subjects with stroke having greater difficulties in performance than the healthy subjects. These differences seem to be due to an impairment in the subsequent neurological and cognitive processing at brain level of the information extracted from the test, since the mechanisms and processes of acquisition of such information are not altered and are not significantly different from those of the group of healthy subjects.

Keywords: emotion detection; stroke; visual pattern; pupil response; eye-tracking.

ÍNDICE

CONTENIDOS

MEMORIA

PRESUPUESTO

MEMORIA

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Introducción | 8 |
| 1.1. | Cognición social y teoría de la mente | 8 |
| 1.1.1. | Test de evaluación de cognición social y teoría de la mente | 11 |
| 1.1.2. | Otros test de evaluación de cognición social | 12 |
| 1.2. | Ictus | 14 |
| 1.2.1. | Incidencia y prevalencia de los ictus | 16 |
| 1.2.2. | Secuelas de un ictus en cognición social y teoría de la mente | 17 |
| 1.3. | Hipótesis y objetivos | 20 |
| 1.4. | Estructura del trabajo..... | 21 |
| 2. | Materiales y métodos | 22 |
| 2.1. | Participantes..... | 22 |
| 2.2. | Materiales | 23 |
| 2.2.1. | <i>Reading the Mind in the Eyes Test</i> | 23 |
| 2.2.2. | Sistema de registro del patrón visual..... | 25 |
| 2.2.3. | Aplicaciones..... | 26 |
| 2.3. | Procedimiento | 27 |
| 2.4. | Análisis de los datos | 27 |
| 2.4.1. | Análisis del comportamiento visual | 28 |
| 2.4.2. | Análisis de la actividad pupilar | 29 |
| 2.4.3. | Creación de la matriz de datos y parámetros finales | 32 |
| 2.4.4. | Análisis estadístico | 33 |
| 3. | Resultados del estudio | 34 |
| 3.1. | Diferencias en las respuestas de los sujetos control y pacientes con ictus | 34 |
| 3.2. | Diferencias en el comportamiento visual de los sujetos control y pacientes con ictus... .. | 34 |
| 3.3. | Diferencias en la actividad pupilar de los sujetos control y pacientes con ictus | 37 |

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS
Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

| | | |
|------|---|----|
| 4. | Discusión de los resultados | 38 |
| 4.1. | Diferencias en la categorización de emociones | 38 |
| 4.2. | Diferencias en el comportamiento visual | 39 |
| 4.3. | Diferencias en la actividad pupilar | 40 |
| 5. | Conclusiones..... | 41 |

PRESUPUESTOS

| | | |
|------|----------------------------------|----|
| 1. | Introducción | 43 |
| 2. | Presupuestos parciales..... | 43 |
| 2.1. | Mano de obra..... | 43 |
| 2.2. | <i>Software</i> | 44 |
| 2.3. | <i>Hardware</i> | 44 |
| 3. | Presupuesto final..... | 46 |
| | Referencias y bibliografía | 47 |



MEMORIA



1. Introducción

1.1. Cognición social y teoría de la mente

Las personas son seres sociales por naturaleza y necesitan de la interacción con los demás para conformar su propia personalidad, su forma de pensar y su forma de actuar ante determinadas situaciones. Esta cualidad, que es innata al ser humano, permite un desarrollo pleno como personas dentro de la sociedad, y se puede definir como cognición social. La cognición social es el conjunto de procesos cognitivos y emocionales mediante los cuales se interpreta, se analiza, se recuerda y se emplea la información adquirida sobre el mundo social y las relaciones personales. (González Rey, 2008).

La cognición social se va desarrollando de manera progresiva desde las primeras fases de nuestra vida, prácticamente desde el momento de nuestro nacimiento, y es la responsable, entre otras funciones, de cómo los seres humanos perciben emociones propias y de los otros. Esto es muy importante y significativo, ya que permite que se pueda entender bien lo que piensan los demás en determinadas situaciones, evaluar mentalmente las interacciones interpersonales y, sobre todo, realizar acciones sociales adecuadas dentro de un entorno determinado (*La Importancia de La Cognición Social | Psyciencia*, n.d.).

Es por estas características tan ligadas al ser humano, por lo que actualmente se presta especial atención a este procesamiento y a su evaluación; generando gran interés en el ámbito científico sobre todo en el área de la salud mental. La neurociencia cognitiva social es un campo novedoso de investigación interdisciplinaria que examina los procesos emocionales y cognitivos necesarios para adentrarse en el mundo social humano enfatizando los sustratos neuronales subyacentes a estos procesos. Existen múltiples teorías distintas sobre los dominios de la cognición social, que reflejan su complejidad e interdisciplinaria. Estas diversas teorías concuerdan en que los procesos involucrados en la cognición social no ocurren en un orden secuencial sino de manera recursiva e interrelacionada; que las regiones del cerebro no están asociadas con una sola, sino probablemente con múltiples funciones sociales; y que las regiones cerebrales están organizadas en redes, que interactúan dinámicamente entre sí (Sollberger et al., 2010).

A nivel anatómico y funcional, se puede localizar a la cognición social entre una de las funciones del lóbulo frontal; y más concretamente, de la corteza prefrontal. Es donde se localizan las funciones ejecutivas y varios aspectos de la conducta humana, y de esta manera, es desde esta área donde se planean, se controlan y se regulan los procesos psicológicos. Se pueden coordinar y seleccionar procesos y optar por diferentes opciones, en cuanto a las diferentes conductas posibles para la resolución de un mismo problema. En esta área cerebral se localiza la influencia de las motivaciones e intereses para llegar a determinada meta. Es decir, el sistema integrativo del lóbulo frontal es donde, a modo pedagógico, se encuentran las formas complejas del ser humano, sus pensamientos y sus conductas en base a unos reconocimientos emocionales (Flores Lázaro & Ostrosky-Solís, 2008).

Dentro de la literatura podemos encontrar varias definiciones de cognición social (García Ferrer et al., 2006):

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

- “Procesos implicados en cómo la gente piensa sobre ella misma, otras personas, situaciones sociales e interacciones”.
- “Conjunto de operaciones mentales que subyacen en las interacciones sociales, y que incluyen los procesos implicados en la percepción, interpretación, y generación de respuestas ante las intenciones, disposiciones y conductas de otros.”
- “Procesos y funciones que permiten a la persona entender, actuar y beneficiarse del mundo interpersonal.”

Dentro de la cognición social, también se puede hacer una serie de distinciones entre las áreas y funciones que encontramos dentro de ella, y estas son: el procesamiento emocional (cómo percibimos y reconocemos las emociones, por ejemplo las emociones básicas según los rostros que vemos), la teoría de la mente (ToM, por sus siglas en inglés) o la también llamada empatía cognitiva (la realización de inferencias sobre estados mentales), la percepción social (la valoración que hacemos de los estímulos sociales) y el estilo atribucional (la capacidad para hacer valoraciones positivas o negativas de determinado suceso o situación) (García Ferrer et al., 2006).

La base de la cognición social son las emociones. Ser capaz de reconocer emociones en los otros y captar y anticipar su forma de actuar permite adecuar la propia conducta en función de estas emociones captadas, expresando un comportamiento apropiado y una integración social óptima (Moliner Muñoz, n.d.).

La cognición social supone, por tanto, una capacidad neurocognitiva diferencial, personal y característica de cada individuo, y a su vez, un dominio neurocognitivo de reconocido valor diagnóstico. Es una cualidad que permite a los seres humanos un desarrollo emocional y social pleno, y facilita la interrelación con los demás de una manera óptima. El lóbulo frontal, por tanto, puede considerarse el “centro ejecutivo del cerebro”, con lo cual un fallo en este sistema o la alteración de este podría presentar altas consecuencias en la conducta, en la regulación de las emociones y en la metacognición, concepto que se refiere a la capacidad de las personas para reflexionar sobre sus procesos de pensamiento y la forma en la que aprenden. Además, esta está muy relacionada con la cognición ya que es necesaria para las personas porque les permite planificar y tomar decisiones de forma fundamentada sobre asuntos de sus vidas en general. Dichas dificultades se encuentran por ejemplo de manera muy significativa en algunos accidentes cerebrovasculares, como por ejemplo en el caso de los ictus, de los cuales se hablará con más detalle en el siguiente apartado (Flores Lázaro & Ostrosky-Solís, 2008).

Por otra parte, y como se ha nombrado anteriormente, un concepto muy importante y que está íntimamente relacionado con la cognición social y los procesos neurológicos es la Teoría de la Mente. El origen del concepto de teoría de la mente se encuentra en los trabajos pioneros de Premack y Woodruff (Premack & Woodruff, 1978). En ellos, se pretendía evaluar si los chimpancés eran capaces de comprender la mente humana. Para ello, le mostraron al chimpancé Sarah, con el que estaban experimentando, vídeos en los que se veía a sus cuidadores encerrados en una jaula. Estos pretendían coger un plátano, que en algunos casos estaba colgando del techo y en otros casos estaba fuera de la jaula, pero siempre fuera del alcance del cuidador. En ese momento, se paraba el vídeo y se mostraba al chimpancé dos imágenes, una con cada tipo de solución: en una podíamos ver una banqueta para alzarse y en la otra se podía ver un palo largo manipulable a través de los barrotes para poder coger el plátano. El chimpancé

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

La experiencia clínica señala que las lesiones ubicadas en esta área del cerebro producen alteraciones neurológicas importantes, afectación del lenguaje no verbal, incapacidad para comprender el sarcasmo o la ironía, incapacidad de empatizar y, en definitiva, todas aquellas capacidades que impliquen inferencias o atribuciones. Sin embargo, otros modelos han incluido a otras estructuras como la amígdala en los modelos explicativos de la teoría de la mente como parte de una red distribuida que incluye otras regiones del lóbulo temporal, los lóbulos frontales y la corteza cingulada anterior (Tirapu-Ustárrroz et al., 2007).

En general, y a modo de conclusión, la visión actual de la teoría de la mente es la de una capacidad para saber, inferir, lo que otra persona piensa o siente, y, así, explicar por qué se comporta de un determinado modo.

1.1.1. Test de evaluación de cognición social y teoría de la mente

En la actualidad existen numerosas pruebas que tratan, en mayor o menor medida y con mayor o menor éxito, de evaluar la cognición social y la teoría de la mente. En este punto se introducirán los test más importantes y significativos, concretamente el que se utiliza en este trabajo de final de grado, conocido como *Reading the Mind in the Eyes Test* (RMET).

En gran parte de estas pruebas, uno de los aspectos que siempre se trata de evaluar es el adecuado reconocimiento de emociones por parte de los participantes, cuya importancia es relevante en cognición social, como se ha explicado anteriormente. El procesamiento emocional hace referencia a la capacidad humana de expresar, reconocer y manejar emociones, los cuales, son aspectos muy importantes ya que la correcta expresión y reconocimiento de estas emociones implican la percepción e integración de otros aspectos cognitivos y sociales, como pueden ser los rasgos faciales, la voz y el lenguaje corporal. En último término, el objetivo de un correcto procesamiento emocional es el manejo adecuado de las emociones por parte de las personas en sus relaciones sociales (*Evaluación de La Cognición Social*, n.d.).

Un claro ejemplo de prueba en la que se evalúa el procesamiento emocional es el conocido como *Reading the Mind in the Eyes Test* (RMET) (S. Baron-Cohen et al., 2001), objeto de este trabajo de final de grado.

En primer lugar, se procederá a explicar en qué consiste más detalladamente el RMET (S. Baron-Cohen et al., 2001). Es una prueba que consta de 28 fotografías para niños y 37 para adultos (36 fotografías evaluables más 1 de ejemplo) en las que se observan las miradas de hombres y mujeres que expresan un sentimiento o pensamiento. Cada fotografía tiene cuatro posibles respuestas que aparecen en la pantalla y el sujeto que está realizando la prueba debe elegir de entre las 4 cuál le parece la más adecuada. Según el propio autor de este test, S. Baron-Cohen, existen pocas pruebas para valorar la cognición social en adultos con inteligencia normal, pero que pueden, sin embargo, presentar dificultades en el dominio personal y social. En este sentido, se trataría de un test más complejo y “avanzado” en la medida que valora aspectos emocionales complejos y que surgen en la interacción social, además de que el sujeto debe ponerse en “el lugar de la otra persona” (Tirapu-Ustárrroz et al., 2007).

Por otra parte, el test puede considerarse complejo ya que presenta una serie de limitaciones. En primer lugar, el sujeto debe conocer el significado de un léxico complejo que hace referencia a emociones y sentimientos. Además, únicamente dispone de una imagen en la que están representados tan sólo los ojos, las cejas, parte de la nariz y parte de la frente, por lo que el sujeto debe “completar” la expresión facial acompañante a la mirada y esto no es siempre

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

sencillo, incluso para sujetos sin alteraciones en la cognición social. También cabe mencionar que el test presenta un elevado grado de subjetividad, ya que el participante debe identificar la emoción que le genera esa expresión determinada, y esta puede no ser exactamente igual para todos los sujetos. Como señala el propio autor, otra limitación del test es que se trata de fotografías con expresiones de los ojos estáticas, lo cual resta “validez ecológica” a la prueba. Esta se puede definir como el grado en que las expresiones representadas y registradas en la investigación reflejan aquello que realmente expresarían si se encontraran en un escenario natural. Se asocia también al grado en que los resultados de una prueba de investigación pueden generalizarse al mundo real. Por último, otra limitación importante podría ser la calidad de los actores elegidos para representar las expresiones emocionales, pues estos varían de unas fotografías a otras, y no se puede determinar con exactitud si lo hacen “sintiendo la emoción o aparentando sentirla” (Tirapu-Ustárroz et al., 2007).

Este test ha sido utilizado tanto en estudios en controles (Kynast & Schroeter, 2018) como en sujetos con ictus (Adams et al., 2020; Domínguez D et al., 2019; Hamilton et al., 2017). En estos últimos estudios se realizan también comparaciones entre grupos de control y grupos de pacientes con ictus para evaluar el rendimiento en la categorización de emociones por parte de los sujetos. Los resultados que obtienen dichos estudios indican una mayor dificultad en la categorización de los sentimientos por parte del grupo de pacientes con ictus en comparación con el grupo de sujetos control.

Además, también se existen estudios que emplean RMET en otras poblaciones como, por ejemplo, en sujetos con trastorno del espectro autista (Del Valle Rubido et al., 2018; Peñuelas-Calvo et al., 2019), en personas con trastornos de la personalidad (Németh et al., 2020), esclerosis múltiple (Genova et al., 2020) y esquizofrenia (Fernandes et al., 2018).

1.1.2. Otros test de evaluación de cognición social

Por otra parte, además del test utilizado en este trabajo de final de grado, existen otras pruebas de evaluación de la cognición social y la teoría de la mente. Cabe destacar que en general se trata de pruebas que presentan situaciones breves que valoran la comprensión de indirectas, ironías, mentiras, bromas o meteduras de pata. Un ejemplo de ello es el test *Faux Pas* (Simon Baron-Cohen et al., 1999), el cual se trata de un instrumento de evaluación psicológica altamente conocido, que permite valorar el grado de adaptación y comprensión social a través de la interpretación de situaciones sociales. La prueba en cuestión cuenta con un total de una veintena de breves historias en las que se produce algún tipo de interacción social, en diez de las cuales se produce algún tipo de acto inapropiado, desconsiderado o torpe por parte de uno de los personajes para con otro u otros. Posee versiones reducidas y diferentes adaptaciones, incluyendo una en español: el Test de las Meteduras de Pata (*Test de Faux Pas: ¿qué Es y Para Qué Sirve?*, n.d.).

Se trata de un instrumento que permite valorar la capacidad de comprensión, la empatía y la existencia de una teoría de la mente en los sujetos evaluados. Este test fue desarrollado en 1999 por Baron-Cohen, cuyo propósito original fue el de evaluar la capacidad de comprensión de situaciones sociales y diferenciar entre el rendimiento en dicha tarea entre menores (de entre siete y once años) con síndrome de Asperger y menores sin ninguna afectación neuronal. Sin embargo, con el paso de los años se ha ido ampliando su población objetivo, existiendo

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

versiones para niños y para adultos, y empleándose para valorar la capacidad de comprensión social en diferentes problemáticas (*Test de Faux Pas: ¿qué Es y Para Qué Sirve?*, n.d.).

La corrección de esta prueba requiere analizar cada una de las respuestas que el sujeto ha dado. La primera de las preguntas puntúa en función de si la respuesta dada es correcta o incorrecta, mientras que la segunda, en la cual se pregunta respecto a quien comete la metedura de pata, se considera correcta cualquier respuesta que identifique a la persona en cuestión. La puntuación máxima es de 30, y a menor puntuación, mayor dificultad cognitiva en las diferentes áreas analizadas (*Test de Faux Pas: ¿qué Es y Para Qué Sirve?*, n.d.).

Por otra parte, también existen estudios que utilizan otros tipos de test para evaluar la cognición social como, por ejemplo, el uso de expresiones faciales (Maza et al., 2020). Las expresiones faciales son una de las fuentes más relevantes de comunicación no verbal, y su interpretación ha sido ampliamente investigada debido a que, en el proceso de decodificación de estas, intervienen procesos cognitivos conscientes e inconscientes que implican una compleja red cerebral, utilizándose así para evaluar la cognición social.

Es importante mencionar también que la medida de la dilatación y del tamaño pupilar ha sido muy utilizada en diversos estudios de psicología como un indicador psicofisiológico del procesamiento cognitivo y emocional (Bradley & Lang, 2015; Kret & Sjak-Shie, 2019; Sirois & Brisson, 2014). Ante la presentación de un estímulo, la pupila puede reaccionar variando su diámetro por lo que este fenómeno puede ser analizado y empleado como un indicador más para poder evaluar las respuestas de un individuo en estudios de procesamiento cognitivo y emocional. Los dispositivos que permiten obtener estas medidas de la dilatación pupilar junto con otras métricas interesantes para evaluar la cognición social, como por ejemplo, el seguimiento de la mirada en los procesos de reconocimiento de emociones en los estudios, son los *eye-trackers*.

El *eye-tracking*, como su propio nombre indica, es el proceso de seguimiento de la posición de los ojos durante la realización de ciertas tareas. Estas tareas pueden ser muy variadas, desde, por ejemplo, leer y buscar información, hasta escanear una imagen o conducir. Este es uno de los métodos más utilizados en investigación conductual para el estudio de los procesos de cognición social (*What Do We Study When We Use Eye Tracking Data?*, 2015). Este método o proceso ha sido utilizado en numerosos estudios (Bek et al., 2020; Lim et al., 2020; Tsang, 2018). Una de sus mayores ventajas es que permite examinar el patrón de atención visual que está siguiendo el sujeto durante la presentación de un estímulo de manera que esta información puede ser contrastada entre diferentes poblaciones de interés. Generalmente, para analizar dónde está mirando el sujeto se definen unas áreas de interés a partir de las cuales se extraen principalmente dos parámetros: el número de fijaciones (FC), definidas como la cantidad de veces que el sujeto centra la mirada durante un tiempo determinado hacia un punto en concreto de la imagen, y la duración total de las fijaciones (TFD), definido como el tiempo total de todas las fijaciones realizadas. El análisis de estas variables permitirá obtener información a nivel neurocognitivo imprescindible para evaluar el estado mental de dichos sujetos. Es una herramienta no invasiva, que proporciona información muy sensible y valiosa sobre déficits en la cognición, que son muy comunes en trastornos neurológicos, como, por ejemplo, en el caso de los ictus, que son el objeto de este trabajo de final de grado.

1.2. Ictus

El ictus, también conocido como accidente cerebrovascular, hace referencia a cualquier trastorno de la circulación cerebral, generalmente de comienzo brusco o súbito, que puede ser consecuencia de la interrupción de flujo sanguíneo a una parte del cerebro (isquemia cerebral) o la rotura de una arteria o vena cerebral (hemorragia cerebral). Aproximadamente el 75 % de los ictus son isquémicos y el 25% hemorrágicos (*Daño Cerebral Adquirido*, n.d.).

Aunque el cerebro humano sólo supone del 2% del peso corporal, necesita casi un 20% de la circulación para cubrir sus necesidades, ya que consume mucha energía, y por otra parte, no dispone de reservas energéticas. Todo ello condiciona un aporte constante de oxígeno y nutrientes, siendo por tanto muy sensible ante la falta del flujo sanguíneo cerebral, encargado de proporcionarle la energía que requiere para funcionar. Por esta razón, el cerebro cuenta con una gran cantidad de vasos sanguíneos y múltiples mecanismos para mantener constante la cantidad de sangre que circula por él y garantizar una correcta llegada de oxígeno y nutrientes. Sin embargo, cuando los vasos sanguíneos se lesionan por una u otra causa la sangre no llega adecuadamente al cerebro. Esto puede desembocar en la disminución o anulación de la función de la parte afectada. Si el riego disminuye durante un tiempo mayor a unos pocos segundos, las células de esa área del cerebro se destruyen (se infartan) y ocasionan una lesión permanente en dicha área. No obstante, el cerebro tiene mecanismos de seguridad ante estas situaciones. Existen muchas conexiones pequeñas entre las distintas arterias del cerebro y si el riego sanguíneo disminuye de forma progresiva, estas pequeñas conexiones aumentan de tamaño y sirven de derivación al área obstruida. A esto se le denomina circulación colateral. Si existe suficiente circulación colateral, se garantiza que habrá un flujo sanguíneo adecuado hacia el área de cerebro afectada de manera que a pesar de que una arteria quede bloqueada totalmente, esta puede no acabar causando deficiencias neurológicas gracias al flujo sanguíneo circulante por estas pequeñas conexiones (Plaza, n.d.).

Existen fundamentalmente dos tipos de ictus, según el tipo de lesión que le ocurra al vaso:

En primer lugar, se habla de isquemia cerebral o ictus isquémico cuando su origen es debido a la oclusión o taponamiento de un vaso, provocándose así que la sangre no pueda difundirse correctamente a una determinada área del cerebro. Por tanto, ello desencadena que esa zona cerebral se quede sin el oxígeno y los nutrientes que necesita para llevar a cabo sus funciones y se produce una lesión. Si esta situación se mantiene el tiempo suficiente, el tejido muere provocando el denominado infarto cerebral. Esta oclusión puede ser debida a dos causas:

- a) Una trombosis: cuando el material que obstruye el vaso se produce en él mismo. En estos casos, se denomina ictus trombótico o aterotrombótico.

- b) Una embolia: cuando el material causante de la obstrucción se produce en un lugar lejano y a través del torrente sanguíneo llega al vaso y tapon su interior, el espacio por el cual fluye la sangre a través de él. En estos casos, se denominan ictus embólicos.

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

A continuación, se puede apreciar gráficamente en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la diferencia entre los casos en los que el ictus está provocado por una trombosis o por una embolia:

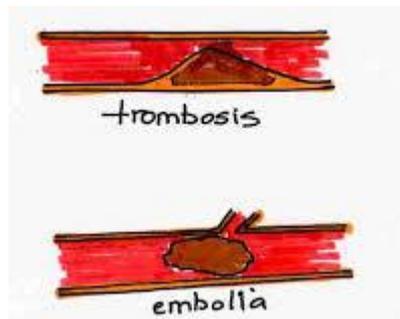


Figura 2. Diferencia entre trombosis y embolia (Plaza, n.d.)

En segundo lugar, hablamos de hemorragia cerebral o ictus hemorrágico cuando lo que ocurre es una rotura del vaso dentro del cerebro (hemorragia intracerebral) o en sus envolturas (hemorragia subaracnoidea). Esta sangre no se puede liberar al exterior, ya que el cerebro está encerrado en los huesos del cráneo, por eso la sangre hace que aumente la presión en la cavidad craneal, impidiendo que éste se oxigene adecuadamente, y desencadenando finalmente también la muerte de los tejidos que están comprimidos (Plaza, n.d.). En la siguiente ilustración, Figura 3, se aprecia visualmente la diferencia entre un ictus hemorrágico y uno isquémico:

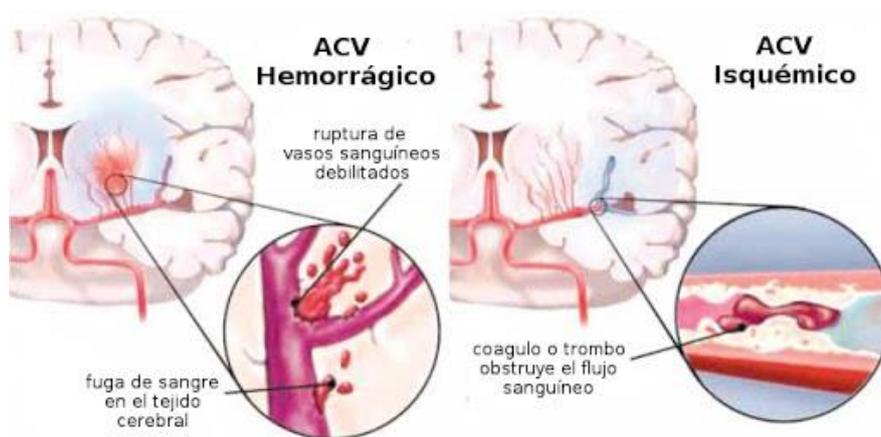


Figura 3. Diferencia entre un ictus hemorrágico y un ictus isquémico (29 de Octubre - Día Mundial Del Accidente Cerebro Vascular - Instituto de Bioquímica Clínica, n.d.)

1.2.1. Incidencia y prevalencia de los ictus

El ictus es una enfermedad cerebrovascular que tiene un gran impacto sanitario y social debido a la incidencia y prevalencia que presenta. Es la principal causa de daño cerebral, seguida de los traumatismos craneoencefálicos y enfermedades como las anoxias, los tumores cerebrales o las infecciones (*Daño Cerebral Adquirido*, n.d.).

Además, constituye la primera causa de discapacidad adquirida en el adulto y la segunda de demencia después de la enfermedad de Alzheimer. Los ictus poseen un gran impacto, no solo desde el punto de vista sanitario, sino también personal y familiar, por la gran afectación que presenta en la vida de las personas que lo sufren y en la de sus cuidadores (*EL ATLAS DEL ICTUS ESPAÑA 2019*, n.d.).

Algunos factores demográficos como la edad, el sexo o el lugar de residencia influyen en la prevalencia y en la incidencia del ictus. Según datos de la Organización Mundial de la Salud, en 2016, el ictus fue la segunda causa de muerte a nivel mundial, con casi seis millones de fallecimientos. En Europa fallecen 650.000 personas anualmente por esta causa. Únicamente las enfermedades cardiovasculares isquémicas superan esta elevada cifra de fallecidos (*Organización Mundial de La Salud*, n.d.).

En referencia a la mortalidad en España, el ictus es la primera causa de defunciones entre las mujeres y la segunda en los varones, según datos del Grupo de Estudio de Enfermedades Cerebrovasculares de la Sociedad Española de Neurología. En España, aproximadamente cada 6 minutos se detecta un nuevo caso de ictus, y fallecen 40.000 personas anualmente por esta causa. Se prevé que el número de defunciones relacionadas con el ictus se incremente un 39% entre 2015 y 2035, debido a que está muy ligado al progresivo envejecimiento de la población y tiene mucha más incidencia en personas de edad avanzada (*Código Ictus - Federación Española Del Ictus*, n.d.).

Por otro lado, la prevalencia estimada de ictus en España en 2006 fue del 6,4% en población de 70 años o más, con diferencias significativas en función del sexo (7,3% en hombres y 5,6% en mujeres) y del territorio (8,7% en zonas urbanas y 3,8% en rurales). Además, tanto la incidencia como la prevalencia se incrementa en edades avanzadas, particularmente entre las mujeres. Datos del estudio Iberictus, realizado en 2009 (J. Díaz-Guzmán, J.A. Egado-Herrero, B. Fuentes, C. Fernández-Pérez, R. Gabriel-Sánchez, G. Barberà, 2009) demuestran una incidencia de ictus en nuestro país de 187,4 casos por cada 100.000 habitantes. Se prevé que dicha incidencia se incremente un 35% entre 2015 y 2035 debido, en gran parte, al aumento de la esperanza de vida de la población.

Los costes directos destinados al tratamiento del ictus representan, en algunos países industrializados, entre el 2% y 4% del gasto sanitario total. El gasto medio que genera una persona tras un ictus es de 4.000 euros durante los tres primeros meses de enfermedad, sin incluir las bajas laborales del afectado y su familia. Por todo ello el ictus constituye actualmente uno de los problemas sociosanitarios más importantes, que precisa de estrategias concretas para su manejo y control (*Código Ictus - Federación Española Del Ictus*, n.d.).

Finalmente, es importante tener en cuenta que más del 80% de los ictus son evitables. La incidencia se podría reducir de manera eficaz con un adecuado control de los factores de riesgo modificables, de entre los cuales, los más importantes son: la hipertensión arterial (HTA), el consumo de tabaco o alcohol, la diabetes mellitus, la dieta, la inactividad física, la obesidad, la

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

hipercolesterolemia, la fibrilación auricular (FA) y otras enfermedades cardíacas. Una adecuada prevención tiene un gran peso en la reducción del impacto de la enfermedad (*EL ATLAS DEL ICTUS ESPAÑA 2019*, n.d.).

1.2.2. Secuelas de un ictus en cognición social y teoría de la mente

Los pacientes que sobreviven a un ictus suelen sufrir secuelas físicas relacionadas con la movilidad, la visión o el habla, así como trastornos del ánimo, cognitivos, emocionales y de personalidad. Esto impacta en gran medida en su funcionalidad y en la calidad de vida del paciente tras sufrir este accidente cerebrovascular. Estas secuelas varían en función del área del cerebro lesionada y la gravedad del daño. Se estima que dos de cada tres personas que sobreviven a un ictus presentan algún tipo de secuela, en muchos casos discapacitantes, lo que implica una pérdida de productividad en el caso de pacientes en edad laboral, una necesidad de rehabilitación y de cuidados, y un mayor consumo de recursos respecto al resto de la población (*EL ATLAS DEL ICTUS ESPAÑA 2019*, n.d.).

Según datos del estudio Iberictus (J. Díaz-Guzmán, J.A. Egido-Herrero, B. Fuentes, C. Fernández-Pérez, R. Gabriel-Sánchez, G. Barberà, 2009) realizado en España, tres meses después de sufrir el ictus hasta el 45% de los sujetos presentan discapacidad moderada o severa y, por tanto, una limitación significativa en su capacidad funcional. Es por todo ello, por lo que el ictus se presenta como la primera causa de discapacidad, ya que la sufren entre 500 y 600 personas cada 100.000 habitantes en nuestro país.

Como consecuencia de esta patología cerebral, se podrían derivar, además de a nivel motor, secuelas cognitivas y emocionales. Las afasias y los síndromes demenciales severos se reconocen con facilidad; pero, sin embargo, la heminegligencia, el deterioro cognitivo leve, los cambios de personalidad y las alteraciones emocionales tienden a ser ignorados. Las alteraciones a procesos emocionales en particular, como pueden ser la ansiedad, la tristeza, el llanto o la anhedonia, son interpretadas como reacciones naturales a la pérdida de la capacidad física (*Los Trastornos Emocionales y Conductuales Tras El Ictus | Red Menni*, n.d.).

Dada la naturaleza aguda de los ictus, los esfuerzos sanitarios se concentran sobre todo en los días o semanas posteriores con la finalidad de garantizar la detección de problemas motores, sensoriales, sensitivos y cognitivos en fase aguda y subaguda. Es en este punto donde entran los cambios en la conducta social que generan problemas de convivencia y gran deterioro en la calidad de las relaciones interpersonales (*Los Trastornos Emocionales y Conductuales Tras El Ictus | Red Menni*, n.d.).

Por ello, uno de los puntos más relevantes a comentar en cuanto a las secuelas tras sufrir un ictus, son los cambios en la conducta social. Estos cambios están muy relacionados con las alteraciones en la cognición social y en muchas ocasiones, con la ausencia de teoría de la mente tal y como se explica a continuación.

El cambio conductual más frecuente es la irritabilidad. Este es un estado emocional caracterizado por un reducido control del temperamento, un estado de ánimo que predispone a ciertas emociones (el enfado), ciertas cogniciones (valoración hostil de una situación) y ciertas conductas (agresividad). La irritabilidad puede tener orígenes diversos, como por ejemplo el

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

bajo estado de ánimo, la fatiga, la intolerancia a la frustración o la reducción en la capacidad para la resolución de los problemas (trastorno ejecutivo). Una expresión especialmente grave de la irritabilidad es la agresividad física, hacia objetos o hacia personas (Quemada & Mimentza, 2017).

La rigidez es otro de los cambios de conducta más comunes. Hace referencia a la incapacidad para modificar planes preconcebidos, aunque las circunstancias varíen. Obedece a una impermeabilidad del sistema cerebral encargado de la planificación de acciones. Los procesos cognitivos que subyacen a esta conducta podrían ser: una reducción de la capacidad de la memoria de trabajo o la propia imposibilidad de diseñar varias alternativas para alcanzar una misma meta, de prever posibles cambios en las circunstancias o de diseñar un “plan B” (Quemada & Mimentza, 2017).

El egocentrismo también es habitual y añade un componente cognitivo más próximo al concepto de la teoría de la mente. La conducta social adaptada incluye la visión de los demás, es decir, normalmente se reserva un espacio de la mente para predecir las intenciones, deseos y estados de ánimo de terceras personas y tratar de incorporarlos a la ecuación que decide sobre cómo se va a actuar y qué conducta social adoptar. El fracaso en la incorporación de esta información se manifiesta a través de conductas egocéntricas y generadoras de malestar en dichas terceras personas (Quemada & Mimentza, 2017).

La apatía, entendida como la reducción de iniciativa e indiferencia emocional, también es uno de los trastornos más frecuentes. El aplanamiento emocional evita el sufrimiento del paciente, pero, como contrapartida, afecta negativamente a su entorno más cercano. Además, al definir este concepto, siempre se hace referencia también a la ausencia de emociones y de cogniciones espontáneas. De hecho, la indiferencia emocional se postula como uno de los elementos responsables del cambio en el comportamiento habitual (Quemada & Mimentza, 2017).

Por último, algunos cambios conductuales parecen muy claramente determinados por cambios cognitivos fácilmente medibles, como es el caso del enlentecimiento y de las reacciones catastróficas. Una consecuencia muy común derivada de este enlentecimiento en el procesamiento general de la información es el aislamiento social. En muchas ocasiones, tras sufrir un ictus y si los pacientes han sufrido daños severos, éstos no son capaces de participar de las conversaciones entre varias personas, ya que se quedan atrás en la comprensión y en la generación de respuestas. Estos déficits pueden estar en el origen de la pérdida de capacidades cotidianas previas. Cuando el paciente experimenta reiteradamente estos inesperados fracasos se pueden desencadenar fuertes reacciones emocionales, de ansiedad y llanto, que es lo que conocemos como reacciones catastróficas (Quemada & Mimentza, 2017).

En la Figura 4, se muestran distintos mecanismos de generación de alteraciones conductuales que pueden resultar útiles para ayudar a una mejor comprensión de los mismos y contribuir, además, en su prevención. El proceso comienza con la iniciación, momento en el que se produce el accidente cerebrovascular. Tras la aparición del ictus, se pueden comenzar a observar cambios en el estado afectivo del paciente, alterándose así su cognición social y desembocando en alteraciones de su estado cognitivo más graves. Otros procesos como la conciencia por parte del propio paciente de su estado o alteraciones en el control inhibitorio, definido como la capacidad del ser humano para inhibir o controlar las respuestas impulsivas o automáticas y generar respuestas mediadas por la atención y el razonamiento, también forman parte de los distintos mecanismos de generación de alteraciones conductuales que se pueden desarrollar.

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

Mecanismos de producción de los cambios conductuales en los ictus.

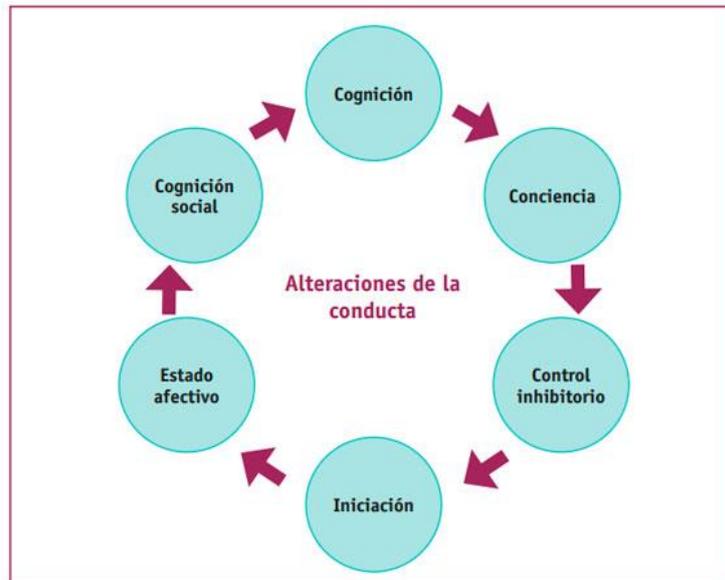


Figura 4. Mecanismos de producción de los cambios conductuales en los ictus (Los Trastornos Emocionales y Conductuales Tras El Ictus | Red Menni, n.d.)

Finalmente, se puede concluir que la conducta social está siendo continuamente alimentada y matizada por el *feedback* que se obtiene del entorno, y de las relaciones personales que se establecen con los demás dentro de la sociedad. Pero, además, toda esta actividad tiene un sustrato neuronal que también puede verse afectado en casos de lesión cerebral, como ocurre, por ejemplo, tras un ictus. Esta afectación en el comportamiento social provocado por la aparición de un ictus implica una pérdida devastadora en la calidad y cantidad de las relaciones interpersonales, afectivas y sociales, y, en muchos casos, una dificultad severa para reintegrarse a nivel laboral para los pacientes que lo sufren (Moliner Muñoz, n.d.).

1.3. Hipótesis y objetivos

Este trabajo de final de grado se centra en realizar un estudio comparativo entre un grupo control y un grupo de pacientes que han sufrido un ictus con el objetivo de evaluar el estado de deterioro de las habilidades neurológicas y cognitivas de los individuos tras sufrir un accidente cerebrovascular. Para ello, se utiliza uno de los test más conocidos y utilizados para la evaluación del reconocimiento de emociones por parte de sujetos, el RMET (S. Baron-Cohen et al., 2001). Al mismo tiempo, además de evaluar el porcentaje de aciertos en la categorización de emociones que los individuos obtienen en el test, también se estudia el patrón visual y la actividad pupilar de los mismos planteando la hipótesis de si los pacientes, tras haber sufrido el ictus, presentan mayores dificultades en la interpretación y reconocimiento de las emociones que el grupo de control. La evaluación de ello es algo fundamental, debido a que el reconocimiento de emociones se integra dentro en los procesos de cognición social básicos que nos permiten relacionarnos con otras personas, entender su manera de actuar, empatizar con ellas y alcanzar un desarrollo pleno como personas integradas en la sociedad.

La hipótesis general de este trabajo consiste en determinar, en primer lugar, si existen esas diferencias en el reconocimiento de emociones entre el grupo de control y el grupo de pacientes que han sufrido un ictus, y, en el caso de que sí que se observen diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos, determinar en segundo lugar las causas de estas diferencias. Es decir, detectar si éstas se deben a que el grupo de pacientes de ictus no capta la información adecuadamente de las imágenes del test RMET para reconocer las emociones de las imágenes o si, por el contrario, los pacientes sí que captan correctamente la información a través de estímulos que reciben de las imágenes, pero el fallo realmente radica en el procesamiento neurológico a nivel cerebral de esta información que les llega.

Para ello, se plantean una serie de hipótesis secundarias que ayudarán a resolver la hipótesis principal de este trabajo. Estas hipótesis secundarias son tres, y se corresponden con:

- En referencia a la categorización de emociones, se plantea la hipótesis de que existen diferencias en el porcentaje de aciertos obtenidos en el test entre el grupo de control y el grupo de pacientes de ictus.
- En referencia al patrón y comportamiento visual que siguen los sujetos durante la realización del test, se plantea la hipótesis de que existen diferencias entre el grupo control y el grupo de pacientes de ictus en el tiempo que invierten extrayendo la información en cada una de las zonas de las imágenes y el número de fijaciones que realizan a cada zona de la imagen.
- En referencia a la dilatación pupilar, se plantea la hipótesis de que existen diferencias en el grado de dilatación pupilar entre el grupo control y el grupo de pacientes de ictus durante la visualización de las imágenes del test.

El objetivo principal de este estudio es resolver en primer lugar cada una de las hipótesis secundarias planteadas, lo cual finalmente permitirá resolver con claridad y poder dar una explicación lógica y detallada a la hipótesis general de este trabajo, y partir de los resultados obtenidos, poder extraer conclusiones.

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

1.4. Estructura del trabajo

Para describir correctamente el procedimiento llevado a cabo en la realización de este estudio, es conveniente realizar una revisión global de su estructura. En primer lugar, se realizó un estado del arte en términos generales sobre la cognición social y la teoría de la mente (apartado 1.1), con sus respectivas pruebas y test para evaluarlos llevados a cabo en estudios anteriores (apartados 1.1.1 y 1.1.2). En segundo lugar, se introdujeron las características de los accidentes cerebrovasculares o ictus, junto con sus tipos (apartado 1.2), su incidencia y prevalencia en general y en concreto en España (apartado 1.2.1), y sus posibles secuelas en cognición social y teoría de la mente (apartado 1.2.2). Finalmente se plantearon una serie de hipótesis y objetivos (apartado 1.3) que trataremos de dar respuesta a lo largo del desarrollo de este trabajo de final de grado.

A continuación, se realizó la extracción de los registros seleccionados en una muestra de conveniencia para el estudio, expresada en el apartado de participantes (apartado 2.1) de la base de datos de sujetos proporcionada por los tutores de este trabajo. Una vez realizada la extracción de todos los registros de los sujetos seleccionados, se procedió al posterior preprocesamiento de los datos. A continuación, tras la obtención de las matrices finales de parámetros, se procedió a su análisis estadístico utilizando el programa SPSS. Finalmente, tras estos análisis estadísticos, se obtuvieron unos resultados en base a diferencias observadas en el reconocimiento emocional, comportamiento visual y actividad pupilar (apartados 3.1, 3.2 y 3.3) entre el grupo de control y el grupo de pacientes con ictus.

Por último, se discutieron estos resultados obtenidos (apartado 4) y se establecieron unas conclusiones (apartado 5) en base a ellos y a las hipótesis y objetivos planteados al principio del presente trabajo. La siguiente ilustración, correspondiente a la Figura 5, muestra un resumen esquemático de la estructura y el procedimiento llevado a cabo en este trabajo:

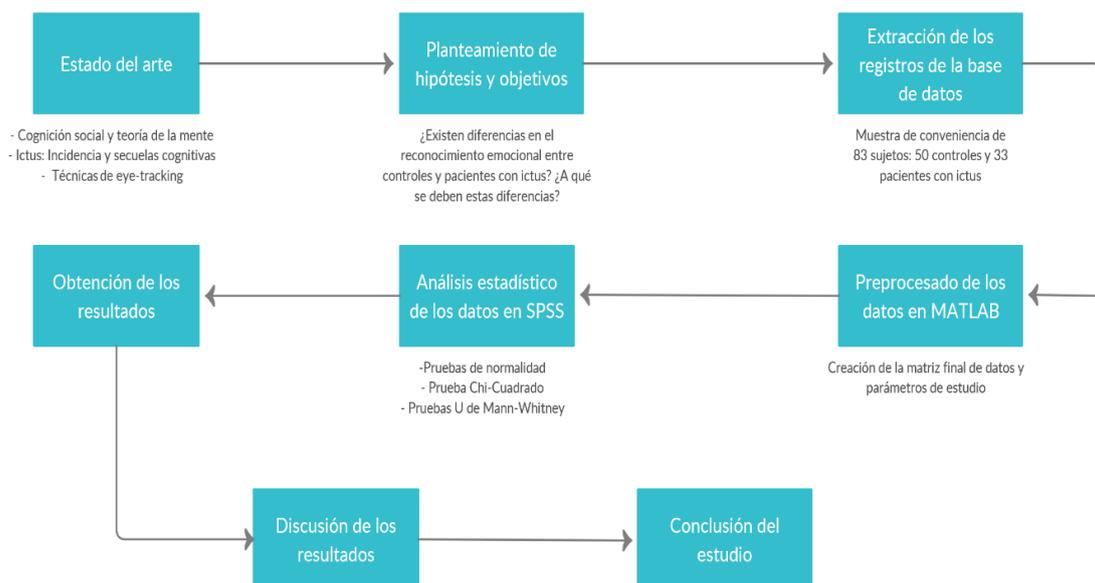


Figura 5. Resumen esquemático del procedimiento general y la estructura del estudio realizado

2. Materiales y métodos

2.1. Participantes

Los participantes del estudio se extrajeron de una base de datos existente que incluía una muestra total de 83 sujetos con DCA reclutados del Servicio de Neurorrehabilitación del Hospital Vithas Valencia al Mar (Valencia) y el Centro Vithas Vinalopó (Elche) y una muestra de 66 sujetos sanos.

Se incluyeron aquellos sujetos que habían sufrido un ictus, eran mayores de edad y presentaban un buen estado cognitivo. Se excluyeron del estudio aquellos sujetos diagnosticados de otras patologías distintos y aquellos que presentaban dificultades en el entendimiento o empleo del lenguaje, además de aquellos con déficits visuales incapacitantes o aquellos medicados con fármacos que puedan alterar el tamaño de la pupila o inhibir su reacción frente a un estímulo, lo cual es objeto de estudio en el test RMET. Por otra parte, se seleccionaron como sujetos controles, una muestra pareada en sexo y edad de sujetos sanos mayores de edad y que no presentaron historial clínico relacionado con déficits cognitivos o trastornos mentales.

De toda la muestra de sujetos de la que se disponía, un total de 33 sujetos con ictus y 50 controles cumplieron los anteriores requisitos y fueron incluidos en el estudio.

A continuación, en la Tabla 1 se muestra la información demográfica y clínica de la muestra de los sujetos participantes en el estudio. Como puede comprobarse, no existieron diferencias estadísticamente significativas en las variables demográficas entre ambos grupos, lo que aseguró la comparabilidad de ambas muestras de sujetos.

| | Controles | Pacientes | Significación |
|--|--------------|------------|---------------|
| Tamaño de la muestra (n) | 50 | 33 | - |
| Sexo (n, %) | | | p=0.993 |
| Mujeres | 29 (58%) | 20 (60.6%) | |
| Hombres | 21 (42%) | 13 (39.4%) | |
| Edad (años) | 53.5 (30-79) | 55 (30-78) | p=0.602 |
| Nivel Educativo (años educativos) | 12 (0-16) | 12 (6-16) | p=0.565 |
| Etiología (n, %) | | | - |
| Ictus Isquémico | - | 16 (48.5%) | |
| Ictus Hemorrágico | - | 17 (51.5%) | |

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

| | | | |
|--|---|---------------|---|
| Lateralidad de la lesión (n, %) | | | - |
| Derecha | - | 12 (36.36%) | |
| Izquierda | - | 11 (33.33%) | |
| Vértebro-basilar | - | 7 (21.21%) | |
| Cerebelo | - | 3 (9.1%) | |
| Cronicidad (días) | - | 431 (52-5618) | - |

Tabla 1. Información demográfica del grupo de sujetos control y de los pacientes con ictus participantes en el estudio. N: número de sujetos; %: Porcentaje de sujetos.

Las variables edad, nivel educativo y cronicidad están expresadas en mediana y valores mínimo y el máximo.

2.2. Materiales

2.2.1. Reading the Mind in the Eyes Test

Para llevar a cabo el estudio, se evaluó la cognición social de los participantes con la prueba conocida como “Reading the Mind in the Eyes Test (RMET)”. Como ya se explicó en la introducción, este test es una prueba que consta de 37 fotografías en las que se observan las miradas de hombres y mujeres que expresan un sentimiento o pensamiento concreto. La habilidad que se pretende estudiar en el sujeto es la detección de este sentimiento, teniendo que elegir entre 4 opciones, y seleccionando lógicamente la que el sujeto considera más adecuada y que representa mejor el sentimiento que identifica en la fotografía.

A continuación, en la siguiente ilustración, Figura 6, podemos ver algunos ejemplos de las fotografías que integra el test, con sus correspondientes 4 opciones posibles para describir el sentimiento.

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

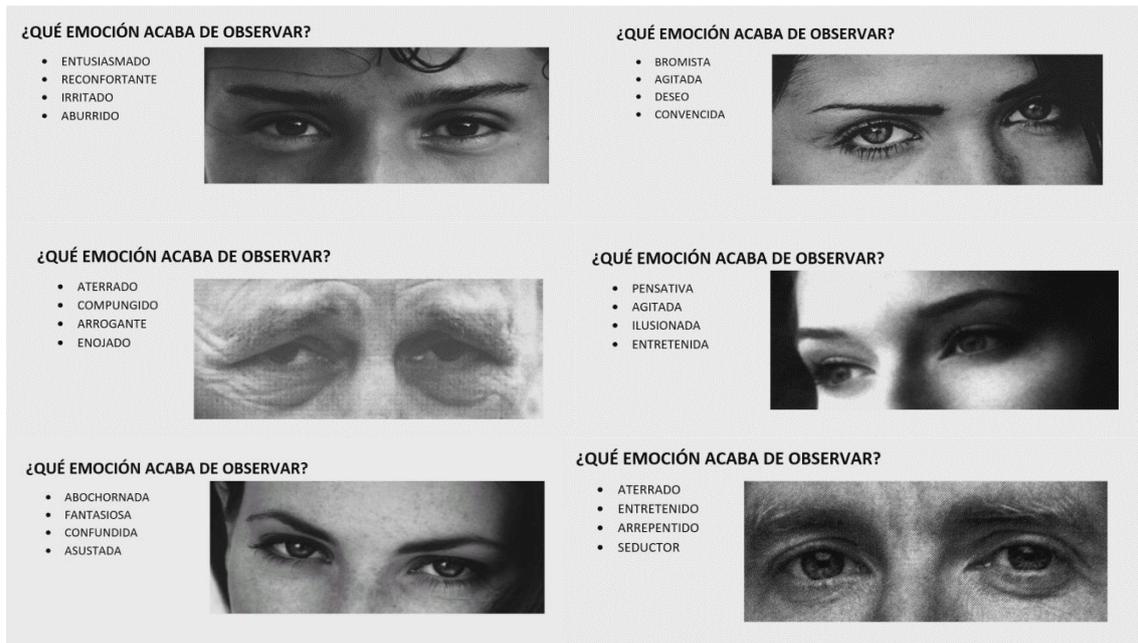


Figura 6. Ejemplos de fotografías que integra el test RMET con sus correspondientes 4 opciones para describir el sentimiento ilustrado, extraídas de Tobii Studio (Dehning et al., 2014)

Según el propio autor, S. Baron-Cohen, este test es una herramienta compleja y avanzada ya que en él se deben identificar aspectos emocionales complejos que provienen de la interacción social entre individuos. Además, es también requisito indispensable para realizar correctamente la prueba empatizar y ponerse en el lugar de la persona que está fotografiada para tratar de entender su estado mental y qué emoción está en concreto representando o experimentando (S. Baron-Cohen et al., 2001).

Si bien el RMET es una herramienta práctica y útil, adecuada para su uso en el estudio presente, también presenta una serie de limitaciones, como son el hecho de que el sujeto debe conocer el significado de un léxico complejo que hace referencia a emociones y sentimientos y, además, únicamente dispone de una imagen en la que están representados los ojos, las cejas, parte de la nariz y parte de la frente. Es por ello, que el sujeto debe "completar" la expresión facial acompañante a la mirada y esto no es siempre es un proceso sencillo, incluso para sujetos de control (Tirapu-Ustárrroz et al., 2007).

Como señala el propio autor, otra limitación del test es que se trata de fotografías con expresiones de los ojos estáticas, a lo que debemos sumarle pequeñas posibles variaciones en la calidad de las fotografías, puesto que están realizadas por actores, y es imposible diferenciar para el sujeto que está realizando el test si el actor está experimentando realmente esa emoción o está simplemente caricaturizándola (S. Baron-Cohen et al., 2001).

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

2.2.2. Sistema de registro del patrón visual

Como hemos explicado en la introducción, el *eye-tracking* es el proceso de seguimiento de la posición de los ojos durante la realización de ciertas tareas.

En el presente estudio se utilizó el dispositivo Tobii TX-300. Está formado por una pantalla de 23 pulgadas, con una resolución de 1920x1080 píxeles, y una unidad *eye-tracker*. Este dispositivo trabaja con una frecuencia de muestreo de 300 Hz y cuenta tanto con iluminadores en los extremos (emisores de rayos infrarrojos) como con sensores en su parte central (receptores). (Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Product Description, n.d.)

En las siguientes ilustraciones, Figura 7 y Figura 8, podemos apreciar las diferentes partes que componen el dispositivo Tobii TX300, así como una fotografía real del mismo.

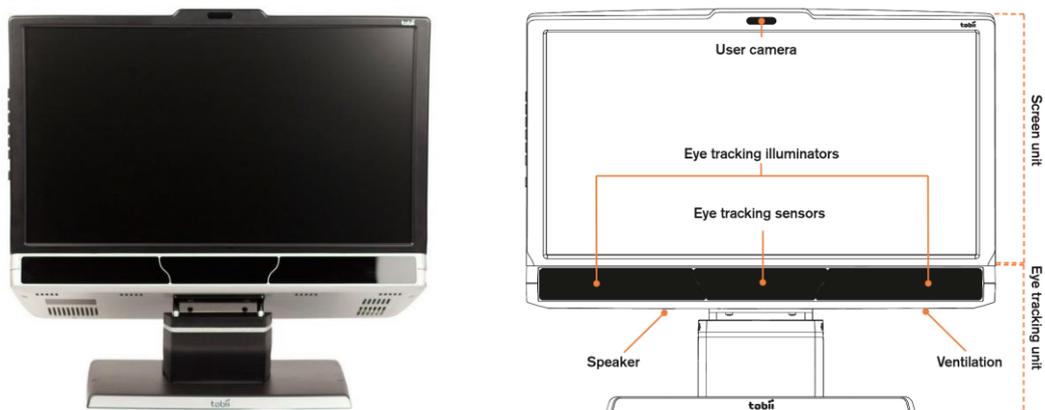


Figura 7. Fotografía real del dispositivo Tobii TX300 (Tobii Pro TX300 Screen-Based Eye Tracker, n.d.)

Figura 8. Imagen representativa de las distintas partes del dispositivo Tobii TX300 (Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Revision 2 User Manual, n.d.)

En cuanto a su funcionamiento, cabe destacar que se trata de un sistema remoto y no intrusivo, que emplea el método del centro de la pupila y el reflejo corneal. El concepto básico de este método consiste en utilizar una fuente de luz para iluminar el ojo causando reflejos muy visibles, y una cámara para capturar una imagen del ojo que muestre estos reflejos. La imagen captada por la cámara se utiliza luego para identificar el reflejo de la fuente de luz en la córnea (reflejo) y en la pupila. Se puede entonces calcular el vector formado por el ángulo entre las reflexiones de la córnea y la pupila. La dirección de este vector, combinada con otras características geométricas de las reflexiones, se utilizan para calcular la dirección de la mirada (How Do Tobii Eye Trackers Work? - Learn More with Tobii Pro, 2015).

Durante el seguimiento, más concretamente, se utilizan diodos infrarrojos para generar patrones de reflexión en las córneas de los ojos del sujeto. Estos patrones de reflexión, junto con otros datos visuales sobre el sujeto, son recopilados por sensores de imagen, que capturan una imagen del ojo. A partir de la imagen se extrae la posición del centro de la pupila y del centro

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

de reflexión de la córnea. Posteriormente, a través de sofisticados algoritmos de procesamiento, se utiliza la dirección del vector que se forma entre el centro de la pupila y el de reflexión de la córnea, como se ha explicado anteriormente, junto con otras características geométricas para obtener la dirección de la mirada, es decir, concretamente hacia dónde está mirando el sujeto. (*How Do Tobii Eye Trackers Work? - Learn More with Tobii Pro, 2015; Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Product Description, n.d.*)

En la siguiente ilustración, Figura 9, se muestra esquemáticamente el proceso de obtención de la dirección de la mirada explicado anteriormente.

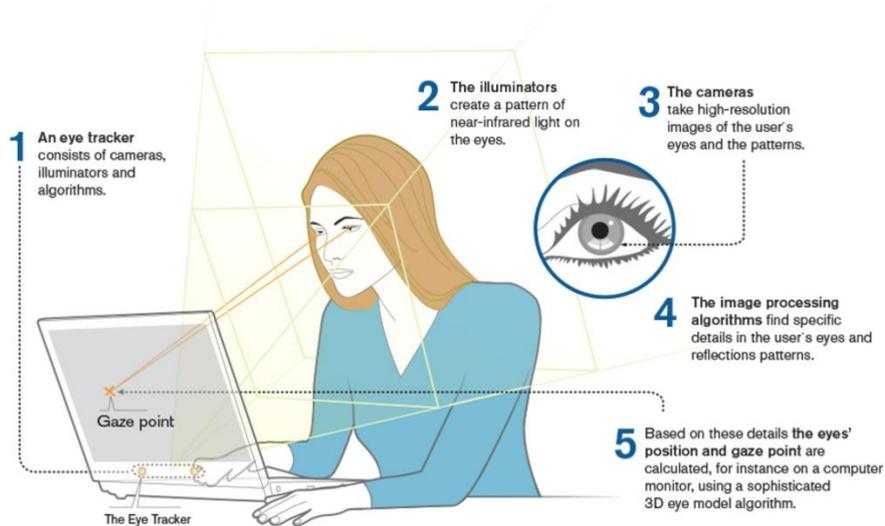


Figura 9. Esquema representativo del funcionamiento del dispositivo Tobii TX300 (*How Do Tobii Eye Trackers Work? - Learn More with Tobii Pro, 2015*)

2.2.3. Aplicaciones

Para la realización del estudio, se han utilizado diversos programas, cuyas características más importantes detallamos a continuación:

- Tobii Studio 3.3.2 (Tobii Technology AB, Suecia): Programa soporte del dispositivo que empleamos para llevar a cabo el estudio, el eye-tracker Tobii TX300. Permite diseñar el procedimiento de la prueba a realizar, definir las áreas de interés en las imágenes que se pretenden analizar, visualizar los resultados y almacenar y exportar los datos obtenidos.
- Microsoft Excel: Hoja de cálculo del software de Microsoft Office en la cual se almacenan los datos exportados por el programa Tobii Studio 3.3.2 correspondientes a cada sujeto, y que posteriormente serán utilizadas por MATLAB para el procesamiento de estos datos obtenidos.
- MATLAB (MathWorks, Massachusetts, Estados Unidos): Software matemático empleado para el preprocesado y filtrado de los datos obtenidos en Tobii Studio. También empleado para la preparación de las matrices finales de resultados que se analizarán posteriormente en el software estadístico SPSS y para la representación de los resultados.

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

- SPSS (IBM Corporation, Nueva York, Estados Unidos): Programa empleado para el estudio estadístico de los diferentes parámetros obtenidos y almacenados en la base de datos y en las matrices finales generadas previamente con MATLAB.

2.3. Procedimiento

La desarrollo de la prueba consistente en el test RMET se realizó en una habitación tranquila, con condiciones de iluminación controladas y uniformes. Los participantes del estudio realizaron el test sentados cómodamente en una silla, siempre mirando en la medida de lo posible hacia el dispositivo de *eye-tracking* para la monitorización de su vista en todo momento. Además, se calibró el dispositivo *eye-tracker* para cada sujeto participante. Una vez realizada la calibración, se daba comienzo a la prueba del test RMET. Durante ella, cada sujeto dispuso de 5 segundos iniciales para mirar detenidamente la fotografía y extraer de ella toda la información necesaria y, a continuación, un máximo de 30 segundos más para elegir, según su propio criterio, qué sentimiento de entre las 4 opciones describía mejor la fotografía. Se pidió a los sujetos participantes que nombraran el sentimiento y se anotaban sus respuestas hasta completar la prueba.

Además de analizar el desempeño y rendimiento en el proceso de identificación de emociones por parte de cada sujeto del estudio, lo cual se puede ver reflejado en el número de aciertos que han obtenido en la prueba, también se analizaron otros parámetros durante la realización del test, relacionados con el patrón/comportamiento visual del individuo, y con la actividad pupilar.

Así pues, junto a la capacidad para identificar emociones, en el presente estudio se analizó el patrón visual realizado y la reactividad pupilar.

2.4. Análisis de los datos

El procesamiento de los datos se realizó en base a un estudio similar previo (Maza et al., 2020), con la diferencia de que en el presente estudio se ha utilizado como herramienta para la evaluación cognitiva el test RMET. El procesamiento de los datos se basa en la extracción de los parámetros necesarios para la realización del estudio a partir de toda la información adquirida de los sujetos durante las pruebas. Este procedimiento se encuentra dividido en cuatro procesos: análisis de las respuestas de identificación de emociones de los sujetos, extracción de parámetros de comportamiento visual, tratamiento de las señales pupilares y creación de la matriz final de parámetros a partir de la cual se realizará el posterior análisis estadístico.

En cuanto al análisis de las respuestas de identificación de emociones de los sujetos, en primer lugar, se realizó el pase a mano de todas las respuestas para cada uno de los sujetos. Cada respuesta, correspondiente a un sentimiento, se codificó con un número y, por otra parte, se extrajeron los sentimientos solución para cada imagen del test, también codificados con su correspondiente número siguiendo el mismo patrón de codificación. La comprobación de si la

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

respuesta dada por el sujeto es la correcta o no es un proceso sencillo que se realiza íntegramente en MATLAB. Este proceso consiste básicamente en extraer el número del estímulo correspondiente a cada imagen del test en el orden en el que le ha aparecido a cada sujeto. Los estímulos (las imágenes del test) siguen un orden de aparición aleatorio, y éste varía para cada sujeto. Por ello, extraer correctamente el número del estímulo en el orden en el que ha aparecido a cada sujeto es de vital importancia. A continuación, se identifica ese número del estímulo con su correspondiente solución, también codificada como otro número siguiendo el mismo patrón de codificación. Después, se comparan estas soluciones con las respuestas que han dado cada sujeto a cada imagen o estímulo del test, y se extrae el número de aciertos y el porcentaje de acierto total para cada sujeto.

2.4.1. Análisis del comportamiento visual

Con respecto a los parámetros relacionados con el comportamiento visual del individuo, se dividió cada una de las imágenes que componen el RMET en áreas de interés. En nuestro caso, debido a que las fotografías muestran una parte muy reducida de la cara, únicamente se dividieron las imágenes en 5 regiones de interés, que se corresponden con ojos, cejas, nariz, entrecejo y resto de la imagen. En la Figura 10, se muestra un ejemplo gráfico de estas 5 regiones o áreas de interés en las que dividimos cada una de las imágenes del test.

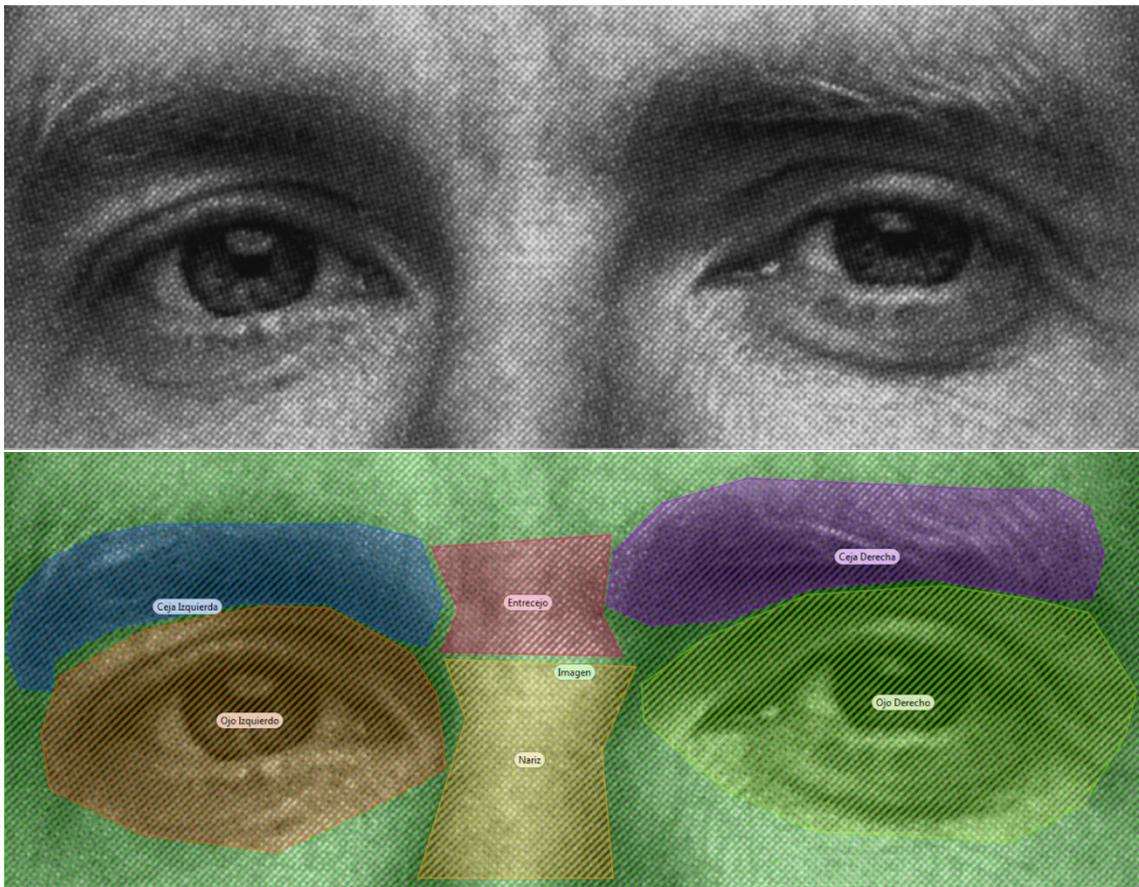


Figura 10. Ejemplo de las áreas de interés (AOI) en las que dividimos cada una de las imágenes del test RMET para su posterior análisis, extraída de Tobii Studio.

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

Posteriormente, se integró el ojo derecho e izquierdo en una única región a la que se identificó como “ojos”, y el mismo proceso se realizó para la ceja derecha e izquierda, obteniendo una nueva región llamada “cejas”. Se realiza primeramente un análisis en el que se comparan las regiones de los ojos y las cejas juntas con respecto al resto de la imagen, y posteriormente se realiza un segundo análisis en el que se tratan las regiones de ojos y cejas por separado y en comparación con el resto de la imagen. En ambos análisis se obtienen y se evalúan dos parámetros para cada región:

- Número de fijaciones (FC): correspondiente a la cantidad total de fijaciones realizadas durante el estímulo en el área de interés en cuestión. Empleamos para ello la detección de fijaciones dada por defecto en el dispositivo *eye-tracker*. El proceso, de forma simplificada, se basa en la obtención de la velocidad de cambio en el espacio de cada una de las muestras adquiridas, es decir, de la derivada. Si esta velocidad es menor que un umbral establecido (2.12 píxeles/ms, por defecto) se clasifica como fijación (puesto que la mirada se mantiene estática en una región del estímulo) y, en función de si la muestra previa también es una fijación o no, se cataloga la muestra actual como perteneciente a una fijación ya definida o como una nueva, respectivamente.
- Duración total de las fijaciones (TFD): correspondiente a la suma de la duración de todas las fijaciones realizadas durante el estímulo, es decir, durante el tiempo en el que se representa cada una de las imágenes del test, y sobre una determinada área de interés.

Finalmente, el software nos da automáticamente como resultado estos dos parámetros para cada área de interés definida en cada una de las imágenes.

2.4.2. Análisis de la actividad pupilar

Además, se estudió la reacción pupilar durante la prueba. Para ello, se calculó el parámetro de variación media del diámetro pupilar (PD), que se corresponde con el cambio medio del PD ante la presencia del estímulo, en este caso, cada una de las imágenes de la prueba.

Para el análisis de la actividad pupilar se definió, en primer lugar, como segmento al intervalo de 5 segundos durante los cuales se presentó el estímulo. Además, como ya se comentó en el apartado 1.1.2. Otros test de evaluación de cognición social de la introducción, el tamaño pupilar basal varía de una persona a otra por lo que para poder realizar comparaciones entre sujetos fue necesaria su normalización. Con esta finalidad, se adquiere también información pupilar de un intervalo de tiempo previo a la presentación del estímulo que se define como *baseline*. Respecto al tamaño temporal de esta, se consultó un estudio (Kret & Sjak-Shie, 2019) que sirvió de base para realizar una comparativa variando, de forma experimental, entre 100, 200, 300 y 500 ms su longitud. Finalmente se decidió establecer este tiempo en 300 ms puesto que fue el que presentó una menor pérdida de datos.

Como ya se ha explicado en el apartado 1.1.1. Test de evaluación de cognición social y teoría de la mente, el test está compuesto por 37 fotografías, por lo que se obtuvieron 37 *baselines* y 37 segmentos para cada sujeto. El dispositivo *eye-tracker* presenta una frecuencia de muestreo de 300 Hz, por lo que cada segmento debería contener 1500 muestras (300 muestras/s * 5 s) y cada *baseline* 90 muestras (300 muestras/s * 0.3 s). No obstante, el dispositivo tiene cierto margen

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

de error en la velocidad de adquisición de manera que, es necesario homogeneizar el número de muestras recogidas quedándonos con las primeras 1500 de los segmentos y las primeras 90 de las *baselines*. En este punto, también es importante destacar que los primeros 2 segundos de cada segmento también se descartaron para eliminar la contracción inicial de la pupila debida al cambio de luz al introducir en la pantalla la nueva fotografía.

También es muy importante realizar un adecuado tratamiento de los datos perdidos en las señales de PD. Existen diversas causas que pueden producir que el dispositivo *eye-tracker* deje de adquirir correctamente los datos, provocando pérdida de información y espacios en blanco. Se define como datos perdidos a las muestras donde, para uno u ambos ojos, la información no se ha adquirido correctamente. Entre las causas de aparición de estos datos perdidos, el motivo más común es el parpadeo. Su duración media es de 0.1 a 0.4 s (*Brain Facts and Figures*, n.d.), lo cual se traduce en una pérdida de aproximadamente 120 muestras cada vez que ocurre. Otra posible causa es la presencia de las denominadas sacadas (movimientos bruscos de los ojos que dirigen la mirada de una fijación a la siguiente), y cuya duración media es de 0.02 a 0.04 s (*Types of Eye Movements*, n.d.). Otras posibles causas son el desvío de la mirada a otras zonas localizadas fuera del rango de adquisición del *eye-tracker* o la realización por parte del sujeto de algún movimiento brusco con la cabeza. Además, si éste interfiere entre los sensores del dispositivo y sus ojos (tapando el sensor con la mano, por ejemplo) también se perderá información. Estos fallos se presentan en los registros en modo de celdas vacías y su tratamiento y corrección es necesario puesto que pueden alterar significativamente la señal pudiendo desembocar en la obtención de parámetros alejados de la realidad.

Para el correcto tratamiento de la señal y evitar que estos datos perdidos afecten a la calidad de esta, se realizan un total de 7 pasos hasta la obtención de una nueva señal más limpia y adecuada para la extracción, a partir de ella, de los parámetros deseados. Estos pasos se explican resumidamente a continuación:

Detección y eliminación de registros con poca información

La calidad y veracidad de un registro dependen en gran medida de la cantidad de datos perdidos que éste presente. Por ello, se decide eliminar todos los registros donde la cantidad de datos perdidos es superior al 50% del total. Además, como para el cálculo de la variación del tamaño pupilar frente a un estímulo son necesarios tanto los segmentos, como sus *baselines* complementarias, es necesario descartar también aquellos registros que, pese a no presentar más del 50% de datos perdidos, no contienen su información complementaria. Por ejemplo, si el segmento 2 de un sujeto se descarta por presentar más del 50% de datos perdidos, también es necesario descartar el registro de *baseline* 2 del mismo sujeto independientemente de la cantidad de datos perdidos que posea.

Homogeneización de muestras parcialmente perdidas

Los registros resultantes tras el proceso anterior no están completamente libres de datos perdidos ya que, en mayor o menor cantidad, también los presentan. Para cada registro, se buscan aquellas muestras donde uno de los dos valores de PD, el del ojo izquierdo o el del ojo derecho, es un dato perdido. En estas muestras, tanto el valor perdido como el de PD del otro ojo se consideran no válidos y se sustituyen por cero.

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

Detección y eliminación de cambios de dilatación pupilar no fisiológicos

En primer lugar, se realiza un promediado de los valores obtenidos de tamaño pupilar del ojo izquierdo con los del ojo derecho. Con ello se consigue reducir la cantidad de información de manera considerable y nos facilitará su posterior procesado. En segundo lugar, se detectan en la señal cambios en el tamaño pupilar que sean excesivamente abruptos. A estos se les denomina no fisiológicos puesto que se considera que son demasiado rápidos como para proceder del sujeto y, por tanto, deben ser eliminados.

Para detectar estos cambios no fisiológicos nos basamos en la derivada de la señal. Así se obtiene, para cada instante, la velocidad de cambio que experimenta el PD entre muestras consecutivas a lo largo de todo el registro. Cuanto más abrupto es el cambio de PD de un instante al siguiente los picos obtenidos en la derivada son más grandes (cambios más rápidos). Se estima, que los cambios en la dilatación pupilar que se llevan a cabo a una velocidad superior a 5 mm/s, son no fisiológicos, tratándose por tanto de artefactos tecnológicos.

Por esta razón, todos los valores de PD en que su derivada presentan valores mayores a este umbral se eliminan sustituyendo su valor por cero. Una vez que realizamos este cambio en la señal, se nos introduce un nuevo problema consistente en la generación de nuevos cambios rápidos adyacentes, que también debemos eliminar si no queremos afectar a la calidad de la señal. Por ello, se realiza una segunda derivada, aplicando el mismo umbral y eliminamos los registros que de nuevo se encuentren por encima de él. La decisión del número de derivadas a realizar sobre la señal se lleva a cabo de forma experimental, intentando eliminar la mayor cantidad de picos abruptos posibles sin comprometer la calidad de la señal bien adquirida.

Interpolación lineal de la señal

Tras eliminar estos cambios no fisiológicos en la señal de PD, obtenemos una señal mucho más limpia que la original a partir de la cual ya sí que podemos interpolar las regiones de datos perdidos presentes en dicha señal. Para llevar a cabo esta interpolación lineal, se utiliza el polinomio de interpolación de Newton de primer grado, con el que se puede realizar una estimación de los valores que presentarían los datos perdidos si se hubiera realizado una correcta adquisición de ellos.

Suavizado de la señal

Tras la interpolación, es necesario realizar un suavizado de la señal a través de la aplicación de un filtro de media móvil, el cual se basa en el cálculo de la media de un subconjunto de datos consecutivos de la señal. La cantidad de datos de cada subconjunto se puede variar en función del tamaño de ventana, de forma que la ventana se irá desplazando por la señal, calculando la media de cada nuevo subconjunto de datos.

La señal suavizada que obtendremos como resultado será por tanto una nueva señal generada a partir de la media de todos los subconjuntos de datos definidos en función del tamaño de ventana. El nivel de suavizado de la señal variará dependiendo del tamaño de ventana que elijamos puesto que esto afecta a que se incluyan más o menos datos en cada promedio para el cálculo de la nueva señal. Cuanto mayor sea el tamaño de la ventana, más suavizada resultará nuestra nueva señal. En nuestro caso, elegimos un tamaño de ventana de $T=0.1$ s, y obtenemos de esta manera, una nueva señal de dilatación pupilar suavizada.

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

Normalización de la señal

Como ya se ha comentado anteriormente, el tamaño pupilar varía en función de la persona, siendo este de entre 3 y 4.5 mm de diámetro. Así, para poder comparar los datos obtenidos para diferentes sujetos se obtiene la variación de PD de cada segmento respecto a su *baseline*, que como ya sabemos, son los valores de PD cuando no hay presencia de estímulo. Esta normalización se realiza a partir de la resta de la señal de cada segmento menos la media de la señal de *baseline* correspondiente tal y como se muestra en la Ecuación 1.

$$\text{Señal PD normalizada} = \text{Segmento}_k - \overline{\text{Baseline}_k}$$

Ecuación 1. Fórmula utilizada para la obtención de la señal de PD normalizada. Señal de $\overline{\text{Baseline}_k}$ = media de la señal de baseline k, k=1, 2, ..., 37 (número de estímulo).

De esta manera, al aplicar este proceso de normalización a la señal suavizada anterior, obtenemos una nueva señal de PD, con la diferencia de que esta está ya normalizada y no afecta la posible diferencia de tamaños pupilares en reposo de los sujetos entre sí. Esta señal es la que nos permitirá extraer los parámetros que buscamos en nuestro estudio, ya que es la equivalente a la variación del tamaño pupilar respecto al valor medio pupilar de los 300 ms previos a la presentación del estímulo.

Extracción de parámetros

Por último, como hemos explicado anteriormente, a partir de esta señal normalizada se extrae el parámetro de variación media de PD que utilizaremos en nuestro estudio, que se corresponde con el promedio de la señal de PD normalizada.

Por tanto, para cada sujeto se obtiene este parámetro para cada uno de los 37 estímulos empleados durante la prueba (como máximo, en caso de que no se haya eliminado ningún registro durante el preprocesado anterior). Finalmente, se hace la media de este parámetro de los 37 estímulos, y se obtiene la variación media de PD para cada sujeto del estudio.

2.4.3. Creación de la matriz de datos y parámetros finales

Finalmente, para la obtención de la matriz de datos y parámetros finales definitiva que posteriormente utilizaremos para realizar los análisis en el programa SPSS, únicamente realizamos una agrupación de los parámetros de estudio para cada sujeto. Así, de esta forma, tenemos por una parte los parámetros correspondientes a la categorización de emociones, que son el número de aciertos y el porcentaje de aciertos total. Por otra parte, tenemos los parámetros de comportamiento visual, que son un total de 8, TFD y FC para cada una de las cuatro áreas de interés o zonas de estudio en las imágenes del test (ojos, cejas, ojos-cejas y otras zonas). Además, también tenemos el parámetro correspondiente a la actividad pupilar, la variación media de PD de cada sujeto. Finalmente, agrupamos todos estos parámetros en una matriz y los juntamos con las variables de los datos demográficos que poseemos de todos los

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

sujetos, conformando así la matriz final de datos y parámetros de estudio. Por último, antes de introducir esta matriz en el programa SPSS para realizar los análisis, eliminamos los posibles *outliers* que encontremos en ella. Para ello, se calcula el Z-Score de cada uno de los datos en función del parámetro al que pertenecen y se establece como *outlier* a aquel dato cuyo Z-Score sea superior a 3 desviaciones estándar de su valor medio. De esta manera, se detectan un total de 10 *outliers*, que son eliminados de la matriz. Una vez realizada esta operación, se procede a realizar los análisis de los datos.

2.4.4. Análisis estadístico

Se realizaron pruebas Chi-Cuadrado y U de Mann-Whitney para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas en el sexo, la edad y el nivel educativo entre los grupos de control y pacientes. El resultado de estas pruebas evidenció que no existían diferencias estadísticamente significativas en estas variables entre los dos grupos y, por tanto, las únicas diferencias que cabría esperar se deben únicamente a diferencias clínicas.

Se realizaron pruebas de normalidad para conocer la distribución que siguen las variables de estudio. Como la muestra estuvo formada por 50 controles y 33 pacientes, se optó por realizar el test de Shapiro-Wilk, utilizado para muestras no superiores a 50 observaciones. Las pruebas de normalidad evidenciaron que la mayor parte de variables no siguieron una distribución normal, por lo que se determinó utilizar estadística no paramétrica.

Por lo tanto, se realizaron pruebas U de Mann-Whitney para determinar las diferencias en el desempeño en el proceso de identificación de emociones entre el grupo de controles y el grupo de pacientes con ictus (puesto de manifiesto en la variable % de aciertos). En segundo lugar, también se realizaron pruebas U de Mann-Whitney para determinar las diferencias en el comportamiento visual del grupo control frente al grupo de pacientes con ictus (puesto de manifiesto en las variables de TFD y FC de cada una de las zonas de interés). Un primer análisis se centró únicamente en 2 áreas de interés (ojos y cejas juntos en comparación con otras zonas) y un segundo análisis en 3 áreas de interés (ojos y cejas por separado, y otras zonas). Por último, se repitieron pruebas U de Mann-Whitney para determinar las diferencias en la actividad pupilar entre el grupo de controles y el grupo de pacientes con ictus.

3. Resultados del estudio

3.1. Diferencias en las respuestas de los sujetos control y pacientes con ictus

Tras analizar las respuestas de todos sujetos, tanto controles como pacientes de ictus, a la prueba a la que fueron sometidos, el test RMET, se obtuvo el porcentaje de respuestas correctas de cada sujeto. Dividimos estos sujetos en los dos grupos de estudio, controles y pacientes con ictus, y se obtuvo un porcentaje de acierto medio para el grupo de controles del 63.5%, mientras que para el grupo de pacientes con ictus este porcentaje descendió hasta el 56.7%. El mínimo y el máximo porcentaje de acierto para el grupo de control fue del 32.4% y 83.8% respectivamente, mientras que, para el grupo de pacientes, el mínimo y el máximo porcentaje de acierto fue del 27% y 78.4%, respectivamente.

Las pruebas U de Mann-Whitney mostraron un p-valor igual a 0.043, evidenciando diferencias estadísticamente significativas en las respuestas del test entre los grupos de control y pacientes. Los resultados indican, pues, que los controles tienen, significativamente, una mayor tasa de aciertos a la hora de categorizar emociones que los pacientes con ictus.

3.2. Diferencias en el comportamiento visual de los sujetos control y pacientes con ictus

Las pruebas U de Mann-Whitney evidenciaron que no existieron diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento visual entre el grupo de control y el grupo de pacientes con ictus en ninguna de las variables analizadas. Sin embargo, sí que se detectaron tendencias a la significación (p-valor situado entre 0.05 y 0.1) en las variables “TFD Cejas” y “FC Otras Zonas”. En la Tabla 2, se pueden apreciar los resultados obtenidos para cada una de las variables de comportamiento visual para los grupos de controles y pacientes, junto con su correspondiente p-valor.

De estos resultados puede extraerse que, pese a que los controles parece que invirtieron más tiempo que los pacientes en visualizar la zona de las cejas para extraer información de la imagen, estas diferencias no fueron significativas.

| <i>Variables de comportamiento visual</i> | <i>Controles</i> | <i>Pacientes</i> | <i>Significación</i> |
|--|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| <i>TFD Ojos (s)</i> | 1.373 (0.196-2.014) | 1.445 (0.151-2.038) | p=0.710 |
| <i>FC Ojos (n)</i> | 6.417 (2.692-16.892) | 7.151 (3.428-13.031) | p=0.242 |
| <i>TFD Cejas (s)</i> | 0.395 (0.037-1.026) | 0.328 (0.077-0.851) | p=0.065 |

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

| | | | |
|---------------------|---------------------|----------------------|---------|
| FC Cejas (n) | 2.5 (1-9.657) | 2.714 (1-9.313) | p=0.441 |
| TFD Ojos-Cejas (s) | 1.678 (0.913-2.131) | 1.583 (0.652-2.046) | p=0.296 |
| FC Ojos-Cejas (n) | 7.639 (4.054-23.27) | 8.216 (4.167-19.667) | p=0.240 |
| TFD Otras Zonas (s) | 0.334 (0.082-0.911) | 0.383 (0.168-0.796) | p=0.392 |
| FC Otras Zonas (n) | 2.519 (1.231-8.353) | 3.2 (1.667-8.657) | p=0.055 |

Tabla 2. Resultados del comportamiento visual de los sujetos durante la realización de la prueba. Los datos se corresponden con la mediana y aparecen entre paréntesis el valor mínimo y el valor máximo, respectivamente. En rojo aparecen las variables que presentan tendencia a la significación estadística.

Por otra parte, también se puede apreciar en los resultados que los pacientes parecen realizar un mayor número de fijaciones que los controles a otras zonas en la imagen que no son ni ojos ni cejas. No es una diferencia estadísticamente significativa, pero sí que se aprecia una tendencia a la significación. Esto parece apuntar a que los pacientes con ictus podrían tratar de buscar más información en otras zonas que no son ojos ni cejas, realizando un mayor número de fijaciones que los controles, pero, sin embargo, la duración total del tiempo invertido en estas fijaciones en esta región es prácticamente el mismo para ambos grupos.

A continuación, en las siguientes ilustraciones, Figura 11 y Figura 12, se muestran los diagramas de caja y bigotes de la duración total de las fijaciones (s) y del número de fijaciones (n) realizadas a cada zona de estudio, diferenciadas para el grupo control y el grupo de pacientes con ictus:

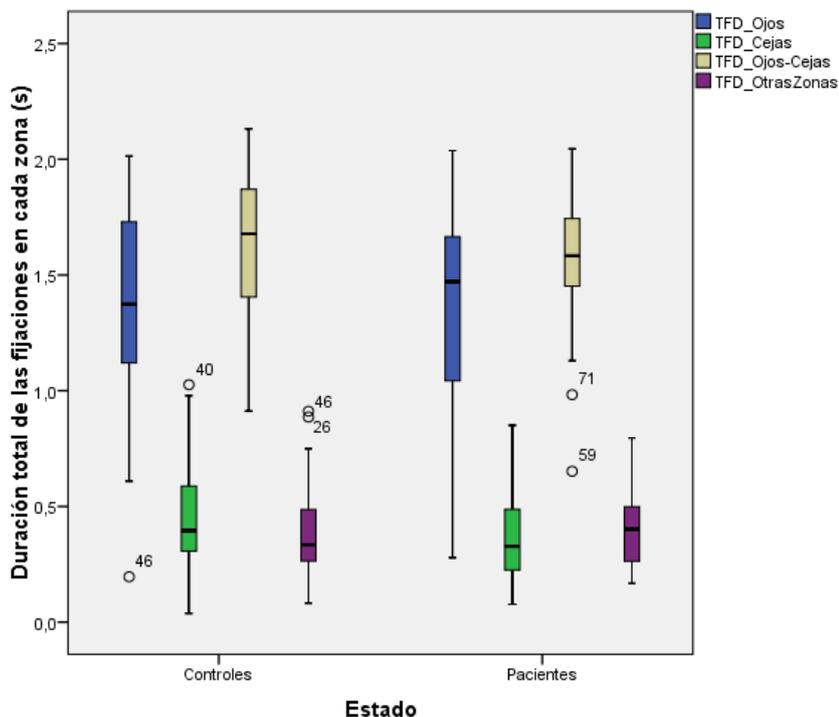


Figura 11. Diagrama de caja y bigotes de la duración total de las fijaciones para cada zona, en los grupos control y pacientes. En ellos se representan en el bigote inferior y superior los valores mínimo y máximo respectivamente para cada zona. Los rectángulos verticales se encuentran delimitados por los valores del primer y el tercer cuartil, y la raya horizontal presente en cada rectángulo indica el valor de la mediana. Los círculos indican la presencia de outliers, valores atípicos numéricamente distantes del resto de datos.

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

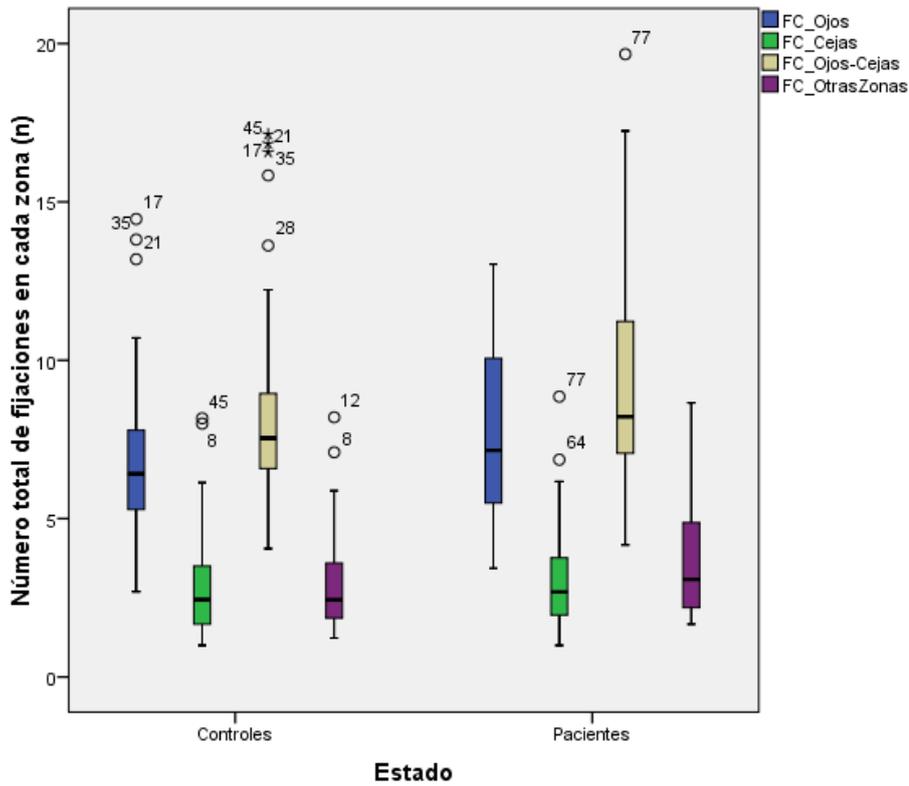


Figura 12. Diagrama de caja y bigotes del número total de fijaciones para cada zona, en los grupos control y pacientes. En ellos se representan en el bigote inferior y superior los valores mínimo y máximo respectivamente para cada zona. Los rectángulos verticales se encuentran delimitados por los valores del primer y el tercer cuartil, y la raya horizontal presente en cada rectángulo indica el valor de la mediana. Los círculos indican la presencia de outliers, valores atípicos numéricamente distantes del resto de datos. Los asteriscos indican la presencia de valores extremadamente distantes del resto de datos.

3.3. Diferencias en la actividad pupilar de los sujetos control y pacientes con ictus

La variación media de la dilatación pupilar fue de 0.223 mm para el grupo de controles, mientras que esta variación media de dilatación pupilar se incrementó hasta los 0.313 mm para el grupo de pacientes con ictus. Los valores de variación media de PD mínimo y máximo, respectivamente, fueron de 0.076 mm y 0.439 mm para el grupo de control, y de 0.097 mm y 0.477 mm para el grupo de pacientes con ictus. La prueba U de Mann-Whitney obtuvo un p-valor de 0.015, evidenciando diferencias estadísticamente significativas en la actividad pupilar entre los controles y los pacientes. Los resultados indicaron, pues, que los pacientes con ictus tuvieron una mayor variación media de la dilatación pupilar que el grupo de control. La siguiente ilustración, Figura 13, muestra los diagramas de caja y bigotes para la variable estudiada en la actividad pupilar para los grupos de control y pacientes:

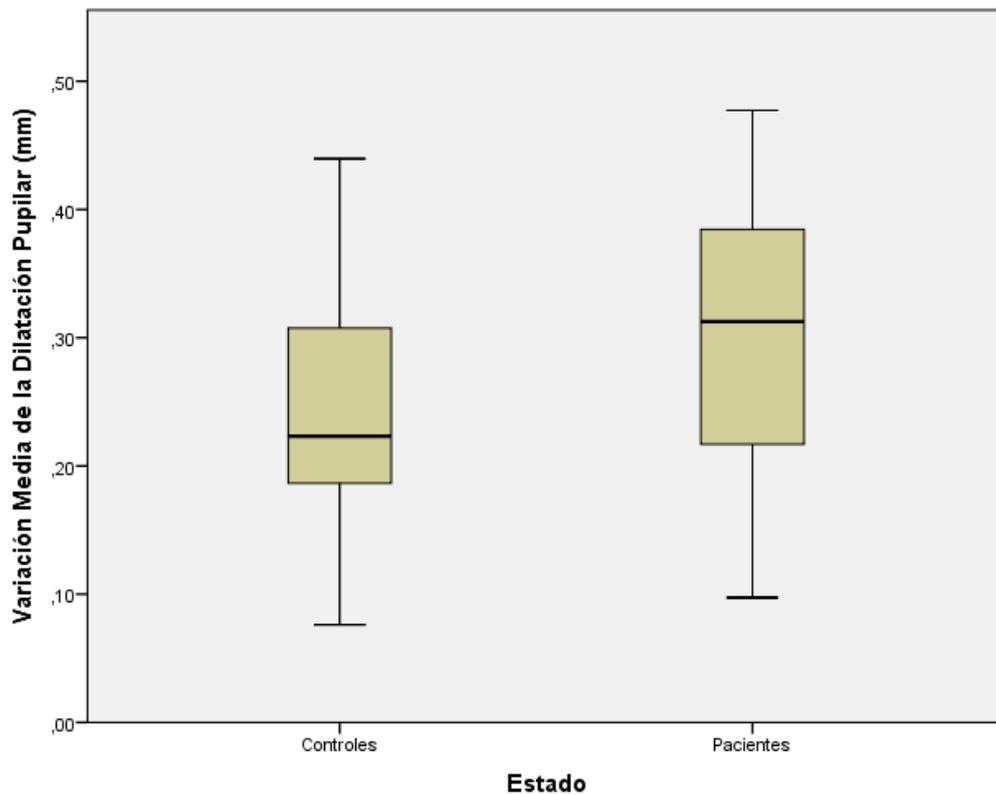


Figura 13. Diagrama de caja y bigotes de la variación media de la dilatación pupilar medida en milímetros para el grupo de controles y el grupo de pacientes. En ellos se representan en el bigote inferior y superior los valores mínimo y máximo respectivamente para cada grupo. Los rectángulos verticales se encuentran delimitados por los valores del primer y el tercer cuartil, y la raya horizontal presente en cada rectángulo indica el valor de la mediana.

4. Discusión de los resultados

Una vez se obtienen los resultados de nuestro estudio, desarrollados en el apartado anterior, se procede a la discusión de estos para tratar de dar respuesta a los objetivos y a las hipótesis planteadas al comienzo del presente trabajo. El objetivo principal del estudio consiste en determinar si existen diferencias significativas en la categorización de emociones entre un grupo de pacientes que han sufrido un ictus y un grupo de sujetos control. Con ello, se pretende evaluar el grado de deterioro cognitivo y social que sufren las personas tras el ictus, partiendo de la hipótesis general de que los pacientes que han sufrido un ictus tienen mayores dificultades para la categorización de emociones que los sujetos del grupo control. La explicación a lo mencionado anteriormente puede deberse a dos motivos principales. El primero, refleja que los pacientes con ictus no reciben correctamente la información del exterior debido a que se ha producido un deterioro en los procesos de adquisición de la misma y, por tanto, el hecho de que la información obtenida no sea la correcta sería el responsable de estos fallos en la categorización. Por otra parte, el segundo motivo refleja que los procesos de adquisición de la información son los adecuados, y por tanto la información obtenida es la correcta, pero, sin embargo, el deterioro se ha producido en el procesamiento neurológico posterior a nivel cerebral de esta información, siendo éste el motivo responsable de que se produzcan los fallos en la categorización de emociones.

Para poder conocer cuál de estos dos motivos es el que más se acerca a la realidad, se procede al análisis y la discusión de los resultados obtenidos para los dos grupos, controles y pacientes, en el rendimiento o desempeño en la categorización de las emociones de las imágenes, en el comportamiento visual y en la actividad pupilar durante la realización del test por separado.

4.1. Diferencias en la categorización de emociones

Con respecto a la categorización de emociones, los resultados de nuestro estudio indican que los pacientes con ictus tienen un menor porcentaje de acierto en el test que los sujetos control, lo que se traduce en que presentan mayor dificultad a la hora de categorizar las emociones. Concretamente, los pacientes con ictus presentan un 6.8% menos de aciertos que los controles (56.7% y 63.5% respectivamente), lo cual es una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.043$). Existen otros estudios en los que se evalúa a pacientes con ictus utilizando el test RMET (Adams et al., 2020), en los que se obtienen porcentajes similares de acierto que en nuestro estudio y más concretamente, existen otros estudios en los que, al igual que en nuestro caso, se comparan los porcentajes de acierto entre grupos control y pacientes utilizando el test RMET (Hamilton et al., 2017). En este último estudio se aprecia que los resultados siguen la misma tónica, en la cual los pacientes de ictus obtienen un menor porcentaje de acierto que el grupo de control. Concretamente, el porcentaje de acierto medio de los pacientes es del 48.7% (se divide a los pacientes con ictus en función de si éste se ha producido en el hemisferio derecho o el hemisferio izquierdo del cerebro) mientras que el del grupo control es del 63.15%, una diferencia entre ambos grupos incluso mayor, correspondiente al 14.45%. Una posible explicación de que esta diferencia en el porcentaje sea mayor que en nuestro caso es debida a que en este estudio se utilizan únicamente 26 fotografías en lugar de 37. Otros estudios también

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

realizaron comparaciones entre grupos de control y pacientes con traumatismos craneoencefálicos utilizando el test RMET (Dal Monte et al., 2014), obteniendo una diferencia entre los porcentajes de ambos grupos del 11,9%, en detrimento del grupo de pacientes con traumatismo craneoencefálico, cuyo rendimiento en la categorización de emociones fue peor que el del grupo control. Estos resultados nos muestran que cuando se realizan comparaciones entre un grupo control y otro grupo con pacientes de ictus o con traumatismos craneoencefálicos, el desempeño en la categorización de emociones es siempre inferior en este último grupo, por lo que se puede apuntar que el daño cerebral que han adquirido estos pacientes, ya sea por el ictus o por el traumatismo craneoencefálico, puede tener como consecuencia una dificultad o una limitación a la hora de categorizar emociones según el test RMET, con el que se evalúa la cognición social de estos sujetos.

4.2. Diferencias en el comportamiento visual

Con respecto a las diferencias en el comportamiento visual que se han obtenido como resultado del estudio, se establece que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de control y el grupo de pacientes con ictus en ninguna de las variables analizadas. Si bien es cierto, los controles invirtieron más tiempo en la visualización de la zona de las cejas que los pacientes, pero estas diferencias no fueron significativas. Además, cuando se analizan las zonas de ojos y cejas como una única zona conjunta (ojos-cejas), estas diferencias se vuelven inapreciables. Por otra parte, los resultados también parecen indicar que los pacientes realizan un mayor número de fijaciones a otras zonas de la imagen que no son ni ojos ni cejas de las que hacen los controles. Estas diferencias, al igual que antes, no son significativas, únicamente presentan tendencia a la significación. No obstante, la duración total del tiempo invertido en estas fijaciones a otras zonas de la imagen es prácticamente la misma para ambos grupos, por lo que tampoco existen diferencias significativas en esta variable.

Tratando de comparar los resultados obtenidos en el comportamiento visual en este estudio con otros estudios similares, no se han encontrado estudios que utilicen este test, el RMET, con *eye-tracking* como forma de evaluación del comportamiento visual de los sujetos tras sufrir un ictus. Únicamente se ha encontrado un estudio (Maza et al., 2020) que utiliza *eye-tracking* en pacientes con ictus para evaluar la identificación de expresiones faciales emocionales, pero en este caso no se utiliza el test RMET. En este estudio, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento visual en algunas emociones al comparar sujetos con ictus con rendimiento deficiente con sujetos sanos, pero estas diferencias significativas no aparecieron cuando se consideraron sujetos con ictus cuyo rendimiento era comparable al grupo de control. El estudio concluye afirmando que el desempeño del comportamiento visual, aunque no determinante, podría indicar que las alteraciones en el comportamiento visual podrían ser un factor que contribuya negativamente al reconocimiento de emociones de expresiones faciales. Sin embargo, esta información es meramente descriptiva, puesto que no se pueden establecer comparaciones con este estudio debido a que en él no se utiliza el test RMET para categorizar emociones, a diferencia del presente estudio.

4.3. Diferencias en la actividad pupilar

Con respecto a las diferencias en la actividad pupilar, los resultados indican claramente que hay diferencias estadísticamente significativas en la variación media de la dilatación pupilar entre el grupo de controles y el de pacientes con ictus. En este caso, el grupo de pacientes con ictus presenta una mayor variación media de la dilatación pupilar que el grupo de control, 0.313 mm de variación media frente a los 0.223 mm de variación media que presentan los controles. Estas diferencias son estadísticamente significativas ($p=0.015$). Consultando la bibliografía existente sobre la relación entre la actividad pupilar y el reconocimiento emocional, diversos estudios (Bradley & Lang, 2015; Kret & Sjak-Shie, 2019; Sirois & Brisson, 2014) reflejan que la pupilometría es una medida útil y confiable de las respuestas de los participantes a los estímulos emocionales, y que estas variaciones en el tamaño pupilar pueden observarse aún con mayor medida cuando los participantes ven imágenes excitantes (positivas o negativas) en comparación con imágenes neutras. Por otra parte, estos estudios señalan que el procesamiento facial revela una correlación entre el diámetro de la pupila y las calificaciones de agrado, demostrándose además que la variación en el tamaño de la pupila se puede modular mediante la exposición experimental a la hormona oxitocina. Además, cabe mencionar que estudios como el de Bradley & Lang, 2015, también relacionan la actividad pupilar con la memoria y con los procesos que intervienen en ella, junto con situaciones con una mayor carga cognitiva, responsables de esta variación en la actividad pupilar. Finalmente, el estudio de (Sirois & Brisson, 2014), concluye con que la pupilometría puede revelar además, en general, la capacidad para discriminar estados emocionales de rostros y expresiones corporales de emociones. En todos estudios mencionados anteriormente, el tamaño pupilar de los participantes fue similar al de los obtenidos en el presente estudio.

Finalmente, las diferencias obtenidas en la categorización de emociones podría evidenciar una mayor dificultad de los sujetos con ictus a detectar dichas emociones en terceras personas y, por tanto, presentar un menor nivel de cognición social. Por otro lado, el patrón visual entre ambas muestras es similar lo que parece indicar que los procesos de extracción de información no varían tras la aparición de un ictus. Sin embargo, la aparición de diferencias en la respuesta pupilar podría venir dado como consecuencia de una mayor carga cognitiva por parte de los sujetos con ictus durante el reconocimiento de emociones. No obstante, más estudios serían necesarios para corroborar estas hipótesis.

5. Conclusiones

Una vez discutidos los resultados obtenidos en el presente estudio, se procede a establecer una serie de conclusiones en base a los objetivos y las hipótesis planteadas al inicio de éste, tanto la hipótesis general, como las hipótesis secundarias.

En primer lugar, con respecto a la hipótesis general planteada, se concluye con que sí que existen diferencias parcialmente significativas en el reconocimiento de emociones entre el grupo de control y el grupo de pacientes que han sufrido un ictus, presentando este último mayores dificultades en la categorización de emociones que el grupo control. Además, para tratar de explicar estas diferencias, se concluye que la explicación de este peor rendimiento y desempeño en el test no se debe al proceso de adquisición de la información por parte de los pacientes con ictus, ya que éste es correcto, si no que se debe a un deterioro en las habilidades de procesamiento neurológico a nivel cerebral de dicha información tras haber sufrido el ictus.

En segundo lugar, con respecto a las hipótesis secundarias planteadas al principio del estudio, se concluye que:

- En referencia a la categorización de emociones, se cumple la hipótesis secundaria de que existen diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de aciertos obtenidos en el test entre el grupo de control y el grupo de pacientes de ictus.
- En referencia al comportamiento visual de los sujetos durante la realización del test, no se cumple la hipótesis secundaria de que existan diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el grupo de pacientes de ictus, ni en el tiempo que invierten cada grupo extrayendo la información en cada una de las zonas de las imágenes ni en el número de fijaciones que realizan a cada zona de la imagen, ya que los patrones de extracción de la información de ambos grupos son similares.
- En referencia a la dilatación pupilar, se cumple la hipótesis de que existen diferencias estadísticamente significativas en el grado de dilatación pupilar entre el grupo control y el grupo de pacientes con ictus durante la visualización de las imágenes del test.



PRESUPUESTO



1. Introducción

En este documento del TFG se presenta una valoración económica del trabajo realizado. En cualquier proyecto de investigación es de vital importancia presupuestar adecuadamente los recursos de los que se necesita disponer y los gastos derivados de la realización de este. Concretamente, en este estudio clínico, se requieren recursos de diferentes índoles, entre los que se encuentran los gastos en el *software* y *hardware* derivados de los recursos materiales, así como los gastos salariales derivados de la mano de obra del personal encargado de la realización del estudio. A continuación, se presentan los presupuestos parciales en función de cada tipo de recurso, y finalmente se presenta el presupuesto final del presente estudio.

2. Presupuestos parciales

2.1. Mano de obra

La mano de obra necesaria para llevar a cabo este proyecto ha sido la siguiente:

- Estudiante: Alberto Martín de la Sierra Rodríguez Bobada, en calidad de estudiante del Grado en Ingeniería Biomédica.
- Cotutora: Anny Michelle Maza Pino, investigadora de la Universidad Politécnica de Valencia, en calidad de consultora.
- Cotutor: Roberto Llorens Rodríguez, investigador de la Universidad Politécnica de Valencia y Doctor en Telecomunicaciones, en calidad de consultor.
- Tutor: Mariano Luis Alcañiz Raya, catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia, en calidad de consultor.

Los costes de los honorarios y las horas invertidas se muestran en la Tabla 3:

| Concepto | Unidades – Uds. | Cantidad (Uds.) | Coste unitario (€/Uds.) | Coste final (€) |
|------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Estudiante | horas | 300 | 12.50 | 3750 |
| Cotutora | horas | 25 | 17.50 | 437.50 |
| Cotutor | horas | 25 | 23.50 | 587.50 |
| Tutor | horas | 25 | 29.50 | 737.50 |

Tabla 3. Presupuesto parcial de la mano de obra.

2.2. Software

En cuanto al software utilizado en el estudio clínico, se han empleado diversos programas para llevarlo a cabo. En primer lugar, el test RMET utilizado en este estudio fue extraído del *Journal of Child Psychiatry and Psychiatry* (S. Baron-Cohen et al., 2001), de acceso gratuito. Para la adquisición y almacenamiento de los datos se utiliza el Tobii Studio 3.3.2, cuyo precio de licencia profesional se encuentra en (Tobii, 2012). Para el tratamiento y preprocesado de los datos se utiliza el *software* Matlab con licencia de uso para estudiante, en versión R2019b. El precio de adquisición de la licencia se extrae de (*Pricing and Licensing - MATLAB & Simulink*, n.d.). Para realizar el posterior análisis estadístico se utiliza el programa SPSS, cuyo precio de licencia se obtiene en (*SPSS Statistics - Precios - España | IBM*, n.d.). Por último, para la redacción del TFG y el almacenamiento de los datos se emplea Microsoft Office 365, cuyo precio de licencia se extrae de (*Comparación de Todos Los Planes de Microsoft 365 | Office 365 Es Ahora Microsoft 365*, n.d.).

La siguiente tabla, Tabla 4 , muestra un resumen del presupuesto parcial de costes de *software*:

| Concepto | Unidades – Uds. | Cantidad (Uds.) | Coste unitario (€/Uds.) | Coste final (€) |
|----------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Test RMET | - | 1 | 0 | 0 |
| Tobii Studio 3.3.2 | - | 1 | 7850.45 | 7850.45 |
| Matlab R2019b | años | 1 | 69 | 69 |
| SPSS | meses | 4 | 95.53 | 382.12 |
| Microsoft Office 365 | meses | 4 | 7 | 28 |

Tabla 4. Presupuesto parcial del software utilizado

2.3. Hardware

Los recursos de *hardware* utilizados para la realización del presente estudio son en primer lugar un ordenador personal, desde el cual se realiza la mayor parte del trabajo. Se trata del Lenovo Yoga 3 Pro, cuyo precio es de 1599€, extraído en (*Lenovo Yoga Pro 3, Análisis*, n.d.). Si se calcula aproximadamente como vida útil del ordenador 60 meses, lo equivalente a 5 años, se estima el coste mensual en 26.65€. En segundo lugar, el dispositivo *eye-tracker* utilizado para la realización del estudio tiene un coste de 39495.80€ (Tobii, 2012). Si se estima su tiempo medio de uso en 10 años, el equivalente a 120 meses, el coste mensual del dispositivo es de 329.13€. Por último, junto al dispositivo *eye-tracker*, también es necesario para la realización del estudio un ordenador de sobremesa y sus correspondientes periféricos. No es necesario que estos componentes sean de la última generación, bastará con que tengan unas prestaciones

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

aceptables que permitan llevar a cabo el estudio. Por ello, estimando el precio de un ordenador convencional de sobremesa en 600€, un monitor o pantalla de buena resolución y dimensiones de en torno a 23' en 120€ y sus correspondientes periféricos de un coste de en torno 20€, realizamos el mismo procedimiento que anteriormente, pero esta vez estimando su tiempo de vida útil en 5 años (60 meses). Obtenemos unos costes mensuales de 10€, 2€ y 0.33€, respectivamente.

La siguiente tabla, Tabla 5 , muestra un resumen del presupuesto parcial de costes de *hardware*:

| Concepto | Unidades – Uds. | Cantidad (Uds.) | Coste unitario (€/Uds.) | Coste final (€) |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Ordenador personal | meses | 4 | 26.65 | 106.6 |
| <i>Eye-tracker</i> Tobii TX300 | meses | 4 | 329.13 | 1316.52 |
| Ordenador de sobremesa | meses | 4 | 10 | 40 |
| Monitor | meses | 4 | 2 | 8 |
| Periféricos | meses | 4 | 0.33 | 1.33 |

Tabla 5. Presupuesto parcial del hardware utilizado

3. Presupuesto final

Una vez hemos desglosado los costes de mano de obra, *hardware* y *software* en los presupuestos parciales, se presenta a continuación el presupuesto final necesario para llevar a cabo este estudio. En este punto, se debe añadir también el impuesto sobre el valor añadido (IVA) del 21%. De esta manera, en la Tabla 6, se muestra el presupuesto final del estudio.

| Concepto | Coste (€) |
|---------------------------|------------------|
| Mano de obra | 5512.50 |
| <i>Software</i> | 8329.57 |
| <i>Hardware</i> | 1472.45 |
| Presupuesto final sin IVA | 15314.52 |
| IVA (21%) | 3216.05 |
| Presupuesto final total | 18530.57 |

Tabla 6. Presupuesto final del Trabajo de Final de Grado

Por tanto, el coste total de la realización de este estudio que ha servido como Trabajo de Final de Grado ha sido de 18.530,57€.

Referencias y bibliografía:

- 29 de Octubre - Día Mundial del Accidente Cerebro Vascular - Instituto de Bioquímica Clínica. (n.d.). Retrieved June 19, 2020, from <http://www.ibcrosario.com.ar/articulos/accidente-cerebro-vascular.html>
- Adams, A. G., Henry, J. D., Molenberghs, P., Robinson, G. A., Nott, Z., & von Hippel, W. (2020). The relationship between social cognitive difficulties in the acute stages of stroke and later functional outcomes. *Social Neuroscience, 15*(2), 158–169. <https://doi.org/10.1080/17470919.2019.1668845>
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Hill, J., Raste, Y., & Plumb, I. (2001). The “Reading the Mind in the Eyes” Test revised version: A study with normal adults, and adults with Asperger syndrome or high-functioning autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, 42*(2), 241–251. <https://doi.org/10.1017/S0021963001006643>
- Baron-Cohen, Simon, O’Riordan, M., Stone, V., Jones, R., & Plaisted, K. (1999). Recognition of Faux Pas by Normally Developing Children and Children with Asperger Syndrome or High-Functioning Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 29*(5). <https://doi.org/10.1053/j.otism.2009.08.002>
- Bek, J., Poliakoff, E., & Lander, K. (2020). Measuring emotion recognition by people with Parkinson’s disease using eye-tracking with dynamic facial expressions. In *Journal of Neuroscience Methods* (Vol. 331, p. 108524). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2019.108524>
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2015). Memory, emotion, and pupil diameter: Repetition of natural scenes. *Psychophysiology, 52*(9), 1186–1193. <https://doi.org/10.1111/psyp.12442>
- Brain Facts and Figures*. (n.d.). Retrieved September 2, 2020, from <https://faculty.washington.edu/chudler/facts.html#sensory>
- Código Ictus - Federación Española del Ictus*. (n.d.). Retrieved June 19, 2020, from <https://ictusfederacion.es/infoictus/codigo-ictus/>
- Comparación de todos los planes de Microsoft 365 | Office 365 es ahora Microsoft 365*. (n.d.). Retrieved September 3, 2020, from <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/buy/compare-all-microsoft-365-products-b>
- Dal Monte, O., Schintu, S., Pardini, M., Berti, A., Wassermann, E. M., Grafman, J., & Krueger, F. (2014). The left inferior frontal gyrus is crucial for reading the mind in the eyes: Brain lesion evidence. *Cortex, 58*, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.05.002>
- Daño Cerebral Adquirido*. (n.d.). Retrieved June 19, 2020, from <https://fedace.org/dano-cerebral-adquirido.html>
- Dehning, S., Reiß, E., Krause, D., Gasperi, S., Meyer, S., Dargel, S., Müller, N., & Siebeck, M. (2014). Empathy in high-tech and high-touch medicine. *Patient Education and Counseling, 95*(2), 259–264. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2014.01.013>
- Del Valle Rubido, M., McCracken, J. T., Hollander, E., Shic, F., Noeldeke, J., Boak, L., Khwaja, O., Sadikhov, S., Fontoura, P., & Umbricht, D. (2018). In Search of Biomarkers for Autism Spectrum Disorder. *Autism Research, 11*(11), 1567–1579. <https://doi.org/10.1002/aur.2026>
- Domínguez D, J. F., Nott, Z., Horne, K., Prangley, T., Adams, A. G., Henry, J. D., & Molenberghs,

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS
Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

- P. (2019). Structural and functional brain correlates of theory of mind impairment post-stroke. *Cortex*, 121, 427–442. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.09.017>
- EL ATLAS DEL ICTUS ESPAÑA 2019. (n.d.).
- Evaluación de la cognición social*. (n.d.). Retrieved June 23, 2020, from <https://www.aita-menni.org/es/noticias/efectividad-entrenamiento-cognicion-social-personas-11604.html>
- Fernandes, J. M., Cajão, R., Lopes, R., Jerónimo, R., & Barahona-Corrêa, J. B. (2018). Social Cognition in Schizophrenia and Autism Spectrum Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis of Direct Comparisons. *Frontiers in Psychiatry*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2018.00504>
- Flores Lázaro, J. C., & Ostrosky-Solís, F. (2008). Neuropsicología de Lóbulos Frontales, Funciones Ejecutivas y Conducta Humana. *Laboratorio de Psicofisiología y Neuropsicología, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México y División Académica de Ciencias de La Salud, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa Tabasco, México.*, 8(1), 47–58.
- García Ferrer, S., Ruiz Ruiz, J., & Fuentes Durá, I. (2006). La relevancia de la cognición social en la esquizofrenia. *Apuntes de Psicología*, 24(1), 137–155.
- Genova, H. M., Lancaster, K., Lengenfelder, J., Bober, C. P., DeLuca, J., & Chiaravalloti, N. D. (2020). Relationship between social cognition and fatigue, depressive symptoms, and anxiety in multiple sclerosis. *Journal of Neuropsychology*, 14(2), 213–225. <https://doi.org/10.1111/jnp.12185>
- González Rey, F. (2008). Subjetividad social, sujeto y representaciones sociales Social subjectivity, subject and social representation. In *revista diversitas-PersPectivas en Psicología issn* (Vol. 4).
- Hamilton, J., Radlak, B., Morris, P. G., & Phillips, L. H. (2017). Theory of Mind and Executive Functioning Following Stroke. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 32(5), 507–518. <https://doi.org/10.1093/arclin/acx035>
- Harms, M. B., Martin, A., & Wallace, G. L. (2010). Facial emotion recognition in autism spectrum disorders: A review of behavioral and neuroimaging studies. In *Neuropsychology Review* (Vol. 20, Issue 3, pp. 290–322). <https://doi.org/10.1007/s11065-010-9138-6>
- How do Tobii Eye Trackers work? - Learn more with Tobii Pro*. (2015). <https://www.tobii.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/how-do-tobii-eye-trackers-work/>
- J. Díaz-Guzmán, J.A. Egido-Herrero, B. Fuentes, C. Fernández-Pérez, R. Gabriel-Sánchez, G. Barberà, S. A. (2009). Incidencia de ictus en España: estudio Iberictus. Datos del estudio piloto. *Revista de Neurología*, 48, 61–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.33588/rn.4802.2008577>
- Kret, M. E., & Sjak-Shie, E. E. (2019). Preprocessing pupil size data: Guidelines and code. *Behavior Research Methods*, 51(3), 1336–1342. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1075-y>
- Kynast, J., & Schroeter, M. L. (2018). Sex, age, and emotional valence: Revealing possible biases in the “reading the mind in the eyes” task. *Frontiers in Psychology*, 9(APR). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00570>

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS
Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

- La importancia de la cognición social | Psyciencia.* (n.d.). Retrieved June 15, 2020, from <https://www.psyciencia.com/la-importancia-de-la-cognicion-social/>
- Lenovo Yoga Pro 3, análisis.* (n.d.). Retrieved September 3, 2020, from <https://www.xataka.com/analisis/lenovo-yoga-pro-3-analisis>
- Lim, J. Z., Mountstephens, J., & Teo, J. (2020). Emotion recognition using eye-tracking: Taxonomy, review and current challenges. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 8, p. 2384). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s20082384>
- Los trastornos emocionales y conductuales tras el ictus | Red Menni.* (n.d.). Retrieved June 24, 2020, from <https://dañocerebral.es/publicacion/trastornos-emocionales-y-conductuales-tras-el-ictus/>
- Maza, A., Moliner, B., Ferri, J., & Llorens, R. (2020). Visual Behavior, Pupil Dilation, and Ability to Identify Emotions From Facial Expressions After Stroke. *Frontiers in Neurology*, 10(February), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.01415>
- Moliner Muñoz, B. (n.d.). *Cognición social en daño cerebral adquirido: relación con la conciencia de enfermedad y con la alteración de la conducta. TESIS DOCTORAL Autora : Belén Moliner Muñoz Universidad CEU Cardenal Herrera CEINDO-ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO Programa en M.*
- Németh, N., Péterfalvi, Á., Czéh, B., Tényi, T., & Simon, M. (2020). Examining the Relationship Between Executive Functions and Mentalizing Abilities of Patients With Borderline Personality Disorder. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01583>
- Organización Mundial de la Salud.* (n.d.). Retrieved June 19, 2020, from <https://www.who.int/es>
- Peñuelas-Calvo, I., Sareen, A., Sevilla-Llewellyn-Jones, J., & Fernández-Berrocal, P. (2019). *The “Reading the Mind in the Eyes” Test in Autism-Spectrum Disorders Comparison with Healthy Controls: A Systematic Review and Meta-analysis.* 49(3), 1048–1061. <https://doi.org/10.1007/s10803-018-3814-4>
- Plaza, D. I. (n.d.). *Societat Valenciana de Neurología. El ictus. ¿Qué es? ¿Cómo se trata? ¿Por qué ocurre?* Retrieved August 28, 2020, from <https://www.svneurologia.org/libroictusdefinitivo.pdf>
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Premack and Woodruff : Chimpanzee theory of mind. *Behavioral and Brain Sciences*, 4(1978), 515–526.
- Pricing and Licensing - MATLAB & Simulink.* (n.d.). Retrieved September 3, 2020, from <https://www.mathworks.com/pricing-licensing.html?prodcode=ML&intendeduse=student>
- Quemada, J. I., & Mimentza, N. (2017). Los trastornos emocionales y conductuales postictus. *Informaciones Psiquiátricas*, 228, 55–61. <http://www.informacionespsiquiatricas.com/admin-newsletter/uploads/docs/20170613161925.pdf>
- Sirois, S., & Brisson, J. (2014). Pupillometry. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science* (Vol. 5, Issue 6, pp. 679–692). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/wcs.1323>
- Sollberger, M., Rankin, K. P., & Miller, B. L. (2010). Social cognition. *CONTINUUM Lifelong Learning in Neurology*, 16(4), 69–85.

ESTUDIO DEL PATRÓN VISUAL Y LA ACTIVIDAD PUPILAR DE UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS
Y CON ICTUS DURANTE EL TEST READING THE MIND IN THE EYES

<https://doi.org/10.1212/01.CON.0000368261.15544.7c>

SPSS Statistics - Precios - España | IBM. (n.d.). Retrieved September 3, 2020, from <https://www.ibm.com/es-es/products/spss-statistics/pricing>

Test de Faux Pas: ¿qué es y para qué sirve? (n.d.). Retrieved June 19, 2020, from <https://psicologiyamente.com/clinica/test-faux-pas>

Tirapu-Ustárrroz J, García-Molina A, Luna-Lario P, Roig-Rovira T, P.-V. C. (2008). Modelos de funciones y control ejecutivo (I). *Revista de Neurología*, 46(11), 684–692.

Tirapu-Ustárrroz, J., Pérez-Sayes, G., Erekatxo-Bilbao, M., & Pelegrín-Valero, C. (2007). ¿Qué es la teoría de la mente? In *REV NEUROL* (Vol. 44, pp. 479–489). <https://doi.org/10.33588/rn.4408.2006295>

Tirapu-Ustárrroz, J., Pérez-Sayes, G., Erekatxo-Bilbao, M., & Pelegrín-Valero, C. (2007). ¿Qué es la teoría de la mente? *Revista de Neurología*, 44(8), 479–489. <https://doi.org/10.33588/rn.4408.2006295>

Tobii. (2012). *Tobii® Technology Products & Services – Price list*. 9. https://googlegroups.com/group/grupo-de-afectos-y-colaboracion/attach/ed20dc6bebacff9/Tobii_Price List_2012_USD.pdf?part=0.1

Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Product Description. (n.d.). Retrieved July 27, 2020, from www.tobii.com

Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Revision 2 User Manual. (n.d.). Retrieved July 27, 2020, from www.tobii.com

Tobii Pro TX300 screen-based eye tracker. (n.d.). Retrieved July 27, 2020, from <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-tx300/>

Tsang, V. (2018). Eye-tracking study on facial emotion recognition tasks in individuals with high-functioning autism spectrum disorders. *Autism*, 22(2), 161–170. <https://doi.org/10.1177/1362361316667830>

Types of eye movements. (n.d.). Retrieved September 2, 2020, from <https://www.tobiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/types-of-eye-movements/>

What do we study when we use eye tracking data? (2015). <https://www.tobiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/what-do-we-study-when-we-use-eye-tracking-data/>