

Contribuciones del Rastreo Ocular al Test de Percepción de Diferencias: Un Estudio en Población Universitaria

Eye Tracking Contributions to the Perception of Differences Test: A Study in University Population

Jessica A. del Punta¹, Elena Betegón², Gustavo Gasaneo¹,
María Jesús Irurtia² y Rodrigo de Luis García³

¹Departamento de Física, Universidad Nacional del Sur

²Departamento de Psicología, Universidad de Valladolid

³Laboratorio de Procesado de Imagen, Universidad de Valladolid

La mayoría de los instrumentos de evaluación resume una serie de parámetros que cuantifican el comportamiento, apoyándose en el sentido de la visión, pero no incluye medidas fisiológicas. El objetivo principal de esta investigación fue registrar los movimientos oculares de los participantes, mediante un dispositivo de seguimiento ocular (*Eye Tracking*, ET), durante la realización del Test de Percepción de Diferencias (CARAS), con el fin de delimitar ciertas magnitudes, como el tiempo o la velocidad de procesamiento por ítem. Se evaluó de forma individual a 44 estudiantes universitarios pertenecientes a la Universidad Nacional del Sur de Argentina, por medio de un muestreo incidental. se realizó un análisis comparativo entre el desempeño en los 3 primeros minutos y el final de la prueba, así como una evaluación de los ítems agrupados por bloques. Los resultados encontrados con el primer análisis sustentan la hipótesis de que los sujetos que necesitan mayor información para resolver el test realizan más fijaciones, en lugar de hacer fijaciones más largas, y esta estrategia se mantiene constante a lo largo de toda la tarea. El segundo análisis mostró un incremento en los valores medios de tiempos de resolución de cada ítem a medida que se avanza con la resolución del test, lo cual, combinado con un incremento en la dispersión hacia valores mayores de esta característica, puede ser un indicativo de fatiga atencional. Estos hallazgos evidencian que el uso del ET en la aplicación del test aporta información complementaria que podría potenciar las capacidades de evaluación del mismo.

Palabras clave: atención, seguimiento ocular, movimientos oculares, percepción, Test CARAS

Most of the assessment instruments summarize a series of parameters that quantify behavior based on the sense of vision, but do not include physiological measures. The main objective of this research was to record the eye movements of participants by means of an eye tracking device (ET), during the performance of Perception of Differences Test (PDT; CARAS in Spanish) in order to delimit magnitudes such as time or processing speed per item. 44 university students belonging to the Universidad Nacional del Sur in Argentina were evaluated individually, through incidental sampling. A comparative analysis was carried out between the performance in the first 3 minutes and the end of the test, as well as an evaluation of the items grouped by blocks. The results found with the first analysis support the hypothesis that the subjects who need more information to solve the test perform more fixations instead of making longer fixations, and this strategy remains constant throughout the entire task. The second analysis showed an increase in the mean values of resolution times for each item as the resolution of the test progresses, which combined with an increase in the dispersion towards higher values of this characteristic may be an indication of attention fatigue. These findings show that the use of ET in the application of the test provides complementary information that could enhance its evaluation capabilities.

Keywords: attention, eye tracking, eye movements, perception, Perception of Differences Test

Jessica A. del Punta  <https://orcid.org/0000-0003-2675-9915>

Elena Betegón  <https://orcid.org/0000-0001-6821-1080>

Gustavo Gasaneo  <https://orcid.org/0000-0001-6200-2851>

María Jesús Irurtia  <https://orcid.org/0000-0002-1613-3129>

Rodrigo de Luis García  <https://orcid.org/0000-0001-5023-6490>

La correspondencia relativa a este artículo debe ser dirigida a María Jesús Irurtia Muñiz, Facultad de Educación y Trabajo Social de la Universidad de Valladolid, Paseo de Belén, 1, 47011, Valladolid, España. Email: mjirurtia@uva.es

La comprensión de la conducta humana ha sido y sigue siendo uno de los desafíos científicos más grandes de la humanidad. Es una tarea que, a entender de los autores, requiere de un enfoque y trabajo conjunto desde diversas ciencias. A lo largo de la historia, su abordaje se ha asociado, principalmente, a saberes tales como la psicología, la biología, la medicina, la farmacología, entre otras, pero, en cierto modo, se ha mantenido alejado de otras ciencias, como la física, la matemática, la computación o la ingeniería. Recientemente, diversas ciencias han aunado sus esfuerzos en el estudio de esta temática, impulsando, así, un enfoque fuertemente interdisciplinar de lo que se conoce como neurociencias. Sin embargo, en cierto modo impulsado por necesidades diferentes, el estudio de la conducta humana ha dado lugar a líneas de investigación de corte teórico que en muchos casos se desarrollan separadamente del trabajo y la necesidad de las actividades clínicas. Esta separación ha conducido al surgimiento de modelos diferentes para un mismo constructo, como puede observarse, por ejemplo, en la definición de la atención. Por un lado, se encuentran los trabajos de Posner y Petersen (1990; Peterson & Posner, 2012), quienes hicieron uso de diversos recursos tecnológicos desarrollados por ciencias como la física y la ingeniería que, en buena medida, están disponibles en los laboratorios de investigación científica. Al mismo tiempo, Mirsky et al. (1991) desarrollaron recursos que eran imprescindibles para la evaluación clínica. Mientras que los primeros autores abordan el funcionamiento del cerebro desde un punto de vista químico-eléctrico y funcional, los segundos lo abordan desde un punto de vista clínico-estadístico.

En concreto, para el constructo *atención* se han desarrollado gran cantidad de pruebas que evalúan sus distintos aspectos desde el lado de la clínica, como pueden ser: (a) el Trail Making Test A y B (TMT) para evaluar la atención focalizada (Fernández et al., 2002; Reitan, 1958); (b) el Stroop (Golden, 1978; Stroop, 1935) para valorar la atención dividida o adaptativa; (c) el Test d2 para evaluar la atención selectiva y sostenida (Brickenkamp, 2002; Brickenkamp & Zillmer, 1999) y (d) el Perception of Differences Test (PDT) o test de CARAS en español (Thurstone & Yela, 2019) para analizar la atención sostenida. Estos test son utilizados cotidianamente por psicólogos, psicopedagogos y orientadores educativos en la evaluación clínica. No obstante, en general, los resultados se resumen en una serie de parámetros que los cuantifican, pero que no involucran variables fisiológicas. Por este motivo, en el presente trabajo se pretendía dar pasos que condujeran a la incorporación de variables fisiológicas asociadas a los sujetos al momento de ser evaluados, ya que tanto los test mencionados, así como muchos otros utilizados en psicología, se basan en la presentación de estímulos utilizando, mayormente, el sentido de la visión. Por ello, esperando complementar los estudios tradicionales con herramientas de cuantificación basadas en trazadores biológicos, se propuso analizar el registro de los movimientos oculares durante la realización de test atencionales tradicionales.

El objetivo de esta investigación fue definir magnitudes que permitan caracterizar las capacidades atencionales de los sujetos evaluados mediante un determinado test, teniendo en cuenta características fisiológicas presentes en los movimientos oculares. Particularmente, se ha centrado en el PDT o CARAS (Thurstone & Yela, 2019), siendo una elección basada en razones técnicas y clínicas. En primer lugar, esta prueba permite el registro de una gran cantidad de datos de movimientos oculares, siendo esto una ventaja desde el punto de vista estadístico. En segundo lugar, el test CARAS es utilizado cotidianamente en múltiples países, como Argentina y España, y ha sido estudiado desde el punto de vista de sus propiedades evaluativas (Monteoliva et al., 2017). Y, en tercer lugar, ha sido incorporado por empresas que proveen regularmente test a los profesionales de la psicopedagogía, la psicología y la educación. Es decir, se trata de una herramienta de evaluación ampliamente aceptada y utilizada por los profesionales de la salud mental y el ámbito educativo al momento de evaluar tanto a niños como a adultos.

En lo que refiere al estudio de los movimientos oculares, una larga historia avala su importancia. Podría decirse que comenzó con los estudios de Javal (1878a, 1878b, 1878c), cuando observó en un estudio de su colega Lamare (1879, citado en Álvarez García, 2022) que la lectura no implicaba un barrido suave de los ojos a lo largo del texto, sino que se realizaban saltos rápidos (sacadas), seguidos de detenciones o paradas cortas (fijaciones). Estas observaciones fueron las primeras registradas en relación a la forma en la cual los humanos leen. De forma paralela, Huey (1968) fue el primero en desarrollar un prototipo de seguimiento ocular (*eye tracking*, ET), utilizando una especie de lente de contacto que se colocaba en el ojo del sujeto. Este autor se concentró, mayormente, en el estudio de las regresiones observadas durante la lectura. Sin embargo, el primer dispositivo de seguimiento ocular no invasivo lo implementó Buswell (1933), quien utilizó la luz reflejada en los ojos del sujeto estudiado. Buswell registró las reflexiones en una película, la cual era analizada posteriormente. Dicho autor realizó importantes estudios relacionados con la lectura y la observación de imágenes. Posteriormente, Yarbus (1967) demostró que la forma en la que un sujeto explora visualmente los estímulos depende, significativamente, de la tarea asignada.

Dicho autor también hizo importantes aportes en relación a la interrelación entre las fijaciones y el interés del sujeto en la tarea que realiza. A partir de su trabajo, se pudo concluir que los movimientos oculares que los sujetos realizan reflejan, en cierto modo, los procesos de pensamiento humano (Amadeo & Shagass, 1963; Antrobus, 1973; Antrobus et al., 1964; Holzman, 1985; Leigh & Zee, 2015; Monty & Senders, 1976; Pärnamets et al., 2015; Ringo et al., 1994; Senders et al., 1978; Shapiro, 2001; Zee & Leigh, 1983).

Es importante señalar que los principales problemas encontrados en los sistemas primitivos de rastreo ocular eran su incomodidad, su compleja colocación, el alto costo y la necesidad de que el sujeto permaneciera inmóvil. A pesar de ello, las investigaciones sobre diversos procesos cognitivos reforzados con estudios de registro de movimientos oculares siguen desarrollándose y toman un nuevo impulso en la década de 1970 (Just & Carpenter, 1978; Monty & Senders, 1976). Sin embargo, los grandes avances en la investigación de movimientos oculares, asociados a una amplia variedad de áreas de investigación que incluyen a la psicología cognitiva, se dan a comienzos de 2000, con el desarrollo de dispositivos de seguimiento ocular basados en *video tracking*. Desde ese momento y hasta la actualidad se produce un gran incremento en las investigaciones y publicaciones, gracias a la comodidad de estas herramientas y a su accesibilidad, en las cuales se utilizan muchas y variadas técnicas de seguimiento ocular, la mayoría no invasivas para el sujeto y de fácil implementación (Blascheck et al., 2014; Duchowski, 2002; Eckstein et al., 2017; Kowler, 2011). Por estos motivos, el ET se ha transformado en un dispositivo valioso en el diagnóstico y evaluación de muchas patologías neurológicas (Armstrong & Olatunji, 2012; Buedo et al., 2018; Rosa et al., 2018) y neuropsicológicas (Antoniades & Kennard, 2015; Crutcher et al., 2009; Cuesta-Cambra et al., 2017; Goldberg & Wichansky, 2003; Hicks et al., 2013; Lencer et al., 2017; Poletti et al., 2017; Veneri et al., 2014)

Hoy en día la tecnología de ET permite y facilita la realización de variados y precisos estudios, aun bajo situaciones en las que se permite una considerable libertad de movimiento al sujeto evaluado. Asimismo, los datos obtenidos proporcionan una gran precisión en el análisis de los elementos que caracterizan la mirada. La alta resolución temporal y espacial de los dispositivos actuales permite, incluso, explorar la dinámica de las estructuras internas del ojo (Bouzat et al., 2018; Del Punta et al., 2019; Specht et al., 2017). En su condición de series temporales biológicas, los registros de movimientos oculares dieron lugar a diversas investigaciones que permitieron, por ejemplo, una caracterización de las trayectorias de la mirada de sujetos, realizando el TMT, en términos de entropía y complejidad estadística (Avila et al., 2019; Iaconis et al., 2021).

En definitiva, como muestran trabajos recientes (Avila et al., 2019; Iaconis et al., 2021), utilizar recursos de ET equivale a poner la lupa sobre los procesos realizados por cada participante para ver en detalle cómo resuelven el test y obtener indicios de mecanismos y estrategias que, de otra forma, resultan inaccesibles. En cierto modo, la información proveniente del registro de movimientos oculares permite entrar más profundamente en el proceso de resolución de la prueba para entender las capacidades que hay detrás de las funciones ejecutivas (FE) superiores. Por ende, en el presente trabajo se continuó con el propósito de vincular los aportes del ET a los procesos de evaluación cognitiva. El objetivo fue ampliar y potenciar los test que se utilizan cotidianamente en los estudios neurocognitivos realizados por profesionales de la psicología y la psicopedagogía. Se comenzó estudiando los movimientos oculares de sujetos que realizan una versión digitalizada del CARAS (Thurstone & Yela, 2019). Resulta ardua la tarea de localizar investigaciones precedentes en las que se haya utilizado el ET con algún test psicológico de los regularmente utilizados en Latinoamérica. Se pueden encontrar los estudios normativos españoles de los test CARAS y CARAS-R (Crespo-Eguílaz et al., 2006; Repáraz et al., 1996) y otros centrados en la evaluación de aspectos perceptivos y atencionales en contextos de orientación y evaluación escolar de niños argentinos (Monteoliva et al., 2017), trabajos en los que la prueba se aplica en su forma tradicional de lápiz y papel (Chun, 2000; Rayner, 2009).

Finalmente, es relevante hacer hincapié en que la implementación de un dispositivo de seguimiento ocular en un test psicológico como el CARAS permite evaluar muchos elementos, más allá de aciertos o errores, que son las dos puntuaciones directas que se hacen en la aplicación tradicional. Gracias a esta tecnología, es posible saber con alta precisión los tiempos que cada sujeto toma en resolver cada ítem o el número de fijaciones que realiza y la duración de las mismas sobre una determinada imagen, aportando información sobre las áreas de fijación de la atención. Asimismo, permite analizar el orden y el tiempo invertido en cada ítem o, incluso, es posible conocer la trayectoria que describe el sujeto con la mirada y calcular, por ejemplo, su longitud o velocidad, para considerarla como un nuevo elemento a analizar. Estos datos permiten un estudio más profundo del desempeño del individuo, habilitando el análisis de cada ítem por separado o de su evolución a lo largo de la resolución de la prueba. Este trabajo en particular se centró en este último aspecto.

Por un lado, se hace un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en los tres primeros minutos de resolución del test y los resultados finales.

Por otro lado, se toman los resultados agrupados por ítems en tres bloques, del 1 al 20, del 21 al 40 y del 41 al 60, y se estudian los resultados obtenidos a medida que el sujeto avanza en la resolución del test. Adicionalmente, se analiza qué características de los movimientos oculares permiten hacer un reconocimiento del tipo de desempeño y se vinculan a variables que solo pueden obtenerse mediante el registro de los mismos. Los resultados obtenidos aportan, además, algunas clarificaciones sobre la intención de medida del CARAS en cuanto a la atención focalizada y sostenida.

Método

Participantes

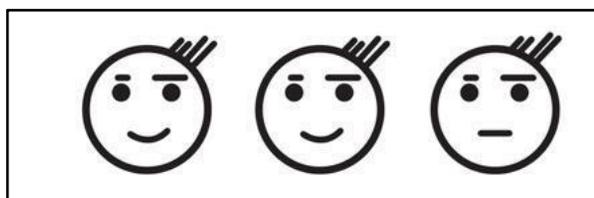
La muestra de este estudio fue incidental y estuvo compuesta por 44 estudiantes universitarios (27 mujeres y 17 hombres), sin patologías oculares ni psicológicas, con edades comprendidas entre los 18 y 27 años (media = 21, desviación estándar = 2) pertenecientes a la Universidad Nacional del Sur (UNS) de Bahía Blanca, Argentina. Se accedió a ella a través de una petición voluntaria de participación, a la que los estudiantes se inscribían y, tras un contacto informativo, eran citados de forma individual en un laboratorio dentro de la propia universidad y en horarios convenidos, con el fin de evitar intervenir negativamente en sus hábitos diarios.

Instrumento

El CARAS (Thurstone & Yela, 1985) está diseñado, según sus autores, para medir aptitudes perceptivas y atencionales para discriminar de forma rápida y correcta semejanzas y diferencias en patrones de estimulación visual parcialmente ordenados. Consta de 60 ítems gráficos conformados por dibujos esquemáticos de caras con trazos básicos y presentados en grupos de tres en un formato horizontal (Figura 1). La tarea consiste en identificar cuál de las tres caras que conforman cada ítem es diferente de las otras dos en un tiempo máximo de 3 minutos. En una versión más reciente, se implementó la evaluación de manera que los sujetos contaban con todo el tiempo necesario para realizar la prueba (Monteoliva et al., 2017).

Figura 1

Uno de los Ítems del CARAS Presentado en el Protocolo Digitalizado (Thurstone & Yela, 1985)



Las diferencias se pueden encontrar en el cabello, las cejas, los ojos o la boca. A diferencia de la presentación tradicional de la prueba en papel, en la que se muestran todos los ítems de las caras a la vista del evaluado, el formato utilizado en este trabajo es digital y presenta de manera secuencial cada ítem en la pantalla, facilitando el avance personalizado de la prueba a medida que el usuario va respondiendo. En esta versión digital no es posible volver hacia ítems ya resueltos, como tampoco se permite avanzar a ítems sin responder u omitirlos.

Se utilizó un dispositivo de seguimiento ocular colocado en la parte baja de la pantalla del ordenador, concretamente el modelo 4C con un *upgrade* a Tobii Pro Fusion (Tobii Technology, s.f.), a una distancia flexible de entre 60 y 80 centímetros. El sensor, durante todo el proceso de evaluación, se encarga de iluminar las pupilas del participante con una luz infrarroja, así como de grabar la imagen de sus movimientos, todo ello de forma no invasiva. De esta forma, se analiza en tiempo real la información, proporcionando al sistema la posición de la mirada en la pantalla en función del tiempo.

Además, se hizo uso del software PsiMesh (Centro Integral de Neurociencias Aplicadas [CINA], s.f.), diseñado en el CINA de Bahía Blanca, en colaboración con investigadores de la UNS, para el registro y análisis de los datos. Estos datos constituyen series temporales que indican la coordenada (x, y) de la mirada sobre la pantalla con una frecuencia temporal de 90 Hz.

Procedimiento

En el laboratorio se dispuso de una sala parcialmente aislada en la cual se pasó la prueba de evaluación sobre un escritorio con un ordenador portátil. Cada participante, de forma individual y tras ser informado sobre la protección de datos y los objetivos de la investigación, así como la aclaración de sus posibles dudas, completaron un formulario digital con preguntas relativas a posibles patologías oculares y aspectos psicológicos. Asimismo, firmaron un consentimiento informado aprobado por el comité de bioética del Hospital Leonidas Lucero de la ciudad de Bahía Blanca. Dicho consentimiento cumple con los requerimientos de la convención de Helsinki. Posteriormente, se les invitó a sentarse frente al ordenador, mostrándoles el dispositivo ya conectado y en funcionamiento para facilitar que se familiarizaran con el mismo.

Los datos de identificación de cada participante se registraron en la plataforma PsiMesh (CINA, s.f.). Posteriormente, se procedió a dar las instrucciones de realización del test CARAS. Para indicar su respuesta, el participante utilizaba las teclas 1, 2, 3 y se establecía una asociación con cada cara (ordenadas de izquierda a derecha) con estos números. A continuación, se daban indicaciones relacionadas con el movimiento corporal y colocación de la silla de forma confortable para que las mediciones resultaran válidas. Finalmente, se procedió a la calibración del ET durante aproximadamente 1 o 2 minutos para comenzar con la aplicación de la prueba.

Análisis Estadístico

La evaluación tradicional del test implica contar los errores y omisiones cometidos a los 3 minutos (Thurstone & Yela, 1985). Sin embargo, ni en su forma original ni en adaptaciones posteriores del análisis (Monteoliva et al., 2017) se registra la forma en la que evolucionan las respuestas en el tiempo. Teniendo en cuenta la forma de implementación con un tiempo fijo de 3 minutos, resulta de interés analizar separadamente este intervalo de tiempo y compararlo con los resultados que se obtienen al permitir la resolución de los 60 ítems sin detener la prueba. Se distinguen, entonces, dos pautas de análisis: (a) lo que ocurre en los 3 primeros minutos y (b) lo que ocurre en la segunda etapa hasta finalizar la aplicación del test, esto es, al permitir al sujeto terminar de resolver los 60 ítems. Para este análisis global de resultados se consideraron las siguientes características:

1. Características que califican los resultados obtenidos en 3 min:
 - Ac3m: cantidad de aciertos a los 3 minutos.
 - Items3m: número de ítems que resolvió en 3 minutos.
 - NFij3m: número de fijaciones en los primeros 3 minutos.
 - VMP3m (en 1/s): velocidad media de procesamiento en los 3 primeros minutos.

2. Características que califican los resultados finales:
 - AcFin: número de aciertos al finalizar los 60 ítems.
 - TTot (en minutos): tiempo que tardó en resolver los 60 ítems.
 - NFij: número de fijaciones a lo largo de todo el test.
 - VMP (en 1/s): velocidad media de procesamiento.

Hay que tener en cuenta que estas variables son globales y tienen el mismo perfil que las que se consideran en la realización tradicional del test, aportando de forma parcial lo que ocurre paso a paso en la resolución. Con la inclusión de las mismas, se agregó a la evaluación del test características vinculadas a aspectos fisiológicos de la mirada y comportamentales de cada participante que pueden derivar en identificadores particulares de los mismos.

Las variables que indican velocidad media de procesamiento (VMP3m y VMP) son derivadas de la velocidad de procesamiento (VP) de cada ítem. Consideramos a cada ítem como una unidad de información y al tiempo total de duración de las fijaciones en ese ítem (TDF) como el tiempo de procesamiento (tiempo en el que el sujeto registró y procesó lo que estaba mirando). A partir de estos dos elementos, se define la velocidad de procesamiento $VP = 1/TDF$ por ítem.

Las velocidades medias de procesamiento se concretan, entonces, como los promedios de las velocidades de procesamiento de los ítems o pruebas resueltos en 3 min (VMP3m) y el promedio de las VP sobre todos los ítems (VMP). Adicionalmente, se define la velocidad de procesamiento regular (VPR) como el total de ítems dividido por el tiempo total de procesamiento, es decir, $VPR = 60/T_{tot}$, el cual no tiene por qué coincidir con las VMP3m ni la VMP.

Para algunas de estas variables se realizó una estadística descriptiva, un estudio de correlaciones y una serie de gráficos comparativos de los resultados obtenidos para las dos instancias estudiadas.

Por la manera en que se aplica la versión digitalizada del test, no es posible omitir ítems, ya que estos se presentan uno a uno al participante y para pasar de uno al siguiente hay que indicar la respuesta del ítem que se está resolviendo. De esta forma, no es posible, en el marco de esta propuesta considerar los errores cometidos por el participante de la misma forma en que se consideran en la versión revisada del test (Crespo-Eguílaz et al, 2006; Thurstone & Yela, 2019). Aun así, es posible calcular el índice de control de impulsividad (ICI) propuesto en dicha versión. El presente trabajo no se centró en este índice, pues la intención es estudiarlo con mayor detenimiento en una investigación futura.

También se introducen variables para estudiar cada uno de los 60 ítems, lo cual proporciona mucho mayor detalle, permitiendo comprender la evolución temporal en el desempeño del participante. Para cada participante, en cada ítem se estudian las siguientes características:

- acierto en la respuesta;
- tiempo necesario para resolver el ítem en cuestión (en segundos);
- número de fijaciones realizadas;
- y velocidad de procesamiento (VP definida previamente, 1/s).

Estas variables permiten realizar un análisis por ítem o bien agrupar la información en bloques de ítems. Se realizaron gráficas de los valores obtenidos de tipo *raincloud* (nube de lluvia) de los datos agrupados en bloques, los cuales permiten visualizar en una sola imagen toda la información respecto de cómo se distribuyen los valores de las variables estudiadas. se calcularon estadísticas descriptivas de los distintos bloques considerados.

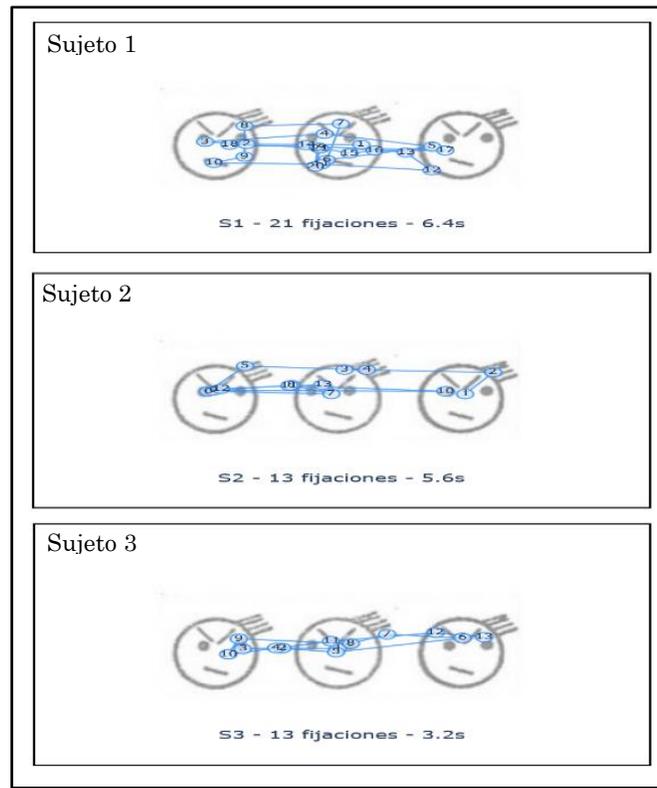
Resultados

La realización del test implica que el sujeto explore la imagen presentada en pantalla ítem a ítem y detecte las diferencias. Al realizar el test bajo un paradigma de seguimiento ocular, la información obtenida es como la mostrada en la Figura 2, donde se presenta la resolución de uno de los 60 ítems correspondiente a tres sujetos diferentes.

Las imágenes permiten ver la manera en la que los sujetos exploraron la escena presentada. Cada traza representa un movimiento sacádico, los círculos representan las posiciones de las fijaciones realizadas y los números en ellos permiten ver la forma en la que los sujetos avanzaron en la resolución de ese ítem en particular. Es importante mencionar que durante el movimiento sacádico el cerebro no puede extraer información de la imagen presentada; la información se recopila durante las fijaciones. En este caso se presenta a tres sujetos cuyos tiempos de resolución y número de ítems resueltos son: Sujeto 1: 6,1 min y resolvió bien 59 ítems, Sujeto 2: 4,9 min y resolvió bien 60 ítems y Sujeto 3: 3,5 min y resolvió bien 60 ítems.

Figura 2

Registro de los Movimientos Oculares de Tres Sujetos con Patrones de Observación Diferentes



Comparación entre el Desempeño de los Sujetos en los Tres Primeros Minutos y al Finalizar el Test

Se comienza analizando las variables globales definidas en la sección anterior. En la Tabla 1 se resumen las medidas de centralización y dispersión de los resultados obtenidos a partir de los datos de cada participante durante la realización del test.

Tabla 1

Descripción Estadística de los Resultados Obtenidos por los Participantes para las Distintas Variables

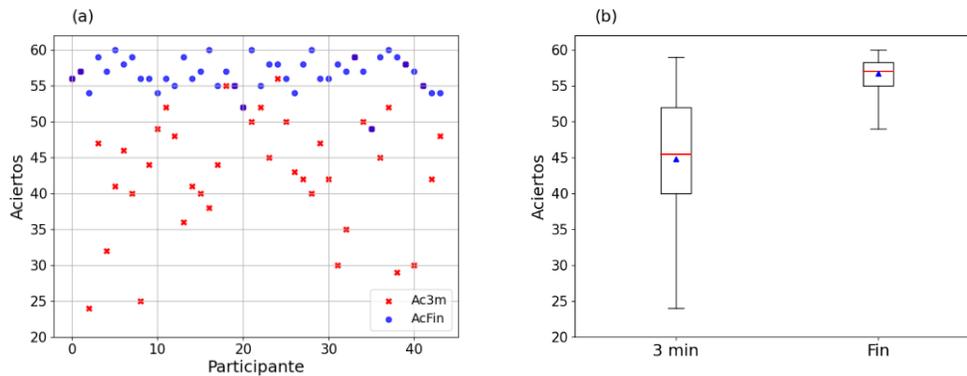
Variable	Media (DE)	25%	50% - mediana	75%
Ac3m	46 (9)	41	47	52
Items3m	48 (10)	42	49	57
NFij3m	695 (73)	635	697	741
VMP3m	0,46 (0,14)	0,36	0,44	0,53
AcFin	57 (2)	55	57	58
TTot	3,97 (1,14)	3,26	3,65	4,43
NFij	920 (232)	777	880	1076
VMP	0,45 (0,13)	0,35	0,43	0,51

Nota. Los porcentajes corresponden a los valores de los cuartiles Q1 (25%), Q3 (75%) y la mediana (50%).

La variable Ac3m es clave en este test, pues se utiliza para definir la métrica que permite la evaluación de resultados. Se observa que Ac3m es mucho más dispersa que AcFin. Es decir, en los primeros 3 minutos los resultados de los sujetos son más variables, pero al final del test la mayoría se aproxima a un mismo valor. Por un lado, en la Figura 3a se muestran los aciertos alcanzados por cada sujeto a los 3 minutos (cruces rojas) y los aciertos alcanzados al finalizar los 60 ítems (círculos azules). Por otro lado, en la Figura 3b se muestra de manera global el comportamiento de todos los sujetos, tanto a los 3 minutos como hasta la finalización del test, haciéndose evidente la diferencia en los aciertos y, especialmente, en su dispersión.

Figura 3

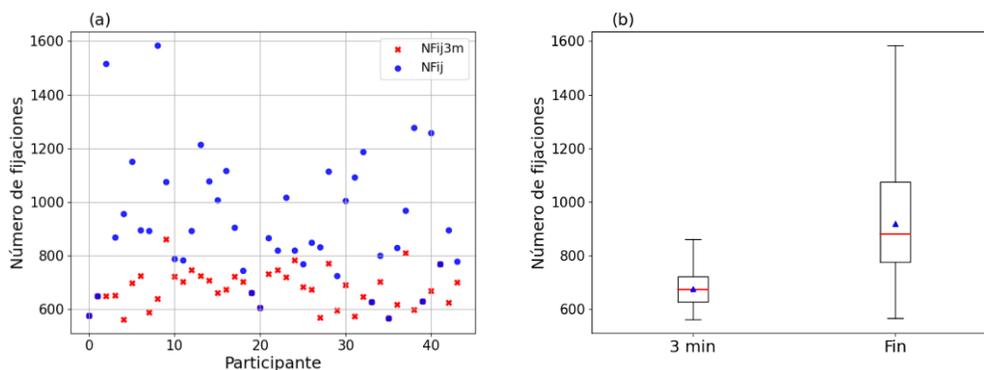
(a) Aciertos Obtenidos por Cada Participante en los Primeros Tres Minutos (Cruces) y al Finalizar la Resolución de los 60 Ítems (Círculos). (b) Gráfico de Cajas para los Aciertos a los Tres Minutos y al Finalizar el Test



Por el contrario, NFij presenta valores más dispersos al finalizar el test que en los primeros 3 minutos, lo cual se ilustra en la Figura 4a. En la Figura 4b se muestra de manera global el comportamiento de todos los sujetos. Como puede verse en la parte (a), hay algunos sujetos que terminan el test completo antes de los 3 minutos, por lo que NFij3m coincide con NFij.

Figura 4

(a) Número de Fijaciones por Cada Sujeto Representado en el Eje Horizontal. (b) Gráfico de Cajas para el Número de Fijaciones a los Tres Minutos y al Finalizar el Test

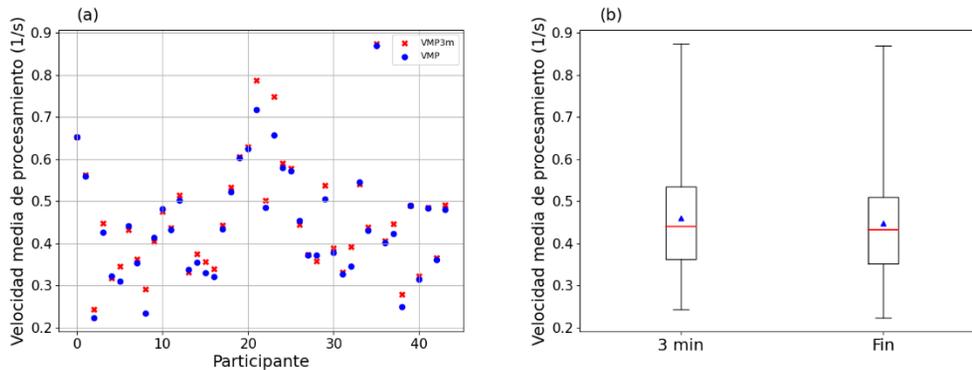


Nota. En la Figura (a) se discrimina entre los valores correspondientes a los tres primeros minutos de aplicación del test (cruces) y los valores finales (círculos).

Por su parte, la velocidad media de procesamiento tiene un comportamiento distinto a las restantes variables: mantiene sus valores medios y su variabilidad a lo largo de todo el test. Esto se refleja y se ilustra en la Figura 5.

Figura 5

(a) *Velocidad Media de Procesamiento de Cada Sujeto a los Tres Minutos (Cruces) y al Finalizar los 60 Ítems del Test (Círculos).* (b) *Gráfico de Cajas para la Velocidad Media de Procesamiento, Distinguiendo los Valores a los Tres Minutos y al Finalizar el Test*

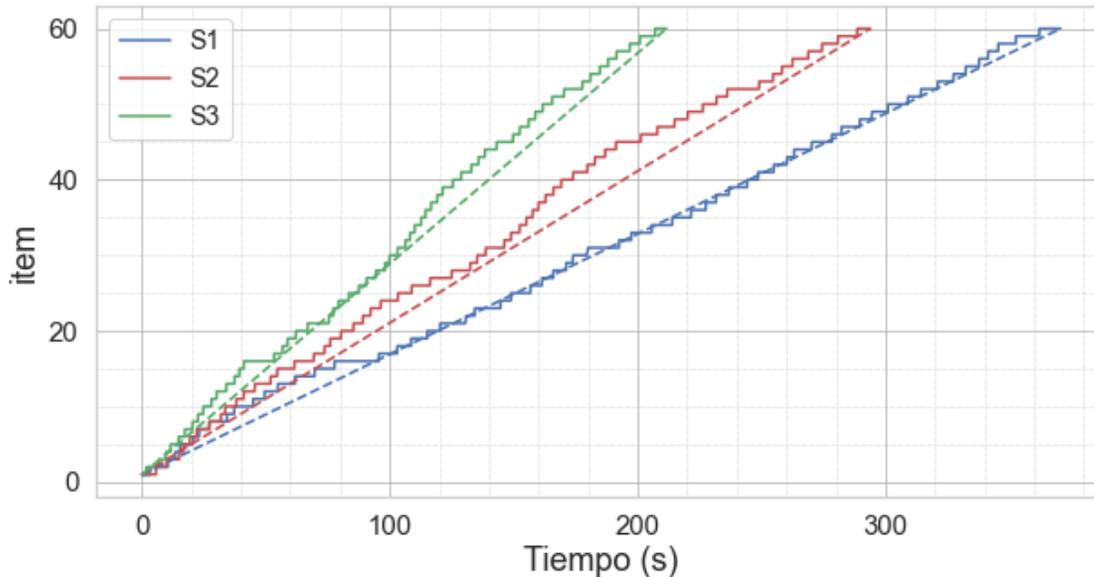


Para completar el análisis comparativo entre las características estudiadas, se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman de distintos pares de variables. Se encontró que $Ac3m$ se correlaciona significativa y positivamente tanto con la velocidad media de procesamiento a los 3 minutos como con la velocidad media final (coeficiente de correlación de Spearman: 0,85 en ambos casos). También se encontró una fuerte correlación positiva entre el tiempo y el número de fijaciones (coeficiente de Spearman = 0,93). Por otro lado, las características tiempo y respuestas correctas no presentaron correlación.

Si se representa la evolución de los ítems en función del tiempo transcurrido, se obtiene un comportamiento como el observado en la Figura 6, en la cual se graficó esta evolución para los sujetos presentados en la Figura 2. Se hace evidente, observando la pendiente de las curvas, que los sujetos avanzan en la realización del test a velocidades diferentes. La pendiente de la representación lineal de dichas curvas define la VPR introducida anteriormente.

Figura 6*Resolución de los Ítems a Medida que Transcurre el Tiempo*

Nota. Corresponde a los tres sujetos considerados en la Figura 2. La traza escalonada representa la resolución de los ítems, la línea recta punteada une el punto inicial con el final de cada curva y su pendiente define la VPR.

**Evaluación de Ítems Agrupados en Bloques**

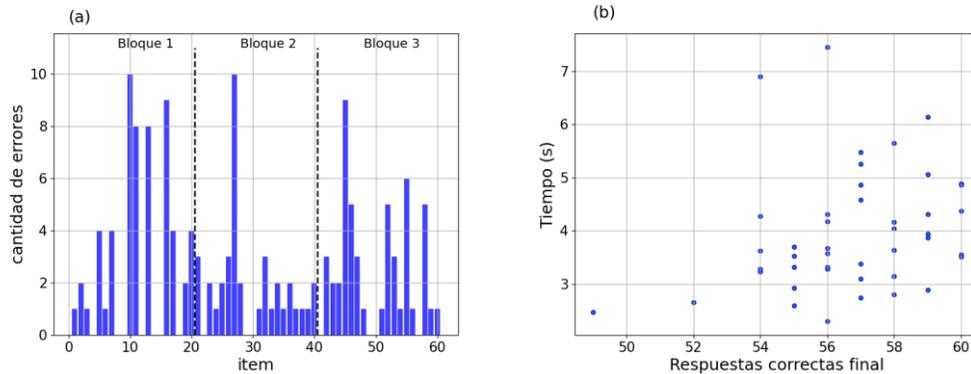
Se realiza una evaluación del desempeño de los sujetos a medida que avanzan en la resolución del test, a partir del agrupamiento de los ítems que lo componen en tres grupos: el primero formado por los 20 primeros ítems, el segundo, por los ítems 21 a 40 y el tercero, por los últimos 20 ítems. De este modo, se puede ver si, a medida que los sujetos avanzan en la resolución del test, se observan variaciones en las características sometidas a estudio: errores, tiempo necesario para finalizar el test, número de fijaciones y velocidad de procesamiento de la información.

En primer lugar, se contabilizan los errores cometidos en cada uno de estos bloques, es decir, se cuenta cuántos participantes se equivocaron en cada trial de ítems. Los valores encontrados se muestran en la Figura 7, donde se halla que en el primer bloque se cometen en total 58 errores, en el bloque intermedio se cometen 38 errores y en el bloque final se cometen 49 errores.

En segundo lugar, otra forma de observarlo es través de la Figura 7b, donde se presenta el total de respuestas correctas y el tiempo que tomó a cada participante realizar el test. Se subrayan aquí dos cuestiones. Por un lado, en una gran cantidad de ítems solo unos pocos sujetos cometen errores. De hecho, solo en 20 de los ítems hay al menos tres sujetos que cometen errores. Por otro lado, la mayor cantidad de errores se comete en el primer bloque, pues el segundo bloque no parece presentar dificultades en la resolución y en el tercer bloque, aunque aumenta el número de errores cometidos, este es menor que en el primer bloque.

Figura 7

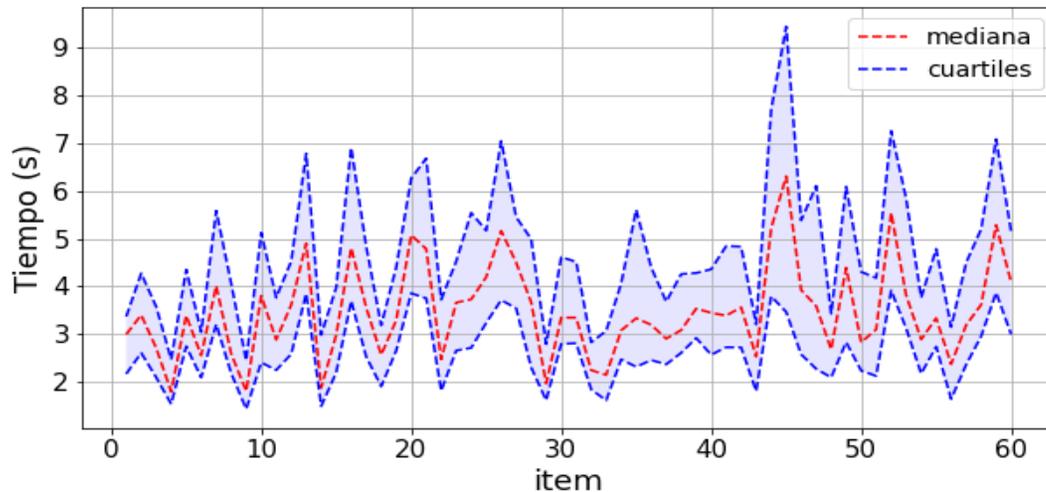
(a) Número de Participantes que Equivocan la Respuesta en Cada Trial. (b) Valores Obtenidos por Cada Participante para las Características $TTot$ y $AcFin$



Para comprender cómo evolucionan los sujetos a lo largo del desarrollo del test, se estudia el tiempo de resolución de cada ítem. En las Figuras 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos. En la Figura 8 se indican los ítems en el eje horizontal y el tiempo de resolución en el eje vertical. En ella se muestran la mediana y los cuartiles resultantes de considerar a todos los sujetos que resolvieron dichos ítems.

Figura 8

Tiempos de Resolución de Cada Ítem para el Total de Participantes

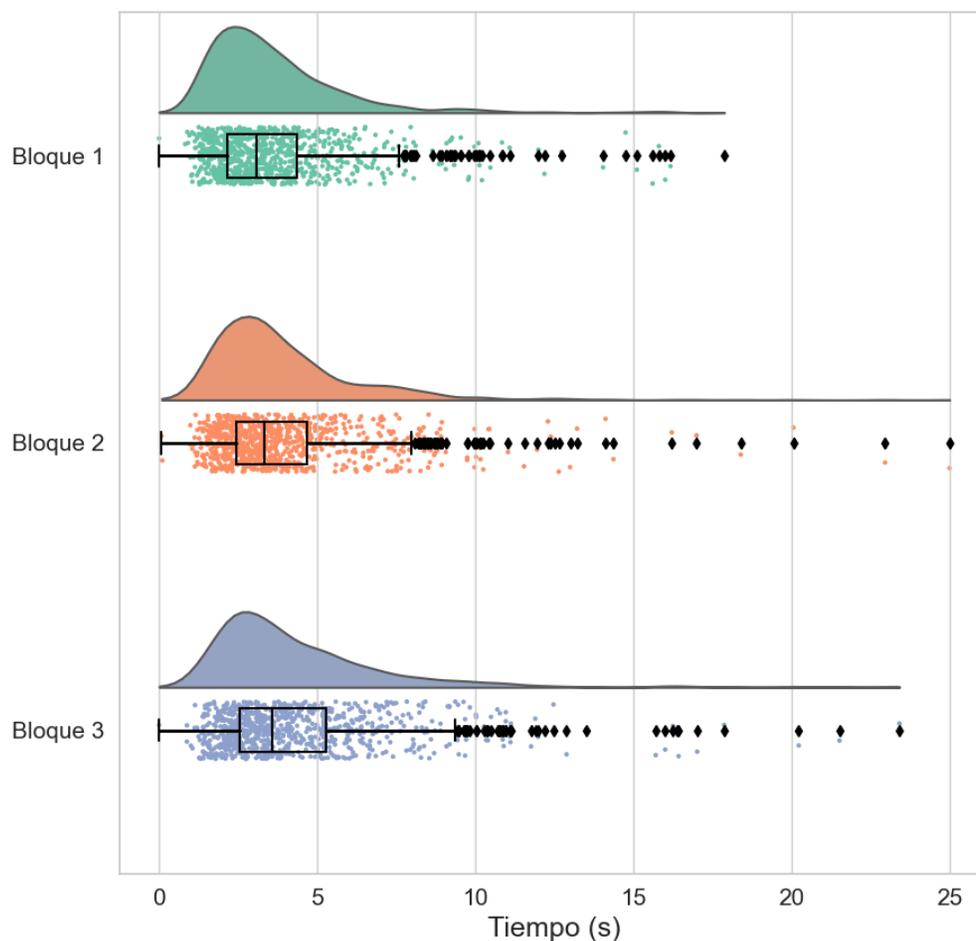


En la Figura 9 se resume, mediante un gráfico llamado *raincloud plot* (gráfico de nube de lluvia), la información asociada al tiempo requerido por los sujetos para resolver cada uno de los bloques considerados. Este novedoso tipo de gráfico (Allen et al., 2019) combina un gráfico de caja, en el que se puede observar explícitamente la mediana y los cuartiles de los valores de tiempo, con un gráfico de densidad, en el que se ve cómo se distribuyen los valores dentro del rango que abarcan.

Estas representaciones gráficas muestran que la distribución de frecuencias de los tiempos de resolución de cada ítem no es simétrica, sino que tiene un sesgo a derecha, observándose una dispersión hacia los valores más grandes. Tanto las cajas como las curvas de densidad que se muestran en la Figura 9 evidencian que, aun cuando sea leve, hay una variación en los valores del tiempo de resolución: a medida que se avanza en la resolución de los ítems se observa un desplazamiento de la distribución de frecuencias hacia valores mayores de tiempo.

Figura 9

Gráfico de Cajas y Densidades Asociadas a las Distribuciones de Tiempos de Resolución de los Ítems Agrupados en Tres Bloques



En la Tabla 2 se muestra la evolución temporal de los valores medios y medianos del tiempo de resolución de cada grupo de ítems. Se aprecia que estos valores aumentan a medida que los sujetos avanzan en la resolución del test. Los resultados hallados para el número de fijaciones siguen el mismo tipo de comportamiento que el hallado para el tiempo de resolución por trial o ítem.

Tabla 2

Valores Centrales Asociados a los Tiempos de Resolución de los Ítems Agrupados en Tres Bloques

Bloque	Media (DE)	25%	50% - mediana	75%
Bloque 1	3,63 (2,22)	2,14	3,09	4,35
Bloque 2	3,96 (2,50)	2,43	3,37	4,66
Bloque 3	4,32 (2,70)	2,53	3,58	5,29
Test completo	3,97 (2,50)	2,37	3,32	4,83

Nota. Los porcentajes corresponden a los valores de los cuartiles Q1 (25%), Q3 (75%) y la mediana (50%).

El estudio por bloques de VP muestra una tendencia inversa a la que se observa para las variables tiempo y número de fijaciones: a medida que se avanza en la resolución del test, los valores medios de esta variable disminuyen. Los datos se muestran en la Figura 10 y en la Tabla 3.

Figura 10

Cajas y Densidades Asociadas a las Distribuciones de Velocidades de Procesamiento de los Ítems Agrupados en Tres Bloques

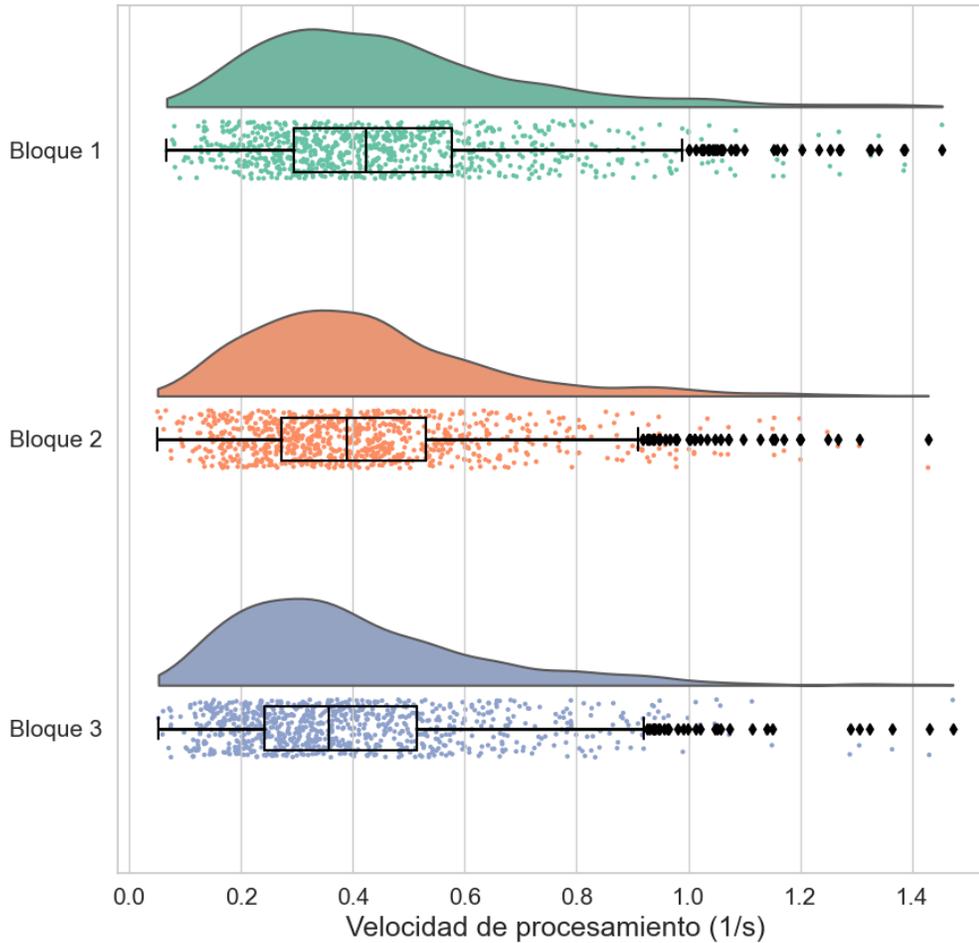


Tabla 3

Valores Estadísticos Asociados a las Velocidades de Procesamiento de los Ítems Agrupados en Tres Bloques

Bloque	Media (DE)	25%	50% - mediana	75%
Bloque 1	0,49 (0,65)	0,30	0,42	0,59
Bloque 2	0,46 (0,84)	0,27	0,38	0,53
Bloque 3	0,40 (0,30)	0,24	0,35	0,51
Test completo	0,45 (0,64)	0,27	0,38	0,54

Nota. Los porcentajes corresponden a los valores de los cuartiles Q1 (25%), Q3 (75%) y la mediana (50%).

Discusión y Conclusiones

El uso de ET en la aplicación del CARAS aporta información complementaria a la que el propio test proporciona con otras formas de aplicación, ya sea digital sin ET o la versión en papel. Así, hay estudios que muestran que cuando se incorporan medios digitales de evaluación complementarios, como en el caso de niños con trastorno del espectro autista, estos obtienen mejores resultados (Kilbey, 2017) o cómo el uso de realidad virtual refleja con mayor precisión el desempeño de las FE frente a tareas de lápiz y papel (Lalonde et al., 2013). Además, los valores obtenidos mediante el uso de un ET cuantifican procesos internos asociados a los movimientos oculares y las estrategias de búsqueda, inaccesibles con las otras formas de aplicación de las pruebas de evaluación. Esto se hace parcialmente evidente en la Figura 2 en la que se muestra cómo tres sujetos diferentes exploran las imágenes que constituyen un ítem concreto. Aun cuando se trata de solo uno de los 60 ítems, se puede observar cómo los diferentes sujetos recorren la imagen en búsqueda de la información necesaria para la resolución del mismo.

En este trabajo se realizó un análisis del test CARAS desde dos enfoques, dando lugar a dos tipos de resultados. Se consideró un conjunto de variables que permiten analizar lo que los sujetos logran al cabo de 3 minutos (la forma tradicional de evaluación) y su extensión, la cual implica la realización de todo el test sin importar el tiempo que tome realizarlo. Para realizar la comparación de ambas propuestas, se introdujeron variables de carácter global, tales como aciertos, tiempo, número de fijaciones y velocidad de procesamiento, mediante las cuales se puede obtener una descripción detallada de los resultados logrados por cada participante. Se realizó también un estudio más preciso que, en cierto modo, permite ver la evolución en el comportamiento de los sujetos a medida que trabajan en la tarea encomendada. Para esto, se dividieron los 60 ítems en tres bloques y se analizaron los resultados en cada uno de ellos.

Los resultados obtenidos con el primer enfoque se ilustran en las Figuras 3, 4 y 5, las cuales muestran tres comportamientos distintos en la comparación de las características estudiadas: los aciertos presentan valores más dispersos a los 3 min que al final del test; por el contrario, el número de fijaciones refleja valores más dispersos al finalizar el test y, por último, la velocidad de procesamiento no manifiesta diferencias entre su medición a los 3 minutos o al final.

En la Figura 3 se observa que, al finalizar la resolución de los 60 ítems, los sujetos alcanzan un número de aciertos similar en todos los casos, mientras que el número de aciertos a los 3 minutos presenta una variabilidad mucho mayor entre los participantes. Esto puede asociarse al hecho de que lo que se está poniendo en juego es la velocidad de procesamiento de cada sujeto: a mayor velocidad de procesamiento mayor será el número de ítems resueltos y, en consecuencia, mayor la posibilidad de cometer errores. Esta aseveración es reforzada por el hecho de que $Ac3m$ se correlaciona significativa y positivamente tanto con la velocidad media de procesamiento a los 3 minutos como con la velocidad media final (coeficiente de correlación de Spearman: 0,85 en ambos casos).

Por otro lado, en la Figura 4 se percibe que el $NFij3m$ es más o menos similar para todos los participantes, mientras que este valor se dispersa mucho más al contabilizarlo una vez finalizada la tarea. Esta particularidad se explica al observar la fuerte correlación positiva que presentan las características tiempo y número de fijaciones (coeficiente de Spearman = 0,93): esta proporcionalidad directa entre ambas variables indica un ritmo de exploración de la imagen. Así, si se fija un tiempo igual para todos (en este caso, 3 minutos) todos los sujetos realizarán más o menos el mismo número de fijaciones. Dado que cada sujeto presenta más o menos eficiencia en la obtención de la información, el mismo número de fijaciones no significa el mismo número de ítems resueltos; pues aquellos que son menos eficientes utilizan un mayor número de fijaciones en un determinado ítem para lograr resolverlo. Este resultado es muy interesante, porque, por un lado, permite identificar una característica adicional a la velocidad de procesamiento mencionada en el párrafo anterior y, por otro lado, permite ver cuál es el comportamiento de cada sujeto y sus capacidades de percepción. Es decir, se hace evidente la capacidad que cada sujeto tiene para discriminar las diferencias en las figuras presentadas.

En la Figura 5 se muestra que la velocidad de procesamiento no se ve afectada por el tiempo de trabajo. Esto indica que los sujetos que no son tan eficientes en la extracción de información necesitan mayor tiempo para poder resolver la misma cantidad de ítems, independientemente de si lo resuelven correcta o incorrectamente.

En la mayoría de los casos los sujetos que más tardan en extraer información requieren de un mayor número de fijaciones para resolver el test. Esto se hace evidente en la Figura 6, en la que se muestra a tres sujetos que obtienen los mismos resultados al finalizar el test. A pesar de obtener el mismo resultado, la velocidad con la que van resolviéndolo es muy diferente, como puede verse en la figura mediante el ajuste lineal realizado a la curva de evolución de ítems por tiempo. Nuevamente, se observa que la velocidad es más o menos constante a lo largo de toda la prueba y esta, en buena medida, está condicionada por la eficiencia en la extracción de la información. Tal es así que si se interrumpiera la actividad a los 3 minutos, los sujetos S1 y S2 habrían resuelto muchos menos ítems que el S3.

En definitiva, la pendiente de las curvas está claramente vinculada a la cantidad de fijaciones necesarias para resolver cada ítem. Podría definirse un índice de eficiencia visual, dado como el cociente entre cantidad de información de cada ítem y la cantidad de exploraciones necesarias para extraerla. Así, resultaría que aquellos sujetos que demoran más en la resolución del test tendrían menor eficiencia, tal como pasa con los sujetos S1 y S2, en comparación con el S3. Esta observación solo es posible si se utilizan recursos de seguimiento ocular. De hecho, se puede analizar detalladamente en cuáles de los ítems la eficacia es mayor o menor y, al igual que la velocidad de procesamiento, se puede cuantificar ítem a ítem. Por lo tanto, se pueden introducir cuantificadores de esta información que permitirían caracterizar a los sujetos a partir de su velocidad de procesamiento, como la dada en la Figura 6, y la eficiencia visual, obtenida por la forma en que el sujeto fija en cada uno de los elementos de cada ítem, sea en los lugares apropiados para discriminar las diferencias existentes como en lugares que hacen que no sea capaz de notar las mismas.

En el segundo tipo de análisis, se agruparon los 60 ítems en tres bloques de 20 ítems cada uno. Primeramente, se observó en la Figura 7a la frecuencia de errores cometidos en cada trial o ítem y se vio que el primer bloque es el que más errores presenta. No se observa que los sujetos cometan más errores a medida que avanzan en la resolución del test, por lo que no parece ser que los errores reflejen en este grupo de participantes una cierta fatiga atencional. Las características tiempo final y respuestas correctas no presentan correlación. Más aún, quienes más errores han cometido han sido los más rápidos en resolver el test, como se muestra en la Figura 7b. Es interesante notar que hay un número relativamente pequeño de ítems en los cuales la mayoría de los sujetos presenta errores. La observación de los ítems que presentan mayor número de errores lleva a interpretar que los errores cometidos están relacionados con la dificultad que presenta la detección del rasgo diferente en las tres caras, más que con el tiempo que le lleva resolver la tarea. Un estudio más detallado de esta idea se prevé como próximo paso de la investigación de los autores, para lo cual se entiende que será necesario ampliar la muestra. Esta idea lleva a plantear una posible variante del test, en la que se presenten menos ítems, descartando los que no generan dificultades y provocando, tal vez, una mayor necesidad de atención a los detalles de la tarea. Esto proporcionará otra forma de estudiar algunos aspectos atencionales.

En la Figura 8 se muestra el tiempo de resolución de cada ítem para todos los sujetos. Se aprecia que, a medida que se avanza en la resolución del test, se va necesitando más tiempo para resolver los distintos ítems, salvo por un bloque de unos 10 (entre el 30 y el 40) que parecen no presentar dificultades. Este subbloque presenta tiempos cortos de resolución y pocos errores, lo que refuerza el planteamiento de una variante del test. A pesar de ello, los valores medios de los bloques aumentan a medida que se avanza en la resolución, dato que también se encuentra en la Tabla 2. Incluso en la Figura 9 se observa un sesgo en la dispersión de los datos que aumenta bloque a bloque. En la Tabla 2 se refleja de forma nítida, a partir de la variación del intervalo que abarca el 50% central de los datos, es decir, el intervalo (25%-75%). Este aumento en los valores medios de tiempos de resolución de cada ítem, combinado con un incremento en la dispersión hacia valores mayores de esta característica, puede ser un indicativo de fatiga atencional.

La velocidad de procesamiento muestra el comportamiento inverso. Tanto en la Figura 9 como en la Tabla 3 se ve que los valores medios y la dispersión de los datos disminuyen, lo que es esperable, ya que el tiempo y la velocidad de procesamiento son inversamente proporcionales de acuerdo a la definición inicial dada. Cabe mencionar que se contempla cada ítem como una unidad de información, es decir, considerando a todos los ítems por igual. Sin embargo, de acuerdo con lo observado en la Figura 6, el nivel de dificultad por ítem no es el mismo, por lo que tal vez sea más adecuado reflexionar la forma en la que se define esta característica para que se ajuste mejor a los datos relevados.

El análisis presentado aquí pretende descubrir características antes no analizadas en el test CARAS, a partir del uso de recursos de seguimiento ocular como el ET. Gracias a este método se puede reinterpretar la forma de evaluación tradicional y agregar variables adicionales, tales como la velocidad de procesamiento de información y la eficiencia en la extracción de la misma. Este constituye un primer paso en la caracterización de un test ampliamente utilizado por profesionales de la psicología y del ámbito académico para la evaluación clínica. Esencialmente, se ha mostrado que se puede conocer en detalle el proceso tomado por cada sujeto para realizar la prueba de evaluación. Es decir, no solo se pueden definir los errores que comete, sino también la rapidez con la cual va resolviéndolo, así como las capacidades cognitivas presentadas en el momento de identificación de la información implícita en cada grupo de caras que compone cada ítem. La propuesta, en próximas investigaciones, es definir estos cuantificadores concretos de forma global e ítem a ítem para ver el desempeño detallado de cada participante de la prueba. De este modo, se podrán introducir cuantificadores basados en complejidad y entropía, tal como se ha hecho para otras pruebas de evaluación, como el TMT (Avila et al., 2019; Iaconis et al., 2021).

Referencias

- Allen, M., Poggiali, D., Whitaker, K., Marshall, T. R. & Kievit, R. A. (2019). Raincloud plots: A multi-platform tool for robust data visualization. *Wellcome Open Research*, 4, Artículo 63. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.15191.2>
- Álvarez García, E. (2022). Lo que esconden tus ojos: la metodología eye-tracking aplicada al estudio del lenguaje. *Estudios de Lingüística del Español*, 45, 205-239. <https://doi.org/10.36950/elies.2022.45.8856>
- Amadeo, M. & Shagass, C. (1963). Eye movements, attention and hypnosis. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 136(2), 139-145. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(75\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0301-0511(75)90004-6)
- Antoniades, C. A. & Kennard, C. (2015). Oculomotor abnormalities in posterior cortical atrophy: Are they different from those in Alzheimer's disease after all? *Brain*, 138(7), 1773-1775. <http://doi.org/10.1093/brain/awv124>
- Antrobus, J. S. (1973). Eye movements and non-visual cognitive test tasks. En V. Zirkmund (Ed.), *The Oculomotor System and Brain Functions* (pp. 354-368). Butterworths.
- Antrobus, T. S., Antrobus, J. S. & Singer, J. L. (1964). Eye movements accompanying daydreaming, visual imagery, and thought suppression. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 69(3), 244-252. <https://doi.org/10.1037/h0041846>
- Armstrong, T., & Olatunji, B. O. (2012). Eye tracking of attention in the affective disorders: A meta-analytic review and synthesis. *Clinical Psychology Review*, 32, 704-723. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.09.004>
- Avila, J. F., Verney, S. P., Kauzor, K., Flowers, A., Mehradfar, M. & Razani, J. (2019). Normative data for Farsi-speaking Iranians in the United States on measures of executive functioning. *Applied Neuropsychology: Adult*, 26(3), 229-235. <https://doi.org/10.1080/23279095.2017.1392963>
- Blascheck, T., Kurzhals, K., Raschke, M., Burch, M., Weiskopf, D. & Ertl, T. (2014). State-of-the-art of visualization for eye tracking data. En R. Borgo, R. Maciejewski & I. Viola (Eds.), *16th Eurographics Conference on Visualization* (pp. 63-82). EuroVis 2014. <http://dx.doi.org/10.2312/eurovisstar.20141173>
- Bouzat, S., Freije, M. L., Frapiccini, A. L. & Gasaneo, G. (2018). Inertial movements of the iris as the origin of postsaccadic oscillations. *Physical Review Letters*, 120(17), Artículo 178101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.178101>
- Brickenkamp, R. & Zillmer, E. (1999). *D2 Test de Atención*. TEA.
- Brickenkamp, R. (2002). *D2 Test de Atención* (adaptación al castellano por N. Seisdedos). TEA.
- Buedo, P., Fernández, G., Biondi, J. A., Orozco, D. & Agamenonni, O. (2018). Procesamiento de las expresiones faciales en personas con esquizofrenia: análisis dinámico de la información visual. *Revista Argentina de Salud Pública*, 9(34), 7-12. <https://rasp.msal.gov.ar/rasp/edicion-completa/RASP-numero-34.pdf>
- Buswell, G. T. (1933) A laboratory study of the Reading of modern foreign languages. *The Modern Language Journal*, 18(1), 65-68. <https://doi.org/10.2307/314419>
- Centro Integral de Neurociencias Aplicadas, CINA (s.f.). *PsiMESH. Plataforma con Actividades digitales neuro psicológicas*. Neufitech S.R.L. <https://psimesh.com/>
- Chun, M. M. (2000). Contextual cueing of visual attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(5), 170-178. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01476-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01476-5)
- Crespo-Eguílaz, N., Narbona, J., Peralta, F. & Repáraz, R. (2006). Medida de atención sostenida y del control de la impulsividad en niños: nueva modalidad de aplicación del Test de Percepción de Diferencias "Caras". *Infancia y Aprendizaje*, 29(2), 219-232. <http://dx.doi.org/10.1174/021037006776789926>
- Crutcher, M. D., Calhoun-Haney, R., Manzanares, C. M., Lah, J. J., Levey, A. I. & Zola, S. M. (2009). Eye tracking during a visual paired comparison task as a predictor of early dementia. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias*, 24(3), 258-266. <https://doi.org/10.1177%2F1533317509332093>
- Cuesta-Cambra, U., Niño-González, J. I., & Rodríguez-Terceño, J. (2017). El procesamiento cognitivo en una app educativa con electroencefalograma y Eye Tracking. *Comunicar*, 25(52), 41-50. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3916/C52-2017-04>
- Del Punta, J. A., Rodríguez, K. V., Gasaneo, G. & Bouzat, S. (2019). Models for saccadic motion and postsaccadic oscillations. *Physical Review E*, 99(3), Artículo 032422. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.99.032422>
- Duchowski, A. T. (2002). A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34(4), 455-470. <https://doi.org/10.3758/BF03195475>

- Eckstein, M. K., Guerra-Carrillo, B., Miller Singley, A. T. & Bunge, S. A. (2017). Beyond eye gaze: What else can eyetracking reveal about cognition and cognitive development? *Developmental Cognitive Neuroscience*, 25, 69-91. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.11.001>
- Fernández, A. L., Marino, J. C. & Alderete, A. M. (2002). Estandarización y validez conceptual del Test del Trazo en una muestra de adultos argentinos. *Revista Neurológica Argentina*, 27(2), 83-88. https://www.academia.edu/38816720/estandarizaci%C3%A9n_y_validez_conceptual_del_test_del_trazo_en_una_muestra_de_adultos_argentinos
- Goldberg, J. H., & Wichansky, A. M. (2003). Eye tracking in usability evaluation: A Practitioner's Guide. En J. Hyönä, R. Radach & H. Duebel (Eds.). *The mind's eye: cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 573-605). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51020-4.X5000-2>
- Golden, C. J. (1978). *Stroop Color and Word Test: A manual for clinical and experimental uses*. Stoelting.
- Hicks, S. L., Sharma, R., Khan, A. N., Berna, C. M., Waldecker, A., Talbot, K., Kennard, C., & Turner, M. R. (2013). An eye-tracking version of the Trail-Making Test. *PLoS ONE*, 8, Artículo e84061. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084061>
- Holzman, P. S. (1985). Eye Movement Dysfunctions And Psychosis. *International Review of Neurobiology*, 27, 179-205. [https://doi.org/10.1016/S0074-7742\(08\)60558-9](https://doi.org/10.1016/S0074-7742(08)60558-9)
- Huey, E. B. (1968). *The psychology and pedagogy of reading*. MIT Press.
- Iaconis, F. R., Jiménez Gandica, A. A., Del Punta, J. A., Delrieux, C. A. & Gasaneo, G. (2021). Information-theoretic characterization of eye-tracking signals with relation to cognitive tasks. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 31(3), Artículo 033107. <https://doi.org/10.1063/5.0042104>
- Javal, L. É. (1878a). «Ensayo sobre la fisiología de la lectura». *Annales d'Oculistique*, 79(Mars et Avril), 97-117. https://pure.mpg.de/rest/items/item_2350899/component/file_2350898/content
- Javal, L. É. (1878b). «Ensayo sobre la fisiología de la lectura». *Annales d'Oculistique*, 80, 135-147.
- Javal, L. É. (1878c). «Ensayo sobre la fisiología de la lectura». *Annales d'Oculistique*, 80, 240-274.
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1978). Inference processes during reading: Reflections from eye fixations. En J. W. Senders, D. F. Fisher & R. A. Monty (Eds.), *Eye movements and the higher psychological functions* (pp. 157-174). Erlbaum.
- Kilbey, E. (2017). *Unplugged parenting: How to raise happy, healthy children in the digital age*. Headline Publishing Group.
- Kowler, E. (2011). Eye movements: The past 25 years. *Vision Research*, 51(13), 1457-1483. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.12.014>
- Lalonde, G., Henry, M., Drouin-Germain, A., Nolin, P. & Beauchamp, M. H. (2013). Assessment of executive function in adolescence: A comparison of traditional and virtual reality tools. *Journal of Neuroscience Methods*, 219(1), 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2013.07.005>
- Leigh, R. J. & Zee, D. S. (2015). *The neurology of eye movements* (5ª ed.). Oxford University Press.
- Lencer, R., Mills, L. J., Alliey-Rodriguez, N., Shafee, R., Lee, A. M., Reilly, J. L., Sprenger, A., McDowell, J. E., McCarroll, S. A., Keshavan, M. S., Pearson, G. D., Tamminga, C. A., Clementz, B. A., Gershon, E. S., Sweeney J. A. & Bishop, J. R. (2017). Genome-wide association studies of smooth pursuit and antisaccade eye movements in psychotic disorders: Findings from the B-SNIP study. *Translational Psychiatry*, 7(10), Article e1249. <https://doi.org/10.1038/tp.2017.210>
- Mirsky, A. F., Anthony, B. J., Duncan, C. C., Ahearn, M. B. & Kellam, S. G. (1991). Analysis of the elements of attention: A neuropsychological approach. *Neuropsychology Review*, 2(2), 109-145. <https://doi.org/10.1007/bf01109051>
- Monteoliva, J. M., Carrada, M. & Ison, M. S. (2017). Test de Percepción de Diferencias: Estudio normativo del desempeño atencional en escolares argentinos. *Interdisciplinaria*, 34(1), 39-56. <http://hdl.handle.net/11336/44830>
- Monty, R. A. & Senders, J. W. (Eds.). (1976). *Eye movements and psychological processes*. Lawrence Erlbaum.
- Pärnamets, P., Johansson, P., Hall, L., Balkenius, C., Spivey, M. J. & Richardson, D. C. (2015). Biasing moral decisions by exploiting the dynamics of eye gaze. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(13), 4170-4175. <https://doi.org/10.1073/pnas.1415250112>
- Petersen, S. E. & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 73-89. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150525>
- Poletti, B., Carelli, L., Solca, F., Lafronza, A., Pedroni, E., Faini, A., Zago, S., Ticozzi, N., Ciammola, A., Morelli, C., Meriggi, P., Cipresso, P., Lulé, D., Ludolph, A. C., Riva, G. & Silani, V. (2017). An eye-tracking controlled neuropsychological battery for cognitive assessment in neurological diseases. *Neurological Sciences*, 38(4), 595-603. <https://doi.org/10.1007/s10072-016-2807-3>
- Posner, M. I. & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13(1), 25-42. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457-1506. <https://doi.org/10.1080/17470210902816461>
- Reitan, R. M. (1958). Validity of the Trail Making Test as an indication of organic brain damage. *Perceptual and Motor Skills*, 8(7), 271-276. <https://doi.org/10.2466/PMS.8.7.271-276>
- Repáraz, C., Peralta, F. & Narbona, J. (1996). El Test de Percepción de Diferencias (CARAS) como instrumento de medida de la atención sostenida. *Revista de Ciencias de la Educación*, 166, 265-280. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=3271985>
- Ringo, J. L., Sobotka, S., Diltz, M. D. & Bunce, C. M. (1994). Eye movements modulate activity in hippocampal, parahippocampal, and inferotemporal neurons. *Journal of Neurophysiology*, 71(3), 1285-1288. <https://doi.org/10.1152/jn.1994.71.3.1285>
- Rosa, P. J., Castrillón Taba, M. M., Castillo Parra, H. A., Valencia Piedrahita, M. & Solanly Díaz, B. (2018). Los movimientos oculares como medida de control ejecutivo en niños con trastorno por déficit de atención con hiperactividad. *Revista Chilena de Neuropsicología*, 13(1), 42-46. <http://dx.doi.org/10.5839/rcnp.2018.13.01.08>
- Senders, J. W., Fisher, D. F. & Monty, R. A. (Eds.). (1978). *Eye Movements and the Higher Psychological Functions*. Routledge.
- Shapiro, F. (2001). *Eye movement desensitization and reprocessing: Basic principles, protocols, and procedures* (2ª ed.). Guilford Press.
- Specht, J. I., Dimieri, L., Urdapilleta, E. & Gasaneo, G. (2017). Minimal dynamical description of eye movements. *The European Physical Journal B*, 90(2), Article 25. <https://link.springer.com/article/10.1140/epjb/e2016-70472-0>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reaction. *Journal of Experimental Psychology: General*, 18(6), 643-662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>

- Thurstone, L. L. & Yela, M. (1985). *CARAS — Test de Percepción de Diferencias*. TEA.
- Thurstone, L. L. & Yela, M. (2019). *CARAS-R. Test de Percepción de Diferencias* (13ª ed.). TEA.
- Tobii Technology (s.f.). *Tobii Pro Fusion. Reach further with your research*. Tobii Technology. <https://www.tobii.com/products/eye-trackers/screen-based/tobii-pro-fusion>
- Veneri, G., Pretegiani, E., Fagnoli, F., Rosini, F., Vinciguerra, C., Federighi, P., Federico, A. & Rufa, A. (2014). Spatial ranking strategy and enhanced peripheral vision discrimination optimize performance and efficiency of visual sequential search. *European Journal of Neuroscience*, 40(5), 2833-2841. <https://doi.org/10.1111/ejn.12639>
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision*. Plenum Press.
- Zee, D. S. & Leigh, R. J. (1983). Disorders of eye movements. *Neurologic Clinics*, 1(4), 909-928. [https://doi.org/10.1016/S0733-8619\(18\)31131-9](https://doi.org/10.1016/S0733-8619(18)31131-9)

Fecha de recepción: Enero de 2022.

Fecha de aceptación: Enero de 2023.